

*Étude de dangers d'un ouvrage  
de transport de gaz naturel –  
Partie Générique*

Rév. : 2016 – décembre 2017



# Table des matières

---

<b>CHAPITRE 1.</b>	<b>PRÉAMBULE.....</b>	<b>13</b>
<b>CHAPITRE 2.</b>	<b>PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE ET DE SON CONTENU .....</b>	<b>17</b>
<b>1.</b>	<b>PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE .....</b>	<b>19</b>
<b>1.1.</b>	<b>CADRE RÉGLEMENTAIRE DE L'ÉTUDE DE DANGERS .....</b>	<b>19</b>
1.1.1.	De 1995 à 2003 .....	19
1.1.2.	De 2003 à 2006 .....	19
1.1.3.	Depuis 2006 .....	20
1.1.4.	Depuis le 2 mai 2012.....	20
1.1.5.	Depuis le 1 <sup>er</sup> juillet 2014 .....	20
<b>1.2.</b>	<b>OBLIGATIONS RÉGLEMENTAIRES.....</b>	<b>21</b>
<b>1.3.</b>	<b>PROPRIÉTÉ DU RÉSEAU DE TRANSPORT.....</b>	<b>22</b>
<b>1.4.</b>	<b>FINALITÉ DU RÉSEAU DE TRANSPORT .....</b>	<b>22</b>
<b>1.5.</b>	<b>DÉSIGNATION ET IMPLANTATION .....</b>	<b>23</b>
<b>1.6.</b>	<b>LIMITES RÉGLEMENTAIRES ENTRE LES OUVRAGES RACCORDÉS.....</b>	<b>24</b>
1.6.1.	Interfaces avec les stockages souterrains et les terminaux méthaniers.....	25
1.6.2.	Réseau aval des postes de distribution publique .....	25
1.6.3.	Réseau aval des postes de livraison à des clients industriels .....	25
1.6.4.	Réseau amont des producteurs de bio-méthane .....	26
1.6.5.	Cas des stations de compression de GRTgaz .....	26
<b>1.7.</b>	<b>RÉALISATION DE L'ÉTUDE DE DANGERS.....</b>	<b>28</b>
<b>1.8.</b>	<b>PROCESSUS DE MODIFICATION/RÉVISION DE L'ÉTUDE .....</b>	<b>28</b>
<b>2.</b>	<b>CONTENU DE L'ÉTUDE DE DANGERS.....</b>	<b>28</b>
<b>CHAPITRE 3.</b>	<b>DESCRIPTION GÉNÉRALE DES OUVRAGES DE TRANSPORT DE GAZ NATUREL .....</b>	<b>31</b>
<b>1.</b>	<b>CARACTÉRISTIQUES DU GAZ TRANSPORTÉ.....</b>	<b>33</b>

---

<b>1.1.</b>	<b>CARACTÉRISTIQUES DU GAZ NATUREL .....</b>	<b>33</b>
<b>1.2.</b>	<b>NON CORROSIVITÉ DU GAZ NATUREL .....</b>	<b>34</b>
<b>1.3.</b>	<b>POUVOIR CALORIFIQUE .....</b>	<b>35</b>
<b>1.4.</b>	<b>ODORISATION .....</b>	<b>35</b>
<b>2.</b>	<b>TRACÉ DE L'OUVRAGE ET SON ENVIRONNEMENT.....</b>	<b>36</b>
<b>2.1.</b>	<b>LE TRACÉ .....</b>	<b>36</b>
<b>2.2.</b>	<b>L'ENVIRONNEMENT HUMAIN, ÉCONOMIQUE ET NATUREL.....</b>	<b>36</b>
<b>3.</b>	<b>EQUIPEMENTS DU RÉSEAU DE TRANSPORT.....</b>	<b>37</b>
<b>3.1.</b>	<b>DIMENSIONNEMENT ET CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES .....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.</b>	<b>LES TUBES.....</b>	<b>37</b>
3.2.1.	Répartition des coefficients de sécurité minimaux des tubes.....	38
3.2.2.	Matériaux utilisés.....	39
3.2.3.	Les revêtements de la canalisation.....	41
3.2.4.	Soudures et raccords .....	43
3.2.5.	Poses des ouvrages .....	44
<b>3.3.</b>	<b>LES INSTALLATIONS ANNEXES .....</b>	<b>54</b>
3.3.1.	Les postes de sectionnement .....	55
3.3.2.	Les postes de coupure .....	56
3.3.3.	Les postes de livraison ou poste de détente .....	58
3.3.4.	Les postes de régulation / pré-détente .....	58
3.3.5.	Les postes de comptage ou filtration / comptage.....	58
3.3.6.	Matériel utilisé pour les installations annexes .....	59
3.3.7.	Construction des installations annexes .....	59
<b>3.4.</b>	<b>LES INSTALLATIONS DE PROTECTION CONTRE LA CORROSION .....</b>	<b>59</b>
<b>3.5.</b>	<b>SIGNALISATION ET REPÉRAGE DU TRACÉ .....</b>	<b>61</b>
<b>4.</b>	<b>CONDITIONS D'OPÉRATION DE L'OUVRAGE .....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.</b>	<b>PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'OUVRAGE .....</b>	<b>62</b>
<b>4.2.</b>	<b>PRINCIPES D'ORGANISATION DE L'EXPLOITATION .....</b>	<b>62</b>
<b>4.3.</b>	<b>PROGRAMME PÉRIODIQUE DE SURVEILLANCE ET DE MAINTENANCE.....</b>	<b>63</b>
4.3.1.	Les canalisations .....	63
4.3.2.	Les postes.....	65
4.3.3.	Surveillance de la protection cathodique (PC) .....	66

---

<b>4.4.</b>	<b>INTERVENTION DE SECOURS .....</b>	<b>68</b>
4.4.1.	Principes généraux du Plan de Sécurité et d'Intervention (P.S.I.) .....	68
4.4.2.	Scénarios de référence pour le P.S.I .....	70
4.4.3.	Critères pour le P.S.I.....	70
4.4.4.	Organisation générale de l'intervention.....	71
4.4.5.	Les différentes phases de l'intervention.....	72
4.4.6.	Moyens propres d'intervention .....	74
<b>4.5.</b>	<b>FORMATION DU PERSONNEL .....</b>	<b>74</b>
<b>5.</b>	<b>ACTIONS D'INFORMATION DES TIERS .....</b>	<b>75</b>
<b>5.1.</b>	<b>INFORMATIONS DES MAIRIES ET ORGANISMES PUBLICS .....</b>	<b>75</b>
<b>5.2.</b>	<b>TRAVAUX AU VOISINAGE DE L'OUVRAGE .....</b>	<b>76</b>
5.2.1.	Déclarations préalables aux projets de travaux et aux travaux .....	76
5.2.2.	Guide technique relatif aux travaux à proximité des réseaux.....	79
<b>5.3.</b>	<b>INFORMATION / SENSIBILISATION DES TIERS.....</b>	<b>79</b>
<b>6.</b>	<b>LE SYSTÈME DE GESTION DE LA SÉCURITÉ .....</b>	<b>79</b>
<b>CHAPITRE 4.</b>	<b>ANALYSE ET ÉVALUATION DES RISQUES – GÉNÉRALITÉS .....</b>	<b>83</b>
<b>1.</b>	<b>MÉTHODOLOGIE.....</b>	<b>85</b>
<b>2.</b>	<b>PRÉSENTATION DU RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR LES INCIDENTS .....</b>	<b>85</b>
<b>2.1.</b>	<b>PRÉSENTATION DES BASES DE DONNÉES .....</b>	<b>86</b>
2.1.1.	Bases de données GRTgaz.....	86
2.1.2.	Base de données EGIG .....	87
<b>2.2.</b>	<b>ANALYSE DES INCIDENTS .....</b>	<b>87</b>
2.2.1.	Canalisations .....	87
2.2.2.	Installations annexes.....	91
<b>2.3.</b>	<b>BILAN DES ACCIDENTS CONSTATÉS SUR LES RÉSEAUX DE TRANSPORT .....</b>	<b>94</b>
<b>3.</b>	<b>IDENTIFICATION DES SOURCES DE DANGERS ET MESURES COMPENSATOIRES ASSOCIÉES .....</b>	<b>94</b>
<b>3.1.</b>	<b>SOURCES DE DANGERS PROPRES À LA PHASE CONSTRUCTION .....</b>	<b>95</b>
3.1.1.	Sources de dangers pour le personnel impliqué dans la phase chantier .....	96
3.1.2.	Sources de dangers pour les riverains dans la phase chantier .....	96
3.1.3.	Sources de dangers présentés par l'éventuel voisinage de canalisations existantes dans la phase chantier .....	96

---

<b>3.2. SOURCES DE DANGERS ASSOCIÉES AU RACCORDEMENT ET À LA MISE EN SERVICE D'UN NOUVEL OUVRAGE .....</b>	<b>97</b>
3.2.1. Travaux de raccordement des ouvrages.....	97
3.2.2. Mise en gaz / mise en service .....	99
<b>3.3. DANGERS LIÉS À LA QUALITÉ DE L'OUVRAGE .....</b>	<b>100</b>
3.3.1. Fragilité .....	100
3.3.2. Fatigue.....	101
3.3.3. Défaut de matériau / Défaillance matériel .....	102
3.3.4. Défaut de construction .....	103
3.3.5. Résistance à la pression .....	104
<b>3.4. DANGERS LIÉS À L'INTERACTION FLUIDE – OUVRAGE .....</b>	<b>105</b>
3.4.1. Corrosion interne .....	105
3.4.2. Abrasion due à la présence de particules de rouille.....	107
<b>3.5. DANGERS LIÉS À L'ENVIRONNEMENT NATUREL .....</b>	<b>108</b>
3.5.1. Dangers liés à la végétation .....	108
3.5.2. Dangers liés à la nature du sous-sol .....	109
3.5.3. Dangers liés à la corrosion externe.....	110
3.5.4. Dangers liés à la foudre.....	112
3.5.5. Dangers liés aux vents violents et tempêtes .....	115
3.5.6. Dangers liés aux autres phénomènes climatiques .....	116
3.5.7. Dangers liés aux mouvements de terrain .....	116
3.5.8. Dangers liés aux séismes.....	124
3.5.9. Dangers liés à l'hydrographie / érosion du lit des rivières .....	128
3.5.10. Dangers liés aux inondations .....	131
<b>3.6. DANGERS LIÉS À L'ENVIRONNEMENT HUMAIN OU AUX ACTIVITÉS EXTÉRIEURES À L'OUVRAGE.....</b>	<b>133</b>
3.6.1. Dangers liés aux travaux au voisinage de l'ouvrage .....	133
3.6.2. Dangers liés aux activités industrielles .....	135
3.6.3. Dangers liés aux voies de circulation et accidents de circulation.....	136
3.6.4. Dangers liés aux lignes électriques haute tension (> 63 kV) .....	137
3.6.5. Incendie à proximité .....	139
3.6.6. Dangers liés à la proximité des éoliennes.....	140
3.6.7. Dangers liés à l'épandage de produits chimiques .....	140
3.6.8. Dangers liés aux chutes d'avion.....	141
3.6.9. Dangers liés aux autres réseaux enterrés.....	141
<b>3.7. DANGERS LIÉS À L'EXPLOITATION .....</b>	<b>144</b>
3.7.1. Défaut d'étanchéité des appareils .....	144

---

3.7.2.	Supression .....	145
3.7.3.	Inflammation intérieure.....	146
3.7.4.	Circulation sur les sites GRTgaz (hors travaux).....	147
3.7.5.	Travaux sur site GRTgaz .....	147
<b>4.</b>	<b>QUANTIFICATION DES RISQUES .....</b>	<b>149</b>
<b>4.1.</b>	<b>IDENTIFICATION DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX .....</b>	<b>149</b>
4.1.1.	Que se passe-t-il en cas de rejet accidentel de gaz ? .....	149
4.1.2.	Lien entre les facteurs de risque et les scénarios de fuite représentatifs.....	149
4.1.3.	Les phénomènes dangereux potentiels.....	153
4.1.4.	Intensité des phénomènes dangereux .....	158
<b>4.2.</b>	<b>MODÉLISATION .....</b>	<b>160</b>
4.2.1.	Calcul du débit de gaz émis à l'atmosphère .....	160
4.2.2.	Étude de la dispersion du jet de gaz naturel .....	160
4.2.3.	Étude de la surpression en cas d'inflammation.....	161
4.2.4.	Étude du rayonnement thermique .....	161
<b>4.3.</b>	<b>ÉCHELLES RELATIVES À L'INTENSITÉ .....</b>	<b>162</b>
<b>4.4.</b>	<b>GRAVITÉ DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX.....</b>	<b>164</b>
<b>4.5.</b>	<b>EVALUATION DES EFFETS DOMINO .....</b>	<b>164</b>
4.5.1.	Généralités.....	164
4.5.2.	Seuils réglementaires.....	165
4.5.3.	Approche retenue .....	165
<b>CHAPITRE 5.</b>	<b>ANALYSE ET ÉVALUATION DU RISQUE : APPLICATION AU TRACÉ COURANT .....</b>	<b>171</b>
<b>1.</b>	<b>DÉFINITION DES SCÉNARIOS DE FUITE.....</b>	<b>173</b>
<b>2.</b>	<b>TABLEAUX DES DISTANCES D'EFFETS.....</b>	<b>174</b>
2.1.1.	Rupture complète d'une canalisation enterrée .....	174
2.1.2.	Brèche moyenne (canalisation enterrée) .....	175
2.1.3.	Petite brèche (canalisation enterrée).....	176
2.1.4.	Tableau pour le Plan de Sécurité et d'Intervention (PSI) .....	176
2.1.5.	Distances retenues pour les Servitudes d'Utilité Publique (SUP).....	178
<b>3.</b>	<b>PROBABILITÉ D'ATTEINTE D'UN POINT.....</b>	<b>178</b>
<b>3.1.</b>	<b>DÉTERMINATION DE LA PROBABILITÉ.....</b>	<b>179</b>
<b>3.2.</b>	<b>FRÉQUENCE D'OCCURRENCE DES INCIDENTS ET PROBABILITÉ D'INFLAMMATION.....</b>	<b>182</b>
3.2.1.	Fréquence d'occurrence des incidents .....	182

3.2.2.	Probabilité d'inflammation .....	183
<b>4.</b>	<b>DÉFINITION DES TRONÇONS HOMOGENES.....</b>	<b>184</b>
<b>5.</b>	<b>MATRICES D'ÉVALUATION DU RISQUE ET ACCEPTABILITÉ .....</b>	<b>185</b>
<b>6.</b>	<b>MESURES COMPENSATOIRES DE SÉCURITÉ .....</b>	<b>187</b>
<b>CHAPITRE 6.</b>	<b>ANALYSE ET ÉVALUATION DU RISQUE : APPLICATION AUX INSTALLATIONS ANNEXES .....</b>	<b>189</b>
<b>1.</b>	<b>DÉFINITION DES SCÉNARIOS DE FUITE.....</b>	<b>190</b>
1.1.	INSTALLATIONS ANNEXES RÉPÉTITIVES (POSTE DE SECTIONNEMENT, COUPURE, LIVRAISON) .....	190
1.2.	INSTALLATIONS ANNEXES EN BÂTIMENT .....	191
1.3.	INSTALLATIONS ANNEXES COMPLEXES.....	191
<b>2.</b>	<b>TABLEAUX DES DISTANCES D'EFFETS.....</b>	<b>191</b>
2.1.	RAYONNEMENT THERMIQUE .....	191
2.2.	SURPRESSION .....	192
<b>3.</b>	<b>EXAMEN DES EFFETS DOMINO.....</b>	<b>193</b>
3.1.	EFFETS DOMINO INTERNES .....	194
3.2.	EFFETS DOMINO EXTERNES PROVENANT DES CANALISATIONS GRTGAZ HORS SITE .....	194
3.2.1.	Installations annexes simples .....	194
3.2.2.	Installations complexes.....	196
3.3.	EFFETS DOMINO EXTERNES PROVENANT D'INDUSTRIELS TIERS .....	197
<b>4.</b>	<b>PROBABILITÉ D'ATTEINTE D'UN POINT.....</b>	<b>197</b>
4.1.	DÉTERMINATION DE LA PROBABILITÉ.....	197
4.2.	FRÉQUENCE D'OCCURRENCE DES INCIDENTS ET PROBABILITÉ D'INFLAMMATION.....	197
4.2.1.	Fréquence d'occurrence des incidents .....	197
4.2.2.	Probabilité d'inflammation .....	198
<b>5.</b>	<b>MATRICES D'ÉVALUATION DU RISQUE .....</b>	<b>199</b>
<b>CHAPITRE 7.</b>	<b>ÉTUDE DES POINTS SINGULIERS ET AUTRES POINTS D'ATTENTION.....</b>	<b>201</b>
<b>1.</b>	<b>CANALISATIONS AÉRIENNES OU ASSIMILÉES HORS SITE CLOS .....</b>	<b>203</b>
1.1.1.	Analyse des facteurs de risques.....	203
1.1.2.	Scénarios de référence .....	204
1.1.3.	Intensité des phénomènes dangereux (Distances d'effets) .....	204
1.1.4.	Fréquence et Probabilité d'atteinte d'un point.....	205



1.1.5.	Mesures spécifiques en exploitation .....	206
1.1.6.	Mesures compensatoires.....	206
1.1.7.	PSI.....	206
<b>2.</b>	<b>LES AUTRES POINTS D'ATTENTION.....</b>	<b>206</b>
<b>2.1.</b>	<b>PASSAGE À PROXIMITÉ D'AUTRES RÉSEAUX ENTERRÉS .....</b>	<b>206</b>
2.1.1.	Analyse des facteurs de risques.....	206
2.1.2.	Scénarios de référence .....	208
2.1.3.	Mesures compensatoires.....	208
2.1.4.	PSI.....	209
<b>2.2.</b>	<b>PROXIMITÉ DE PARCS ÉOLIENS .....</b>	<b>209</b>
2.2.1.	Analyse des facteurs de risques.....	209
2.2.2.	Scénarios de référence .....	211
2.2.3.	Mesures compensatoires.....	212
<b>2.3.</b>	<b>PROXIMITÉ DES ICPE.....</b>	<b>212</b>
2.3.1.	Analyse des facteurs de risques : Effets domino .....	212
2.3.2.	Scénarios de référence .....	213
2.3.3.	Dispositions particulières au regard de la gravité .....	213
<b>2.4.</b>	<b>PROXIMITÉ D'INB .....</b>	<b>214</b>
<b>ANNEXE N° 1 :</b>	<b>DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE .....</b>	<b>229</b>
<b>ANNEXE N° 2 :</b>	<b>FICHE DE DONNEES DE SECURITE.....</b>	<b>231</b>
<b>ANNEXE N° 3 :</b>	<b>CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBES.....</b>	<b>245</b>
<b>ANNEXE N° 4 :</b>	<b>PRÉSENTATION DES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES, DES MODÈLES UTILISÉS ET DE LEUR VALIDATION .....</b>	<b>249</b>
<b>ANNEXE N° 5 :</b>	<b>HYPOTHÈSES POUR LES CALCULS DES EFFETS.....</b>	<b>283</b>
<b>ANNEXE N° 6 :</b>	<b>EVALUATION DE LA GRAVITE – DÉCOMPTE DES PERSONNES .....</b>	<b>285</b>
<b>ANNEXE N° 7 :</b>	<b>DÉTERMINATION DE LA PROBABILITÉ D'ATTEINTE D'UN POINT DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CANALISATION.....</b>	<b>291</b>
<b>ANNEXE N° 8 :</b>	<b>CRITERES DE DÉFINITION DES TRONÇONS HOMOGÈNES.....</b>	<b>295</b>
<b>ANNEXE N° 9 :</b>	<b>TABLEAU DE FACTEURS DE RÉDUCTION OU D'AGGRAVATION DES RISQUES .....</b>	<b>297</b>
<b>ANNEXE N° 10 :</b>	<b>PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN POSTE DE LIVRAISON.....</b>	<b>301</b>

## Liste des tableaux

Tableau n° 1 :	Coefficients de calcul et coefficients de sécurité des canalisations de transport .....	38
Tableau n° 2 :	Liste des spécifications utilisées depuis 1970 avant la norme NF EN 10208-2 .....	40
Tableau n° 3 :	Apport de la norme EN ISO 3183.....	41
Tableau n° 4 :	Liste des normes relatives au soudage des tubes .....	43
Tableau n° 5 :	Historique des profondeurs d'enfouissement.....	45
Tableau n° 6 :	Distances minimales lors de parallélisme / croisement avec d'autres réseaux .....	51
Tableau n° 7 :	Protection cathodique : Synthèse des contrôles réglementaires et normatifs depuis 1970 .....	68
Tableau n° 8 :	Répartition des <u>principaux facteurs de risques</u> toutes tailles de brèches confondues .....	87
Tableau n° 9 :	Fréquence des incidents sur le réseau de transport de GRTgaz sur la période 1970- 2014 .....	90
Tableau n° 10 :	Sources de dangers pour le personnel impliqué dans la phase chantier .....	96
Tableau n° 11 :	Température critique de formation des hydrates en fonction de la pression .....	106
Tableau n° 12 :	Corrosivité des produits transportés dans les canalisations voisines dans le cas d'une fuite localisée sans inflammation .....	142
Tableau n° 13 :	Lien entre les facteurs de risques identifiés dans l'analyse qualitative et les scénarios de fuite avec inflammation retenus dans l'analyse quantitative.....	153
Tableau n° 14 :	Tables des seuils réglementaires d'évaluation des effets de la surpression et du rayonnement thermique sur les personnes.....	163
Tableau n° 15 :	Tables des seuils réglementaires d'évaluation des effets de la surpression et du rayonnement thermique sur les structures .....	164
Tableau n° 16 :	Tables d'effets de la surpression sur les structures.....	169
Tableau n° 17 :	Scénarios retenus sur les canalisations en tracé courant.....	174
Tableau n° 18 :	Distances d'effets (en mètres) pour le scénario de rupture de la canalisation enterrée (rejet vertical).....	175
Tableau n° 19 :	Distances d'effets (en mètres) pour le scénario de brèche moyenne - canalisation enterrée (rejet vertical) .....	176
Tableau n° 20 :	Distances d'effets (en mètres) pour le scénario de petite brèche - canalisation enterrée (rejet vertical).....	176
Tableau n° 21 :	Distances d'effets (en mètres) pour le PSI et pour le scénario de rupture de la canalisation enterrée.....	177
Tableau n° 22 :	Valeurs des coefficients pour le calcul de la probabilité d'atteinte dans le cas des canalisations enterrées .....	179
Tableau n° 23 :	Coefficient de profondeur retenu en fonction de l'année de pose et la catégorie d'emplacement .....	181
Tableau n° 24 :	Fréquences issues du retour d'expérience de GRTgaz et TIGF sur la période 1970-1990 .....	182
Tableau n° 25 :	Fréquences applicables pour les canalisations de DN < 150 .....	183
Tableau n° 26 :	Fréquences retenues pour les canalisations en PE.....	183
Tableau n° 27 :	Probabilité d'inflammation selon le rapport EGIG 2010 .....	184
Tableau n° 28 :	Probabilité d'inflammation retenue pour les canalisations de petit diamètre .....	184
Tableau n° 29 :	Scénarios retenus pour les installations annexes répétitives.....	191
Tableau n° 30 :	Distances d'effets (en mètres) du rayonnement thermique des scénarios de référence des installations annexes aériennes.....	192
Tableau n° 31 :	Distances d'effets (en mètres) de la surpression des scénarios de référence des installations annexes aériennes.....	192

---

Tableau n° 32 :	Distances (en mètres) des effets domino thermiques des scénarios de référence des installations annexes .....	193
Tableau n° 33 :	Tableau de synthèse des effets domino thermiques externes pour les installations annexes simples.....	196
Tableau n° 34 :	Fréquences des incidents avec dégagement de gaz à l'atmosphère par scénario .....	197
Tableau n° 35 :	Probabilité d'inflammation des incidents avec dégagement de gaz à l'atmosphère par scénario sur les installations annexes de GRTgaz .....	199
Tableau n° 36 :	Distances d'effets (en mètres) pour le scénario de petite brèche 12 mm horizontal pour les canalisations aériennes (cas majorant : cible à la même altitude que le rejet) .....	204
Tableau n° 37 :	Valeurs de coefficients pour le calcul de la probabilité d'atteinte dans le cas des canalisations. ....	205

## Table des figures

Figure n° 1 :	Carte du réseau de transport de gaz naturel GRTgaz et points d'approvisionnement .....	23
Figure n° 2 :	Limites réglementaires entre GRTgaz et les stockages souterrains / terminaux méthaniers : schéma de principe.....	25
Figure n° 3 :	Limite réglementaire en aval d'un poste de distribution publique .....	25
Figure n° 4 :	Limite réglementaire en aval d'un poste client industriel (DESP) .....	26
Figure n° 5 :	Limite réglementaire en amont d'un poste d'injection de bio-méthane. ....	26
Figure n° 6 :	Station de compression de GRTgaz et raccordement au réseau.....	27
Figure n° 7 :	Opération de cintrage des tubes (©MEDIATHEQUE GDF Suez) .....	46
Figure n° 8 :	Pose et remblai de la tranchée .....	47
Figure n° 9 :	Etapas de pose par forage horizontal dirigé.....	50
Figure n° 10 :	Poste de sectionnement.....	56
Figure n° 11 :	Poste de demi-coupure .....	57
Figure n° 12 :	Raccord isolant .....	60
Figure n° 13 :	Balise (à gauche) et borne (à droite) de signalisation .....	62
Figure n° 14 :	Logogramme des procédures relatives aux DT – DICT .....	78
Figure n° 15 :	Boucle du Système de Gestion de la Sécurité .....	80
Figure n° 16 :	Logigramme de la méthodologie d'analyse des risques.....	85
Figure n° 17 :	Répartition par facteur de risques des incidents GRTgaz avec fuite de gaz (canalisations hors site) - Période 1970 - 2015 .....	88
Figure n° 18 :	Évolution de la fréquence des incidents (en $10^{-4}$ / (km.an)) sur le réseau de transport de GRTgaz sur 5 années glissantes .....	89
Figure n° 19 :	Répartition des incidents par nature sur les installations annexes - Période 1988 – 2015.....	91
Figure n° 20 :	Répartition des fuites sur les installations annexes par facteur de risque - Période 2006 – 2015.....	93
Figure n° 21 :	Exemple d'un incident dû à la foudre – le Cheylas (38) le 29/09/2013.....	114
Figure n° 22 :	Effort sur une canalisation soumise à un mouvement de terrain .....	117
Figure n° 23 :	Cratère consécutif à l'effondrement d'une carrière découvrant une canalisation .....	119
Figure n° 24 :	Les différents paramètres du phénomène de retrait-gonflement .....	123
Figure n° 25 :	Zonage sismique de la France.....	125
Figure n° 26 :	Matrice de détermination du risque sismique pour les canalisations de transport.....	127
Figure n° 27 :	Crue de l'Ainan (Isère) en 2002 .....	130
Figure n° 28 :	Poste de Brignon et d'Ales Saint-Hilaire lors des inondations de 2002.....	132
Figure n° 29 :	Arbre d'évènements associé à une perte de confinement (fuite) de gaz en milieu libre.....	153
Figure n° 30 :	Méthodologie retenue pour la quantification des effets des scénarios.....	159
Figure n° 31 :	Température de la canalisation en fonction de la profondeur d'enfouissement pour un DN 600 à 80 bar (classe de tube 100CP1) .....	166
Figure n° 32 :	Evolution de la température de peau d'une canalisation en acier soumise à différents rayonnements thermiques .....	167
Figure n° 33 :	Détermination de la gravité maximale pour un tronçon homogène.....	185
Figure n° 34 :	Coupe transversale du cratère susceptible de se former en cas de rupture de la canalisation.....	207
Figure n° 35 :	Cratère formé en cas de rupture franche d'une canalisation enterrée .....	208
Figure n° 36 :	Distances de sécurité liées à l'éventualité d'une chute de l'éolienne (Plan horizontal) <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	

## CHAPITRE 1. PRÉAMBULE



L'étude de dangers se compose de deux parties : une partie générique s'appliquant aux canalisations de transport de gaz naturel en projet comme aux canalisations existantes<sup>1</sup>, et une partie spécifique à l'ouvrage prenant la forme, soit d'une étude spécifique pour un projet neuf, soit d'une étude départementale, de fiches communales et de cartographies associées pour le réseau existant, lors des révisions quinquennales.

Le présent document constitue la partie générique de l'étude de dangers d'un ouvrage de transport de gaz naturel ; il précise notamment :

- les attendus de l'étude de dangers,
- la description des ouvrages de transport de gaz de GRTgaz dans leur globalité,
- la présentation du retour d'expérience et l'identification des sources de dangers possibles ainsi que les mesures prises pour réduire ces risques,
- l'identification des différents événements initiateurs redoutés et des phénomènes dangereux associés,
- la définition des scénarios de référence,
- la quantification des effets redoutés en termes de distances d'effets et de probabilité pour chaque type de brèche,
- le traitement des points singuliers, des installations annexes et des cas de nappes de canalisations,
- les principes d'élaboration du P.S.I. (Plan de Sécurité et d'Intervention) ;

en indiquant, en cas de besoin, les évolutions techniques et réglementaires ayant conditionné la nature des ouvrages posés depuis la création du réseau de transport de gaz naturel en France.

La méthodologie adoptée est en conformité avec les guides professionnels « Guide méthodologique pour la réalisation d'une étude de dangers concernant une canalisation de transport (hydrocarbures liquides ou liquéfiés, gaz combustibles et produits chimiques) » Rapport 2008/01 – Edition de janvier 2014 et « Canalisations de transport - Dispositions compensatoires » Rapport 2008/02 – Edition de janvier 2014 établis par le GESIP et associés à l'arrêté du 5 mars 2014 modifié définissant les modalités d'application du chapitre V du titre V du livre V du code de l'environnement et portant règlement de la sécurité des canalisations de transport de gaz naturel ou assimilé, d'hydrocarbures et de produits chimiques<sup>2</sup>.

Les éléments génériques de cette étude s'appliquent au linéaire et aux installations annexes simples. Pour les installations complexes (interconnexions, stations de compression, ...), ou pour les installations temporaires utilisées lors des opérations de maintenance ("gas booster", citernes de gaz porté, etc.), des études adaptées sont réalisées et la méthodologie est précisée dans un document complémentaire à la partie générique, joint en fonction de la nature de l'ouvrage étudié.

Ce document est révisé, a minima annuellement par GRTgaz. L'année portée en référence de la révision est celle relative aux dernières données prises en compte, en particulier celles relatives aux

---

<sup>1</sup> Cette partie générique intègre donc des pratiques et références réglementaires/normatives n'ayant plus cours mais retenues pour les réseaux déjà en exploitation.

<sup>2</sup> Ci-après défini comme « arrêté du 5 mars 2014 modifié » ou « arrêté multi-fluides » ou « AMF » dans sa version consolidée à la date d'édition du présent document.

évolutions réglementaires et normatives, à l'évolution physique du réseau et l'intégration des données du retour d'expérience.

L'ensemble des références réglementaires de ce document est celui des textes en vigueur à la date de rédaction indiquée après la référence de révision. Les évolutions réglementaires et normatives postérieures sont intégrées dans la partie spécifique dans l'attente de la mise à jour de la partie générique.

Sont présentés en annexes :

1. les documents de référence,
2. la fiche de données de sécurité,
3. la fiche de calcul de l'épaisseur des tubes et de la pression maximale de construction,
4. la présentation des phénomènes physiques, des modèles utilisés et de leur validation,
5. l'hypothèse pour les calculs des effets associés à une perte de confinement (fuite),
6. l'évaluation de la gravité – décompte des personnes
7. la détermination de la probabilité d'atteinte d'un point de l'environnement de la canalisation,
8. le tableau des facteurs de réduction ou d'aggravation des risques,
9. le principe de fonctionnement d'un poste de livraison,

**Remarques :**

- les termes techniques suivis de <sup>(\*)</sup> et les acronymes présents dans cette étude sont explicités dans le glossaire (cf. Chapitre 8),
- sauf mention spécifique, les articles réglementaires cités dans la suite du présent document font référence à l'arrêté du 5 mars 2014 modifié définissant les modalités d'application du chapitre V du titre V du livre V du code de l'environnement et portant règlement de la sécurité des canalisations de transport de gaz naturel ou assimilé, d'hydrocarbures et de produits chimiques.

-ooOoo-



## CHAPITRE 2. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE ET DE SON CONTENU



## 1. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

### 1.1. Cadre réglementaire de l'étude de dangers

Le régime juridique général pour la construction et l'exploitation d'ouvrages de transport de gaz est le régime de l'autorisation selon les dispositions réglementaires applicables au transport de gaz par canalisation du livre V Titre V chapitre V du code de l'environnement.

L'étude de dangers doit permettre au transporteur d'exposer et d'analyser les risques que peut présenter son ouvrage et ceux qu'il encourt du fait de son environnement. Le cas échéant, le transporteur doit ensuite définir et justifier les mesures compensatoires qu'il envisage pour réduire la probabilité d'occurrence et/ou les effets des accidents en précisant notamment les dispositions prises aux stades de la conception, de la construction et de l'exploitation de l'ouvrage.

Les documents de référence utilisés ou cités dans cette étude sont listés en Annexe n° 1.

Cette étude de dangers, précédemment dénommée étude de sécurité, n'a pas toujours été obligatoire réglementairement. La première étude de sécurité a été réalisée de manière volontariste et exploratoire par Gaz de France sur la canalisation « Pontcharra – Domène » en 1989. Entre 1989 et 1995, plus de 45 études de sécurité ont ainsi été réalisées pour des projets d'ouvrages neufs.

#### 1.1.1. De 1995 à 2003

Le décret n° 95-494 du 25 avril 1995 modifiant le décret n° 85-1108 du 15 octobre 1985<sup>3</sup>, rend obligatoire la réalisation d'une étude de sécurité uniquement pour les projets de canalisations d'une longueur supérieure à 3 km qui font l'objet d'une demande d'autorisation ou d'une demande de concession.

De 1995 à 2003, Gaz de France a ainsi réalisé environ 30 études de sécurité par an pour des projets d'ouvrages neufs.

La première parution du guide méthodologique GESIP « Études de sécurité » date de 1997.

#### 1.1.2. De 2003 à 2006

Le décret n° 2003-944 du 03 octobre 2003 modifiant le décret n° 85-1108, fixe les conditions dans lesquelles les « autorisations » de transport de gaz sont délivrées par l'autorité administrative compétente préalablement à la construction et à l'exploitation des ouvrages de transport de gaz.

Ainsi, GRTgaz élabore un dossier réglementaire de demande d'autorisation constitué de différentes pièces requises dont notamment une étude de sécurité. Ce dossier est transmis au Ministre en charge de l'Énergie (cas d'une autorisation ministérielle) ou au(x) préfet(s) (cas d'une autorisation préfectorale ou d'une autorisation préfectorale simplifiée) concerné(s) au(x)quel(s) appartient (appartiennent) la décision de donner suite au projet.

L'instruction du dossier était réalisée par la D.R.I.R.E<sup>(\*)</sup> sous la responsabilité du Préfet. Elle comprend, d'une part la consultation des services de l'État, des collectivités territoriales et des chambres

<sup>3</sup> Abrogé par le décret n° 2012-615 du 2 mai 2012

consulaires, et d'autre part une enquête publique (si elle est requise) qui a lieu dans les mairies concernées par le projet.

A l'issue de cette procédure, et en fonction de ses résultats, le Ministre chargé de l'Industrie (cas d'une autorisation ministérielle) ou le(s) préfet(s) (cas d'une autorisation préfectorale ou d'une autorisation préfectorale simplifiée) en charge du dossier décide(nt) de délivrer ou non l'autorisation de construction et d'exploitation de l'ouvrage.

Dans l'affirmative, GRTgaz entreprend des études de détails et contacte les personnes concernées par le projet afin d'affiner le tracé, avant la réalisation des travaux.

La liste des principaux textes législatifs et réglementaires se rapportant à l'ouvrage est présentée en Annexe n° 1.

GRTgaz a réalisé pendant cette période environ 300 études de sécurité.

### 1.1.3. Depuis 2006

L'AMF-2006, à son article 5, reprend l'exigence de la réalisation d'une étude de sécurité pour toute nouvelle canalisation de transport et ajoute, à son article 19, l'obligation pour le transporteur de réaliser une étude de sécurité pour toute canalisation de transport en service, étude qui devait être communiquée au service chargé du contrôle dans les 3 ans suivant la publication de l'arrêté (échéance le 15 septembre 2009).

GRTgaz a donc réalisé les études de sécurité sur l'ensemble de son réseau entre 2006 et 2009 et les a transmis au service chargé du contrôle à l'échéance indiqué ci-dessus.

Par la suite, la mise à jour des études de sécurité devait être adressée au service chargé du contrôle a minima tous les 5 ans (article 14).

Les installations annexes ayant fait l'objet d'une étude de dangers au titre de la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (à savoir les stations de compression soumises à autorisation) sont dispensées de l'étude de sécurité.

### 1.1.4. Depuis le 2 mai 2012

La codification de la réglementation applicable aux canalisations de transport dans les parties législative et réglementaire du code de l'environnement, respectivement par l'ordonnance n° 2010-418 et le décret n° 2012-615, introduit la dénomination « d'étude de dangers » à la place de celle « d'étude de sécurité ».

Conformément au b) de l'article R.555-39 du code de l'environnement, l'étude de dangers doit également fournir les éléments permettant au préfet de chaque département concerné d'établir des Servitudes d'Utilité Publique autour des canalisations de transport conformément à l'article R.555-30 du code de l'environnement ainsi que les éléments indispensables pour l'élaboration par les autorités publiques du plan ORSEC défini par le décret n° 2005-1157 du 13 septembre 2005 conformément au h) de l'article R.555-39.

### 1.1.5. Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2014

L'AMF distingue les attendus des études de dangers pour :

- les ouvrages neufs à son article 10 c'est-à-dire ceux dont le dossier de demande d'autorisation est déposé à compter du 1<sup>er</sup> juillet 2014,
- les ouvrages existants à son article 28 et notamment la mise à jour quinquennale des études de dangers.

Pour les installations annexes, l'étude de dangers au titre du Chapitre V, titre V Livre V du code de l'environnement tient lieu d'étude de dangers au titre de la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (Chapitre 1 Titre II Livre V du même code) lorsqu'une telle étude est obligatoire et lorsque les dispositions réglementaires relatives aux deux catégories d'étude de dangers ont été respectées.

## 1.2. Obligations réglementaires

Le texte réglementaire de référence pour la conception, la construction et l'exploitation des canalisations de transport de gaz naturel est l'AMF, auquel sont associés les guides GESIP cités en Annexe n° 1 ainsi que des normes.

Les obligations réglementaires sont notamment les suivantes :

- pour les ouvrages neufs
  - × le respect des normes relatives à la construction de l'ouvrage notamment pour les caractéristiques des tubes et accessoires de la canalisation (article 3).
  - × Les dispositions constructives essentielles (article 7) dont la protection contre la corrosion (alinéa 7),
  - × l'utilisation de coefficients de sécurité minimaux, fonction de la densité de population et de la nature des terrains traversés (article 6),
  - × la localisation de la canalisation par rapport aux établissements sensibles<sup>4</sup> (article 5),
  - × la prise en compte de dispositions constructives spécifiques issues de l'étude parasismique pour les tronçons à risque spécial (article 9),
  - × la réalisation de l'étude de dangers initiale (article 10),
  - × la réalisation des épreuves de résistance et d'étanchéité, (article 14),
  - × le dossier technique de la canalisation relatif à la mise en service de l'ouvrage (article 19),
- pour les ouvrages en exploitation
  - × la mise à jour quinquennale des études de dangers (article 28),
  - × le SIG (article 16)
  - × la réalisation d'un plan de sécurité et d'intervention (article 17)
  - × la réalisation d'un plan de maintenance et de surveillance de l'ouvrage (article 18),
  - × l'exploitation des ouvrages (chapitre III) dont l'évolution de l'urbanisation et la maîtrise de l'urbanisation à travers les réponses apportées à l'analyse de compatibilité soumise par les aménageurs (article 29),
  - × le SGS (article 22),
  - × le compte rendu d'exploitation au titre de la sécurité (article 26).

---

<sup>4</sup> Établissements Recevant du Public (ERP) d'une certaine capacité, Immeubles de Grande Hauteur (IGH) ou aux Industries Nucléaires de Base (INB)

### **1.3. Propriété du réseau de transport**

En France, le réseau de transport de gaz naturel par canalisation, à l'exception de celui implanté dans le sud-ouest propriété de TIGF, est la propriété de GRTgaz SA, filiale du groupe ENGIE (anciennement GDF Suez) et de la Société d'Infrastructures Gazières (Consortium public composé de CNP Assurances, de CDC Infrastructure et de la Caisse des Dépôts), au capital de 538 165 490 €, RCS Nanterre 440 117 620, dont le siège est basé à l'Immeuble Bora, 6 rue Raoul Nordling, 92277 Bois-Colombes Cedex.

GRTgaz est une société anonyme créée le 1er janvier 2005 en application de la loi n° 2004-803 du 9 août 2004 relative au service public de l'électricité et du gaz et des industries électriques et gazières, qui transpose en droit français la directive n° 2003/55/CE du 26 juin 2003 du Parlement européen et du Conseil concernant des règles communes pour le marché intérieur du gaz naturel.

Dans le cadre de la libéralisation des marchés du gaz et de l'électricité, les opérateurs historiques de gaz naturel et d'électricité ont séparé leurs activités production/fourniture des activités de gestion des réseaux de transport et de distribution. GRTgaz est le gestionnaire du réseau de transport de gaz naturel possédé précédemment par Gaz de France. Propriétaire du réseau et responsable de la commercialisation de la prestation de transport, GRTgaz a été créé pour agir en toute équité avec l'ensemble des opérateurs souhaitant entrer sur le marché français. Sa mission consiste à favoriser une concurrence effective entre les producteurs/fournisseurs de gaz naturel au profit des consommateurs de gaz, tant industriels que particuliers. Elle conduit GRTgaz à développer le réseau de transport afin que les consommateurs puissent bénéficier de sources d'approvisionnement multiples et ainsi, par le jeu de la concurrence, bénéficier du meilleur prix. Les investissements sur le réseau de transport sont non seulement un facteur-clé de l'ouverture du marché et de la libre concurrence, mais aussi l'assurance de la continuité de fourniture, y compris dans des conditions de froids exceptionnels. En tant que transporteur, GRTgaz a l'obligation de dimensionner son réseau pour qu'il puisse faire face aux besoins en gaz naturel au risque 2%, soit en cas de froid tel qu'il se produit tous les 50 ans. Il s'agit d'une obligation de service public.

GRTgaz, est membre du GTE<sup>5</sup> et de l'ENTSO<sup>6</sup>, associations regroupant les principaux transporteurs de gaz européens.

### **1.4. Finalité du réseau de transport**

GRTgaz assure les prestations d'acheminement pour le compte des expéditeurs de gaz naturel, fournisseurs de gaz naturel sur le marché français ou traders négociant l'achat-vente de gaz naturel sur les marchés européens. L'acheminement consiste en la réception en un ou plusieurs points d'entrée du réseau de transport d'une quantité définie de gaz naturel et la restitution d'une quantité de gaz d'égal contenu énergétique en un ou plusieurs points de livraison de ce réseau. À fin 2016, GRTgaz compte 131 clients expéditeurs.

GRTgaz assure également le raccordement et la livraison de gaz naturel auprès des clients industriels raccordés sur le réseau de transport et auprès des réseaux de distribution.

---

<sup>5</sup> Gas Transmission Europe

<sup>6</sup> European Network of Transmission System Operators for Gas : Association regroupant les principaux transporteurs de gaz européens

À fin 2016, le réseau de GRTgaz représente :

- 32 456 kilomètres de canalisations enterrées constituées de tubes en acier,
- 180 kilomètres de canalisations en polyéthylène (ouvrages construits et exploités par GRDF : opérateur du réseau de distribution),

et dessert :

- 764 clients industriels (dont 13 centrales de production électrique),
- 19 gestionnaires de réseau de distribution.

## 1.5. Désignation et implantation

Un ouvrage de transport de gaz naturel est donc constitué de deux types d'éléments : **la canalisation** (ou tracé courant) et **les installations annexes**.

### LE RÉSEAU DE TRANSPORT DE GAZ NATUREL DE GRTgaz



Figure n° 1 : Carte du réseau de transport de gaz naturel GRTgaz et points d'approvisionnement

Les diamètres nominaux (DN) principaux des **canalisations** du réseau de transport de GRTgaz s'échelonnent du DN 80 au DN 1200. La pression du gaz dans le réseau de transport de gaz naturel est comprise, suivant les canalisations, entre 16 bar et 229 bar, et est majoritairement égale à 67,7 bar.

Ces canalisations sont majoritairement enterrées, en domaine privé ou public, avec une hauteur de couverture de l'ordre de 80 centimètres de remblai, pour les canalisations posées entre 1970 et 1984. Les canalisations posées depuis 1984 sont enterrées à une profondeur minimale de un mètre.

Lors du transit du gaz naturel dans les canalisations, sa pression diminue du fait des frottements du gaz sur les parois de la canalisation. Ces pertes de charge sont suffisamment significatives pour rendre nécessaires, sur le réseau de transport, des **stations de compression** (« sites industriels ») afin de pouvoir recomprimer le gaz. GRTgaz dispose actuellement de 28 stations de compression d'une puissance installée totale de 616 MW.

Le réseau de transport étant soit maillé soit en étoile, il existe sur le réseau une soixantaine d'installations permettant de répartir le gaz sur les différentes artères à partir d'un point : ce sont les **interconnexions**, isolées ou associées à une station de compression.

Aux points de livraison aux clients industriels et aux distributions publiques, il est nécessaire d'abaisser la pression du gaz afin qu'il puisse être utilisé dans les procédés industriels ou transiter dans le réseau de distribution jusqu'au compteur de chaque utilisateur. Les **postes de détente et de livraison** du réseau de transport, qui comportent des équipements aériens, remplissent cette fonction.

## **1.6. Limites réglementaires entre les ouvrages raccordés**

Une canalisation de transport de gaz naturel est susceptible :  
d'être alimentée par :

- des réseaux de transport frontaliers,
- des stockages souterrains,
- des terminaux méthaniers,
- des producteurs de bio-méthane ;

et d'alimenter :

- des distributions publiques ou des régies,
- des entreprises industrielles ou commerciales,
- des centrales de production d'électricité consommant du gaz naturel (CCCG).

Dans le cas d'un ouvrage frontalier, la limite réglementaire est la frontière.

Pour les autres interfaces, il convient de matérialiser la limite des régimes juridiques applicables aux ouvrages par un organe de sectionnement, un robinet en général. Cela fixe aussi les limites physiques d'application des règlements techniques et des responsabilités juridiques afférentes. Cette règle répond aux dispositions réglementaires suivantes :

- décret n° 99-1046 du 13 décembre 1999 relatif aux équipements sous pression [article 2-II. a)] et arrêté du 15 mars 2000 modifié relatif à l'exploitation des ESP, pour les ouvrages connectés à des installations industrielles;
- arrêté ministériel du 13 juillet 2000 portant règlement de sécurité de la distribution de gaz combustible par canalisations (article 2) ;
- arrêté du 5 mars 2014 modifié définissant les modalités d'application du chapitre V du titre V du livre V du code de l'environnement et portant règlement de la sécurité des canalisations de transport de gaz naturel ou assimilé, d'hydrocarbures et de produits chimiques (article 2).



Les règles générales d'interfaces réglementaires sont rappelées dans les paragraphes 1.6.1 à 1.6.4 suivants. L'étude spécifique précisera au cas par cas la situation pour chacun des points de raccordement.

### 1.6.1. Interfaces avec les stockages souterrains et les terminaux méthaniers

Le schéma ci-dessous rappelle les limites réglementaires entre les installations des stockages souterrains, terminaux méthaniers et les installations du réseau de transport de GRTgaz.

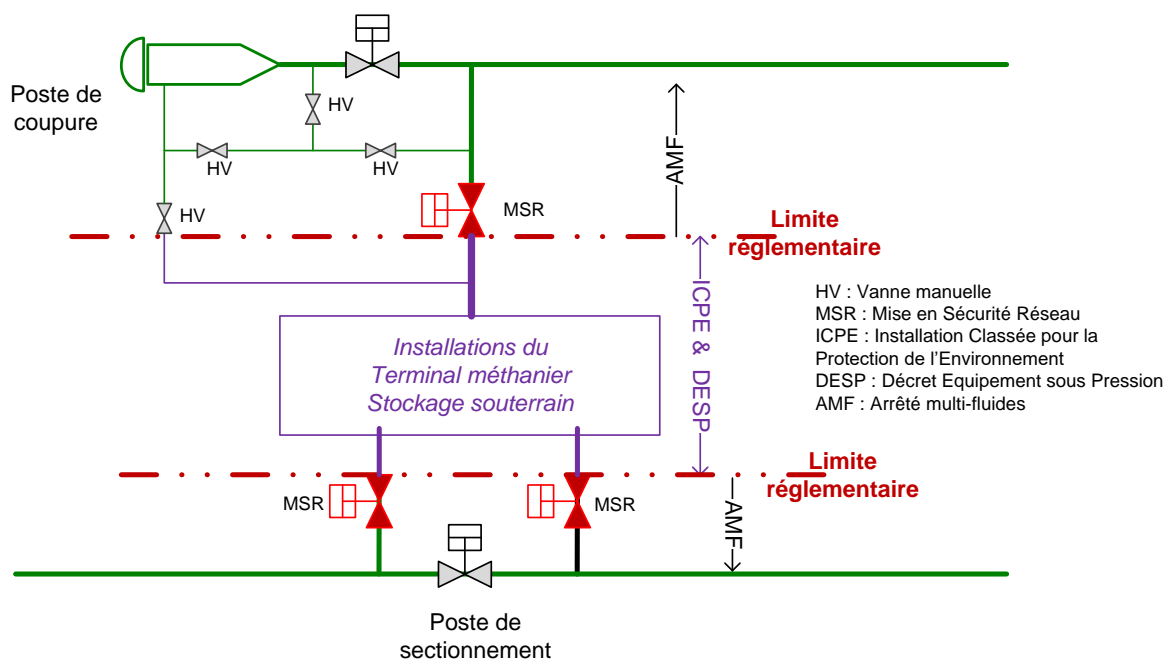


Figure n° 2 : Limites réglementaires entre GRTgaz et les stockages souterrains / terminaux méthaniers : schéma de principe

### 1.6.2. Réseau aval des postes de distribution publique

La limite du régime juridique transport en aval d'un poste de détente livraison, démontable, à une distribution publique, est matérialisée par la bride aval, comme le confirme l'article 2. Au-delà, c'est la réglementation distribution qui s'applique.

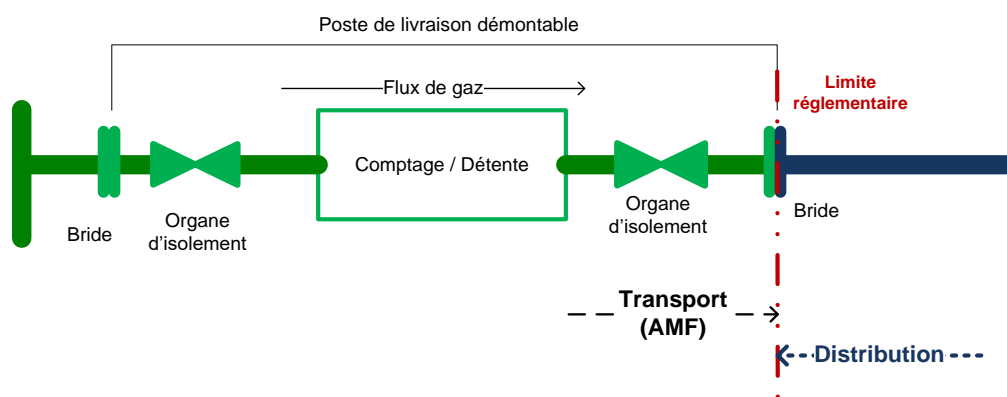


Figure n° 3 : Limite réglementaire en aval d'un poste de distribution publique

### 1.6.3. Réseau aval des postes de livraison à des clients industriels

En aval d'un poste de livraison à un client industriel, la frontière entre le régime juridique transport et la réglementation relative aux équipements sous pression est physiquement matérialisée par un organe de coupure délimitant les responsabilités entre chaque opérateur (cf. article 2 – Terminaison d'une canalisation de transport).

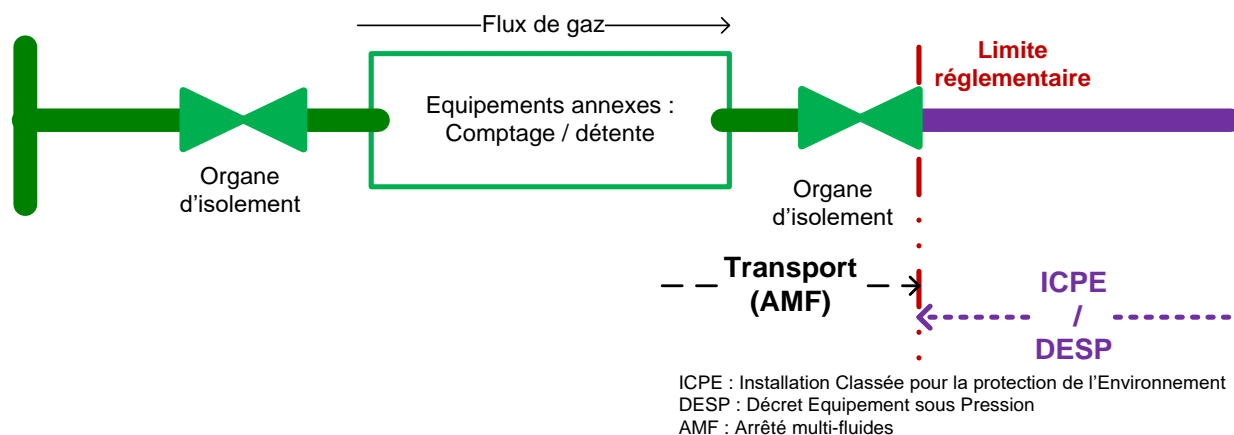


Figure n° 4 : Limite réglementaire en aval d'un poste client industriel (DESP)

#### 1.6.4. Réseau amont des producteurs de bio-méthane

Le schéma ci-après indique la limite réglementaire entre les installations de productions de bio-méthane et les installations du réseau de transport de GRTgaz permettant l'odorisation du gaz et son injection sur le réseau.

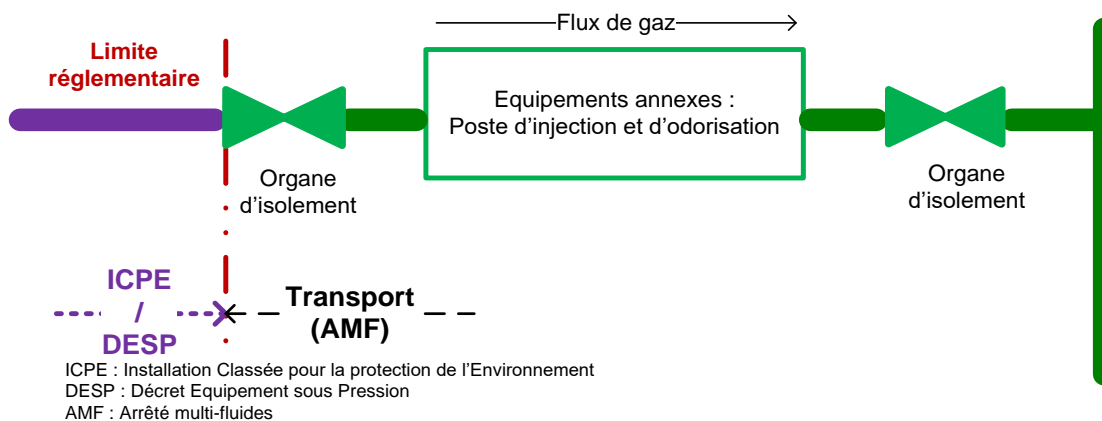


Figure n° 5 : Limite réglementaire en amont d'un poste d'injection de bio-méthane.

#### 1.6.5. Cas des stations de compression de GRTgaz

Les stations de compression sont des installations annexes du réseau de transport de GRTgaz selon l'article R555-2 du code de l'environnement et l'article 2 de l'arrêté du 5 mars 2014 modifié dont la plupart ont recours à des équipements figurant à la nomenclature des ICPE.

Depuis l'entrée en vigueur de l'ordonnance du 10 mars 2016 relative à la sécurité des ouvrages de transport et de distribution modifiant la partie législative du code de l'environnement livre V titre V chapitre IV et V, les conduites et sections de conduites faisant partie d'installations annexes au sens de l'article L. 554-6, soumises à autorisation en tant qu'installation classée pour la protection de

l'environnement sont exclues des canalisations de transport mentionnées à l'article L. 554-5 du code de l'environnement.

Désormais, il faut distinguer deux catégories de stations de compression d'une part celles soumises à autorisation ICPE et d'autre part celles relevant du seul régime juridique des canalisations de transport ; ces dernières pouvant inclure certaines activités relevant du régime de la déclaration ICPE.

La figure suivante donne une représentation de principe des stations de compression construites depuis 2007. Auparavant, un atelier compression, délimité par les robinets ESD (Emergency Shut Down), pouvait compter 2 voire 3 compresseurs. Ces robinets matérialisent **la limite physique entre les ouvrages et non un changement de réglementation**.

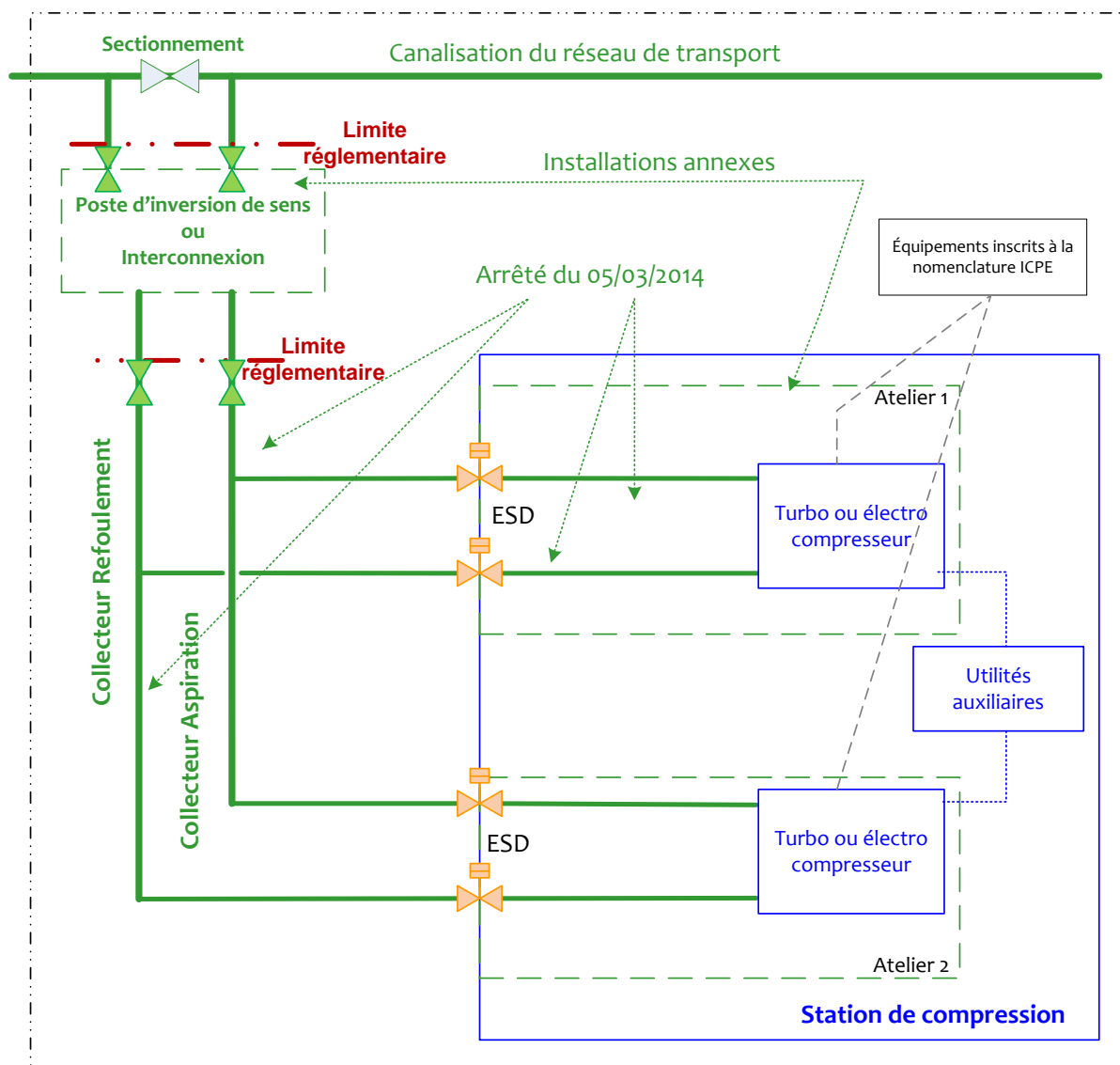


Figure n° 6 : Station de compression de GRTgaz et raccordement au réseau

Pour les installations soumises à autorisation ICPE, la limite réglementaire dépend de la configuration du site. Elle se situe, dans le sens de circulation du gaz, soit à l'amont de l'interconnexion soit à l'aval de celle-ci (cf. figure ci-dessus). La limite effective retenue entre installations figurera dans l'étude spécifique à l'installation transport concernée.

Pour les autres stations de compression, il n'y a pas lieu de définir une limite réglementaire.

Toutefois, quel que soit le régime ICPE de ces installations, les conduites véhiculent le fluide transporté sont conçues, construites, mises en service, exploitées, surveillées, maintenues et arrêtées suivant les mêmes prescriptions que celles applicables aux canalisations de transport en vertu de l'article L. 554-8 et des textes pris pour son application à savoir l'arrêté du 5 mars 2014 modifié (AMF).

Ces sites entrent par ailleurs dans le champ d'application du code de l'urbanisme (déclaration préalable ou permis de construire) pour les bâtiments, clôture, affouillements et exhaussements.

## 1.7. Réalisation de l'étude de dangers



Se reporter à la partie 2 : Etude spécifique

## 1.8. Processus de modification/révision de l'étude

### Ouvrage existant

L'étude de dangers est révisée tous les 5 ans conformément à l'article 28. Cette mise à jour prend en compte les évolutions de l'urbanisation intervenues depuis la précédente révision.

### Ouvrage en projet

L'étude de dangers initiale prévue à l'article 10 est réalisée par GRTgaz, sur la base des données disponibles et sous sa responsabilité, au moment du dépôt de demande d'autorisation de construire et d'exploiter pour les ouvrages neufs. Cette étude de dangers étant réalisée en amont des études de détail, des modifications peuvent intervenir au cours du projet. Celles-ci peuvent se classer en deux types :

- des modifications importantes du tracé conduisant à remettre à jour l'ensemble de l'étude et éventuellement à reprendre la procédure ;
- des aménagements mineurs ou des modifications de mesures compensatoires au cours du projet, un document complémentaire est alors transmis à l'administration avant la déclaration de conformité due préalablement à la mise en service de l'ouvrage, par le transporteur.

## 2. CONTENU DE L'ÉTUDE DE DANGERS

Conformément à la partie réglementaire du Code de l'Environnement Livre V, Titre V, Chapitre V et en particulier à l'article R 555-39 et au guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014, l'étude de dangers comprend notamment les éléments suivants :

- la description du projet ou de la canalisation de transport de gaz de GRTgaz existante et de son environnement avec en particulier la répartition des différents tronçons par coefficient de sécurité et la description des occupations du sol au sens de l'article 6,
- en l'absence d'une étude d'impact, une analyse de la pertinence du tracé retenu vis-à-vis de la sécurité, ou, lorsqu'elle existe, la reprise des conclusions de l'étude d'impact quant à la pertinence du choix du tracé,

- l'analyse des risques appliquée à la canalisation, en fonction du tracé retenu ou existant et des points singuliers identifiés, la présentation des accidents susceptibles d'intervenir, que leur cause soit d'origine interne ou externe, et la description de leurs conséquences potentielles,
- un exposé des largeurs des zones des effets irréversibles, des zones des premiers effets létaux, et des zones des effets létaux significatifs, liées aux différents phénomènes accidentels possibles,
- la sélection parmi ces différents phénomènes accidentels, sur la base d'une approche probabiliste et selon les critères définis par le guide susmentionné, des phénomènes dangereux de référence à retenir pour l'application des articles 11 (mise en œuvre des SUP) et 17 (SIG),
- les conditions d'exploitation des ouvrages et d'organisation de l'établissement,
- les cartographies relatives à :
  - × l'implantation des établissements recevant du public de plus de 100 personnes et des immeubles de grande hauteur ; ce plan est normalement fourni au sein du système d'information géographique prévu à l'article 16 ; à défaut, l'information est fournie sous la forme d'un plan non dématérialisé ou sous une autre forme tenant compte de l'incertitude de localisation,
  - × l'analyse de risque,
  - × celles à destination du Plan d'Urgence.

Elle indique de plus la nature et l'organisation des moyens de secours en vue de combattre et limiter les effets d'un éventuel sinistre, ainsi que les principes selon lesquels sera établi le Plan de Sécurité et d'Intervention relatif à l'ouvrage.

À son initiative, GRTgaz peut être amené, dans certains cas, à prendre des dispositions complémentaires à celles imposées par la réglementation.

Dans les cas où la réglementation exige la réalisation d'une étude d'impact, celle-ci, conduite en parallèle de l'étude de dangers, décrit la démarche ayant conduit au choix du tracé dans le cas d'un projet neuf.

Nota : le guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014 à l'annexe 11 précise que « Les produits gazeux ne sont susceptibles de polluer ni les sols ni les eaux, leurs effets ne seront donc pas examinés dans le cadre d'une analyse environnementale. ». Par conséquent, les enjeux environnementaux ne sont pas approfondis dans l'étude de dangers. Ceux-ci sont traités dans l'étude d'impact quand elle est exigée réglementairement. Les enjeux pour la santé humaine sont traités dans les thématiques suivantes :

- les caractéristiques du gaz naturel présentées au Chapitre 3 § 1.
- les phénomènes dangereux présentés au Chapitre 4 § 4.1.

-ooOoo-



## **CHAPITRE 3. DESCRIPTION GÉNÉRALE DES OUVRAGES DE TRANSPORT DE GAZ NATUREL**





## 1. CARACTÉRISTIQUES DU GAZ TRANSPORTÉ

La conception et l'exploitation d'un ouvrage de transport sont directement influencées par la nature du produit qu'il transporte. C'est pourquoi il est nécessaire de préciser les caractéristiques du gaz naturel (conformément au 4° de l'article R.433-15 du code de l'énergie, les prescriptions techniques doivent notamment porter sur les caractéristiques requises du gaz aux points d'entrée dans les réseaux ainsi qu'aux raccordements aux différentes installations) avant d'aborder les règles de conception, de construction et d'exploitation d'un ouvrage de transport.

### 1.1. Caractéristiques du gaz naturel

Les caractéristiques du gaz naturel sont réglementées par les pouvoirs publics ou spécifiées par GRTgaz de façon à garantir un gaz non corrosif et une plage de pouvoir calorifique. Le gaz naturel transitant dans le réseau (fiche de données de sécurité présentée en Annexe n° 2) est :

- composé très majoritairement de méthane<sup>(\*)</sup> (CH<sub>4</sub>), composé chimiquement très stable,
- plus léger que l'air, il se disperse très rapidement dans l'atmosphère et le risque d'avoir un nuage de gaz au sol dérivant jusqu'aux habitations avoisinantes est nul,
- non polluant, non toxique (et il en est de même de ses produits de combustion en conditions normales de combustion), non corrosif. Seule est à noter la contribution à l'augmentation de l'effet de serre des rejets de méthane dans l'atmosphère, contribution néanmoins faible.

#### ☐ Inflammabilité

Le gaz naturel forme avec l'air un mélange inflammable si la concentration en méthane est comprise entre 5% et 15%. On parle alors de Limite Inférieure d'Inflammabilité (LII ou LIE) et de Limite Supérieure d'Inflammabilité (LSI ou LSE). La plage de concentrations entre la LII et la LSI constitue le domaine d'inflammabilité du gaz naturel.

Le gaz naturel ne présente pas de risque d'inflammation spontanée à la température ambiante. Une énergie d'activation de type électrique ou thermique doit être fournie au mélange pour amorcer la combustion.

La probabilité de voir s'amorcer la combustion d'un mélange inflammable gaz naturel /air est :

- forte au contact d'une flamme ou sous l'action d'une étincelle (l'énergie minimale d'inflammation est faible :  $0,29 \cdot 10^{-3}$  Joules pour un mélange méthane / air à 9,5 % de méthane) non turbulent au repos. Cette énergie minimale d'inflammation varie en fonction de la concentration de gaz naturel dans l'air. Un mélange hétérogène ou plus pauvre ou plus riche en gaz naturel sera plus difficile à enflammer qu'un mélange parfaitement homogène et stœchiométrique ;
- plus faible en présence d'un point chaud qui ne préchauffe qu'un petit volume de mélange air/gaz et nécessite, de ce fait, des températures plus élevées, la température d'auto inflammation du gaz naturel étant de l'ordre de 540 °C ;
- et extrêmement faible au cœur d'un panache turbulent car l'amorçage nécessite alors la présence d'une source d'inflammation d'une taille au moins équivalente à celles des tourbillons c'est-à-dire de l'ordre de 10 cm de diamètre au minimum.

Lorsque les trois éléments nécessaires (air, gaz à la concentration voulue, énergie d'activation) sont réunis, l'inflammation peut se développer selon l'un des deux principes suivants :

- l'inflammation d'un mélange air/gaz en milieu non confiné peut conduire à la formation d'un jet enflammé ou feu de « torche » dont les effets sont essentiellement thermiques, voire à une déflagration dont les effets de surpression restent limités (quelques dizaines de millibar à la source). Dans ce cas, le rayonnement thermique émis par la flamme est susceptible d'engendrer des effets dont les conséquences éventuelles diminuent avec la distance au foyer. Les effets par rayonnement thermique d'un accident avec inflammation du gaz naturel sont liés au débit ainsi qu'à la durée du rejet et donc au phénomène dangereux envisagé.
- en milieu encombré ou confiné, l'inflammation d'un nuage air/gaz peut engendrer des effets de surpression sous l'effet de l'accélération de flamme et de la résistance à l'écoulement des gaz brûlés par les parois ou les obstacles.

#### ☐ **Asphyxie**

Le gaz naturel peut provoquer, par inhalation, l'asphyxie des êtres vivants à cause de l'appauvrissement de l'oxygène dans l'air inspiré. Cependant ce risque n'est à prendre en compte que lors de fuites de gaz dans les endroits confinés. En milieu libre (à l'extérieur), compte tenu du fait que le méthane est plus léger que l'air dans les conditions normales, l'anoxie ne peut pas se produire.

La grandeur communément retenue pour la caractérisation du danger est la DIVS (Danger immédiat pour la vie et la santé). Cette valeur est de 5000 ppm<sup>7</sup> (0,5%) pour le méthane, principal constituant du gaz naturel.

Nota : La DIVS du méthane n'est pas une valeur établie en fonction d'un danger pour la santé, elle indique uniquement le danger d'explosibilité. Cette valeur a été fixée à 10 % de la LIE.

Afin de se prémunir du risque d'anoxie, l'INRS stipule que le seuil de tolérance relatif à la teneur en oxygène de l'atmosphère est de 19 % et le seuil limite de 17%, en-deçà il en résulte des effets nocifs. Les concentrations en méthane dans l'air permettant d'atteindre ces teneurs sont respectivement de l'ordre de 10 % et 23% c'est-à-dire dans la zone du rejet.

#### ☐ **Température du gaz naturel transporté**

La température du gaz naturel transporté varie en fonction de la proximité des stations (compression, stockages, traitement, ...) et de la température du sol, sans dépasser 60°C (température retenue pour ne pas dégrader le revêtement des canalisations). Cette température est suivie au niveau des stations de compression et garantie par la mise en place d'aéroréfrigérants au refoulement des compresseurs, en tant que de besoin).

## **1.2. Non corrosivité du gaz naturel**

Des composés soufrés, sous forme de traces, peuvent être présents naturellement dans le gaz naturel : sulfure d'hydrogène<sup>(\*)</sup>, oxysulfure de carbone<sup>(\*)</sup>, mercaptans<sup>(\*)</sup>.

<sup>7</sup> Selon Cairelli, S.G., Ludwig, H.R. et Whalen, J.J., Documentation for immediately dangerous to life or health concentrations (IDLHS). Springfield (VA) : NTIS. (1994). PB-94-195047. [RM-515102].

Certains de ces composés soufrés peuvent être corrosifs dans certaines conditions, c'est pourquoi l'arrêté du 28 janvier 1981 relatif à la teneur en soufre et composés sulfurés des gaz naturels transportés par canalisations de transport impose des normes strictes :

- teneur moyenne de sulfure d'hydrogène sur 8 jours inférieure à  $7 \text{ mg}/(\text{n})\text{m}^3$ ,
- teneur instantanée en sulfure d'hydrogène inférieure à  $15 \text{ mg}/(\text{n})\text{m}^3$  avec une durée de dépassement du seuil de  $12 \text{ mg}/(\text{n})\text{m}^3$  inférieure à 8 heures,
- teneur instantanée en soufre total<sup>(\*)</sup> inférieure à  $150 \text{ mgS}/(\text{n})\text{m}^3$ .

En outre, l'arrêté impose également de limiter la teneur en eau dans le gaz de telle façon que le point de rosée<sup>(\*)</sup> soit inférieur à  $-5^\circ\text{C}$  à la Pression Maximale en Service<sup>(\*)</sup>. De ce fait, il n'y a pas d'eau à l'état liquide dans les ouvrages de transport dans des conditions normales de fonctionnement.

L'apparition, de manière exceptionnelle et limitée dans le temps, d'une teneur en eau supérieure à ces limites ne serait cependant pas de nature à générer des phénomènes de corrosion interne.

Ces teneurs en eau et en sulfure d'hydrogène sont mesurées et surveillées en permanence aux points du réseau pour lesquels ces limites risqueraient d'être dépassées, à savoir aux points d'importation du gaz et aux points d'interface transport - stockages souterrains en période de soutirage. Des installations de déshydratation et de désulfuration permettent en ces points de traiter le gaz qui ne répondrait pas aux spécifications réglementaires énoncées ci-dessus.

**Ces diverses dispositions garantissent la non corrosivité du gaz naturel.**

### **1.3. Pouvoir calorifique**

Les limites de variation autorisées pour le Pouvoir Calorifique Supérieur<sup>(\*)</sup> (P.C.S.) sont précisées dans le cahier des charges de transport de gaz conforme aux arrêtés du 16 septembre 1977 - Dispositions relatives au pouvoir calorifique du gaz naturel distribué par réseau de distribution publique - : gaz H de  $10,7$  à  $12,8 \text{ kWh}/\text{m}^3(\text{n})$  et gaz B de  $9,5$  à  $10,5 \text{ kWh}/\text{m}^3(\text{n})$ . Le P.C.S. du gaz transitant dans le réseau est contrôlé à chaque point d'approvisionnement (production nationale, frontières, stockages souterrains, terminaux méthaniers) ainsi qu'aux points où des gaz de provenances différentes peuvent être mélangés.

### **1.4. Odorisation**

Le gaz naturel peut être, selon son origine, tout à fait inodore. Du point de vue réglementaire, l'odorisation du gaz est obligatoire aux points de sortie des réseaux de transport conformément aux prescriptions techniques prévues au 4° de l'article R.433-15 du code de l'énergie. En application de l'article 18 de l'AMF, cette odorisation du gaz en sortie du réseau de transport est de la responsabilité du transporteur.

Depuis la fin des années 1970, la politique de Gaz de France puis de GRTgaz a été d'odoriser le gaz en amont des réseaux de transport plutôt qu'en aval. En effet, l'odorisation en amont permet, d'une part, de diminuer le nombre de points d'injection de l'odorisant, assurant ainsi le mieux possible un taux d'odorisation fiable et l'homogène sur l'ensemble du réseau, et constitue, d'autre part, un moyen supplémentaire de détection en cas de fuite éventuelle. Les exceptions à cette règle interne

concernent principalement des tronçons de canalisation en amont des stations frontières notamment, ou sont justifiées par une incompatibilité de l'odorisant avec les contraintes de certains clients.

Depuis peu, l'évolution du contexte énergétique européen conduit la France à devenir une plaque d'échanges internationaux du gaz naturel, en permettant notamment l'utilisation des terminaux méthaniers français pour alimenter la Belgique et l'Allemagne, pays où le gaz qui circule dans les réseaux de transport n'est pas odorisé. Ainsi, au cas par cas, de nouveaux ouvrages transportant du gaz non odorisé sont construits et exploités par GRTgaz en particulier dans le nord de la France afin d'alimenter en gaz non odorisé ces réseaux frontaliers.

Le gaz est odorisé de façon caractéristique par l'injection d'un composé soufré : le tétrahydrothiophène (THT)<sup>(\*)</sup>. Cette disposition est conforme au Cahier des Charges « Odorisation du gaz distribué (RSDG 10) » du 15 décembre 2002. **Il est à noter que ces composés soufrés sont injectés dans le gaz naturel à des teneurs très inférieures aux seuils de corrosion. Ils ne participent donc en aucun cas à une éventuelle corrosion interne.**

L'odorisation s'effectue en continu à tous les points d'approvisionnement du réseau (frontières, terminaux méthaniers, injection de bio-méthane). En sortie des stockages, une odorisation d'appoint peut être nécessaire.

Le niveau d'odorisation est mesuré et surveillé en continu sur le réseau de transport. L'odorisation du gaz livré aux distributeurs par GRTgaz est certifiée ISO 9001.

## 2. TRACÉ DE L'OUVRAGE ET SON ENVIRONNEMENT

### 2.1. Le tracé



[Se reporter à la partie 2 : Étude spécifique](#)

Pour les canalisations neuves, cette section met en évidence la pertinence du choix du tracé notamment vis-à-vis de la sécurité.

### 2.2. L'environnement humain, économique et naturel

L'analyse de l'environnement autour de la canalisation est conduite sur une largeur au moins égale à celle susceptible d'être affectée par les premiers effets létaux du phénomène dangereux de référence initial pour le tronçon considéré. Lorsque ces distances sont calculées avec prise en compte de l'éloignement des personnes et lorsqu'il existe des enjeux humains significatifs à proximité de la canalisation (en particulier présence d'ERP) et des raisons de douter de la capacité des personnes à s'éloigner, l'analyse porte sur une bande supplémentaire assimilable à la zone des effets irréversibles. Cette bande est dénommée bande d'étude.

L'analyse de l'environnement permet de déterminer à la fois les enjeux mais aussi les sources de dangers potentiels liés à l'environnement naturel et l'activité industrielle. Elle est réalisée à partir de données publiées mais peut également nécessiter des relevés sur le terrain.

Les documents relatifs à l'environnement de l'ouvrage, exploités pour la réalisation des études de dangers, sont :

- les fonds de plans topographiques de l'IGN (BDTopo),
- les photographies aériennes (Sources BDOOrtho de l'IGN),
- les plans parcellaires comprenant le tracé des ouvrages sous forme de fichiers numériques,
- la liste des unités urbaines (source INSEE),
- la liste des ERP, IGH, INB, obtenue auprès des SDIS ou des Préfectures, complétée éventuellement par une enquête courrier auprès des mairies,
- les PLU et POS disponibles en mairie,
- le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) qui regroupe les principales informations sur les risques majeurs naturels et technologiques du département,
- les plans de prévention des risques naturels (PPRn)
- le dossier d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRM) qui présente les risques naturels et technologiques dans la commune, les mesures prises, les mesures de sauvegarde à respecter en cas de danger ou d'alerte et le plan d'affichage de ces consignes,
- les Plans de Prévention des Risques Technologiques (PRRT), et plus généralement les informations disponibles sur les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) soumise à autorisation situées à proximité de la canalisation, pour la connaissance des risques présentés, soit à partir de la liste publiée sur le site de l'inspection des installations classées <http://www.installationsclassées.developpement-durable.gouv.fr/> soit par enquête auprès des DREAL et de la DRIEE,
- ...

Les données retenues dans l'analyse sont celles portées à la connaissance des services et organismes ayant en charge ces listes et documents. L'exhaustivité n'est donc pas garantie en particulier pour les ERP de 5<sup>ème</sup> catégorie dont le taux d'occupation est supérieur à 100 personnes.

Ces données sont également une « photographie » réalisée au moment de l'enquête, et elles dépendent de la qualité des données disponibles auprès des sources consultées : leur exhaustivité dans le temps ne peut donc être garantie par GRTgaz.

**Cette analyse est présentée dans la partie spécifique de l'étude de dangers.**

## 3. EQUIPEMENTS DU RÉSEAU DE TRANSPORT

### 3.1. Dimensionnement et caractéristiques principales

Nota : les éléments présentés dans les paragraphes suivants concernent principalement les canalisations en acier dans la mesure où ces ouvrages sont largement prépondérants.

### 3.2. Les tubes

Une canalisation de transport de gaz est constituée de tubes en acier, soudés bout à bout et revêtus d'un enrobage extérieur qui constitue une protection passive contre la corrosion. Afin que la canalisation puisse remplir ses fonctions de manière durable, GRTgaz demande à ses fournisseurs de respecter des procédures très précises.

Il est à noter que, avant 1970, le réseau de transport en acier était constitué de canalisations posées et assemblées suivant 2 techniques différentes. Ces deux techniques correspondent d'une part à un

assemblage par emboitement puis soudage de cet emboitement et d'autre part à un assemblage bout-à-bout et soudage. La première technique dite de « slip-joint » a été à l'origine de plusieurs défaillances (cf. Chapitre 4 - § 3.3.4) et le réseau concerné a fait l'objet d'un programme de suppression. Ainsi, toutes les canalisations posées avant 1970 et qui sont encore en service ont été posées suivant des règles internes équivalentes aux normes actuelles (soudage bout-à-bout, canalisations revêtues, protection cathodique, etc.), à l'exception près d'une canalisation de quelques km exploitée à 4 bar dans les Vosges.

### 3.2.1. Répartition des coefficients de sécurité minimaux des tubes

La catégorie d'emplacement introduite dès l'arrêté de 14 février 1952 est désormais remplacée, avec l'entrée en vigueur de l'AMF, par le **coefficient de sécurité** (inverse du coefficient de calcul), grandeur définissant le dimensionnement à la pression des tronçons neufs<sup>8</sup> de canalisation de transport c'est-à-dire l'épaisseur de la canalisation. Ce coefficient (article 2) varie notamment en fonction de la densité d'occupation du sol (article 6). En première approche, à la pose de l'ouvrage, cela conduit à une augmentation de l'épaisseur de la canalisation avec l'accroissement de la densité de population autour de l'ouvrage.

Trois coefficients de calcul (A, B et C) sont définis ; ils sont décrits dans le tableau suivant :

Coefficient de calcul / Coefficient de sécurité	Critères d'emplacement
<b>A ( 0,73 / 1,37 )</b>	le tronçon est implanté dans un emplacement à <u>faible présence humaine</u> et à une distance supérieure ou égale à la distance des premiers effets létaux correspondant au phénomène dangereux de rupture complète de la canalisation de toute zone parmi celles mentionnées au deuxième tiret du paragraphe suivant ce tableau, de densité d'occupation supérieure à 8 personnes par hectare
	ET le diamètre extérieur avant revêtement est supérieur ou égal à 500 mm ;
	ET il n'est pas implanté dans des pentes ou dévers supérieurs à 20 % ;
	ET il est implanté en <u>dehors de toute zone humide</u> au sens de l'article L. 211-1 du code de l'environnement c'est à dire les terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année;
	ET le tronçon n'est pas subaquatique ou sous-marin ;
<b>B ( 0,6 / 1,67 )</b>	à défaut, si dans un cercle de rayon égal à la distance des effets létaux significatifs correspondant au phénomène dangereux de la rupture complète de la canalisation, les logements et locaux présents correspondent à une densité d'occupation inférieure à 80 personnes par hectare et à moins de 300 personnes.
<b>C ( 0,4 / 2,5 )</b>	dans les autres cas

**Tableau n° 1 : Coefficients de calcul et coefficients de sécurité des canalisations de transport**

<sup>8</sup> ceux posés dès l'entrée en vigueur du titre II de l'AMF c'est-à-dire à partir du 1<sup>er</sup> juillet 2014.

Un emplacement d'implantation d'une canalisation de transport est dit à faible présence humaine s'il vérifie les quatre conditions suivantes :

- il est situé dans le domaine privé ou dans le domaine public communal, hors domaine public fluvial ou concédé ;
- il n'est situé :
  - × ni en unité urbaine au sens de l'INSEE,
  - × ni dans une zone U ou AU d'une commune couverte par un plan local d'urbanisme (au sens des dispositions des articles R. 123-5 et R. 123-6 du code de l'urbanisme),
  - × ni dans une zone U, NA ou NB d'une commune couverte par un plan d'occupation des sols encore en vigueur (au sens des dispositions de l'ancien article R. 123-18 du code de l'urbanisme),
  - × ni dans les secteurs où les constructions sont autorisées d'une commune couverte par une carte communale (au sens des dispositions de l'article R. 124-3 du code de l'urbanisme),
  - × ni dans les parties actuellement urbanisées d'une commune qui n'est couverte par aucun document d'urbanisme (au sens des dispositions de l'article L. 111-1-2 du code de l'urbanisme) ;
- il n'y a ni logement ni local susceptible d'occupation humaine permanente à moins de 10 mètres ;
- dans un cercle centré sur la canalisation et de rayon égal à la distance des effets létaux significatifs correspondant au phénomène dangereux de rupture complète de la canalisation, le nombre de logements ou de locaux correspond à une densité d'occupation inférieure à 8 personnes par hectare et à une occupation totale inférieure à 30 personnes.

### 3.2.2. Matériaux utilisés

#### ☐ **Canalisations en acier**

##### ◆ Nature des tubes et normes appliquées

Les tubes utilisés pour la construction de la canalisation doivent pouvoir résister à des pressions élevées. Ils doivent donc respecter les normes en vigueur à la construction et notamment depuis 1996 la norme européenne NF EN 10208-2 relative aux canalisations de transport de gaz, remplacée depuis août 2013 par la norme NF EN ISO 3183 (Mars 2013) ainsi que les spécifications techniques complémentaires définies par GRTgaz qui concernent principalement :

- l'élaboration, la composition chimique et les caractéristiques mécaniques de l'acier,
- la fabrication des tubes (mise en forme et soudage), les contrôles initiaux, en cours de fabrication et à la réception,
- les tolérances dimensionnelles, les essais et contrôles, le marquage des tubes.

Gaz de France puis GRTgaz a développé une procédure de qualification de chaque fournisseur afin de s'assurer, d'une part de l'application de ces spécifications techniques et de ces normes, et d'autre part de la capacité du fournisseur à garantir le niveau de qualité requis et ceci de façon constante. Avant de pouvoir traiter avec GRTgaz, un fournisseur doit donc faire agréer son unité de production et accepter de se soumettre à des audits de son système de production.

Avant 1998, le référentiel était constitué par les spécifications notées dans le tableau suivant :

Référence	Libellé
B 521.2 de 1971	Tubes soudés en acier pour canalisation de gaz de diamètres extérieurs compris entre 406,4 mm et 1067 mm
B 521.30 de 1972	Tubes soudés en acier pour canalisations de gaz de diamètres extérieurs compris entre 42,4 mm et 406,4 mm
GDF 521-20 de 1985	Tubes en acier soudés longitudinalement pour canalisations de transport de gaz de diamètres extérieurs compris entre 406,4 mm et 1220 mm
GDF 521-30 de 1985	Tubes en acier soudés longitudinalement sans apport de métal pour canalisations de gaz de diamètres extérieurs compris entre 21,3 mm et 406,4 mm
GDF 521-40 de 1985	Tubes en acier soudés en hélice pour canalisations de gaz de diamètres extérieurs compris entre 219,1 mm et 1625 mm
GDF 521-10 de 1987	Tubes sans soudure en acier pour canalisation de gaz de diamètres extérieurs compris entre 42,4 mm et 406,4 mm
GDF 521-30 de 1989	Spécifications techniques relatives à la fourniture de tubes en acier soudés longitudinalement sans apport de métal pour canalisations de gaz de diamètres extérieurs compris entre 21,3 mm et 508 mm en complément de la NFA 49 400
GDF 521-20 de 1990	Spécifications techniques relatives à la fourniture de tubes en acier soudés longitudinalement pour canalisations de gaz de diamètres extérieurs compris entre 406,4 mm et 1220 mm en complément de la NFA 49 401
GDF 521-40 de 1990	Spécifications techniques relatives à la fourniture de tubes en acier soudés en hélice pour canalisations de gaz de diamètres extérieurs compris entre 219,1 mm et 1625 mm en complément de la NFA 49 402

**Tableau n° 2 : Liste des spécifications utilisées depuis 1970 avant la norme NF EN 10208-2**

À partir de 1998, le référentiel a évolué pour faire référence à la norme européenne NF EN 10208-2 avec la spécification GDF-DPT-B-521-TUB0 rév.0 de mars 1998 « Spécifications techniques relatives à la fourniture de tubes pour le réseau transport de gaz naturel », remplacée depuis 2003 par la spécification **TS-C4Gas-PIPO**<sup>9</sup> « Spécification relative aux tubes d'acier pour canalisation - prescriptions communes ». Les apports de cette norme par rapport aux spécifications utilisées avant la parution de la norme européenne, sont listés dans le tableau suivant :

<sup>9</sup> Basée sur la norme EN ISO 3183:2012 depuis la révision 8 du 13 décembre 2013



Domaine	Apport de la norme EN ISO 3183 par rapport aux spécifications utilisées par GRTgaz
désignation des aciers	TSE480 (norme NF A49-402) ou X70 (norme API 5L) est remplacé par L485MB avec L=tube / 485= limite d'élasticité minimale garantie du matériau / M=mode de fabrication de l'acier / B= classe de prescription de la norme
fabrication	<ul style="list-style-type: none"> <li>– prolongation des exigences issues du système de qualification de GRTgaz,</li> <li>– introduction des cahiers des charges pour la qualification des modes opératoires et des soudeurs</li> <li>– introduction de la qualification des opérateurs réalisant les meulages avec une exigence de traçabilité</li> </ul>
prescriptions	<ul style="list-style-type: none"> <li>– limitation de la plage des <math>R_{e_{mini}}</math> - <math>R_{e_{maxi}}</math> et imposition d'un <math>R_m</math> maxi afin de limiter les risques de défauts lors du soudage sur chantier,</li> <li>– règles de sélection des tubes,</li> <li>– analyse des imperfections de surface,</li> <li>– tolérances réduites sur le diamètre, l'ovalisation, la rectitude et le cordon de soudure.</li> </ul>
contrôle	<ul style="list-style-type: none"> <li>– introduction des conditions de réalisation des inspections,</li> <li>– définition du contenu et des conditions d'envoi des listes de colisage,</li> <li>– précision sur la documentation à transmettre</li> </ul>

Tableau n° 3 : Apport de la norme EN ISO 3183

◆ Nuances d'acier et caractéristiques



Se reporter à la partie spécifique

□ **Canalisations en polyéthylène**

Les ouvrages en polyéthylène sont quant à eux exclusivement constitués de canalisations enterrées. Ils sont conçus suivant les exigences de la norme NF EN 12 007-2 avec des renvois aux normes produits EN 1555-2 et EN 1555-5.

Les polyéthylènes ne sont pas caractérisés par les grandeurs physiques habituelles de l'acier ( $E$ ,  $R_{p0,2}$ , etc.). Néanmoins, selon les calculs normatifs définis dans la norme NF EN 12 007-2 § 4.3, la PMS doit assurer un coefficient global de service (de conception)  $C \geq 2$ , et la pression d'épreuve hydraulique est égale à  $1,5 \times PMS$ . Ces éléments permettent de considérer que ces ouvrages sont toujours, a minima, compatibles avec un coefficient de calcul  $B$ .

### 3.2.3. Les revêtements de la canalisation

□ **interne**

Lors du transit du gaz dans la canalisation, les frottements du gaz sur les parois ont pour conséquence de faire diminuer la pression du gaz dans la canalisation (pertes de charge). Afin de les limiter, un revêtement peut être déposé sur la paroi intérieure de la canalisation. Il est à noter que seules les canalisations de diamètre supérieur ou égal à 500 mm sont revêtues intérieurement.

**externe**

La présence d'un revêtement sur les parois extérieures de la canalisation permet d'éviter la corrosion de l'acier par le milieu environnant. Le revêtement est donc un des moyens - avec la protection cathodique<sup>(\*)</sup> qui lui est complémentaire - d'assurer la pérennité de l'ouvrage.

Les normes actuellement en vigueur, citées dans la norme NF EN 1594<sup>10</sup> sont les suivantes en fonction du type de revêtement utilisé :

Référence	Libellé
NF EN 10288	Tubes et raccords en acier pour canalisations enterrées et immergées - Revêtements externes double couche à base de polyéthylène extrudé
NF EN 10289	Tubes et raccords en acier pour canalisations enterrées et immergées - Revêtements externes en résine époxyde ou époxyde modifiée liquides
NF EN 10290	Tubes et raccords en acier pour canalisations enterrées et immergées - Revêtements externes en polyuréthane ou polyuréthane modifiée liquides
NF EN 12068	Protection cathodique - Revêtements organiques extérieurs pour la protection contre la corrosion de tubes en acier enterrés ou immergés en conjonction avec la protection cathodique - Bandes et matériaux rétractables
ISO 21809-1	Industries du pétrole et du gaz naturel - Revêtements externes des conduites enterrées et immergées utilisées dans les systèmes de transport par conduites - Partie 1 : revêtements à base de polyoléfines (PE tri-couche et PP tri-couche)
ISO 21809-2	Industries du pétrole et du gaz naturel - Revêtements externes des conduites enterrées et immergées utilisées dans les systèmes de transport par conduites - Partie 2 : revêtements à base de résine époxydique appliquée par fusion

**Historique** : trois types de revêtements hydrocarbonés ont été utilisés au cours du temps : le type A (toile de jute, brai de houille ou bitume de pétrole) dès 1947, puis le type B (double couche A) de 1950 à 1960 et enfin le type C (fibre de verre, brai de houille ou bitume de pétrole) de 1960 à 1980.

Dans les années 1980, les revêtements hydrocarbonés ont été remplacés par des revêtements polymères<sup>(\*)</sup> comme le polyéthylène bi couche, puis le polyéthylène tri couche à partir des années 1998.

Les revêtements sont donc actuellement des polymères<sup>(\*)</sup>, comme le polyéthylène, ayant pour objectif d'isoler de façon durable le tube du milieu ambiant quand il est enterré.

Dès que la fabrication des tubes est achevée, ceux-ci sont acheminés vers une usine d'application de revêtement. De la même manière que pour les tubes, les revêtements doivent respecter des spécifications techniques élaborées par GRTgaz. Ces spécifications définissent principalement :

- les polymères<sup>(\*)</sup> qui peuvent être utilisés, les conditions d'application, les caractéristiques exigées pour le revêtement ainsi que leur méthode de détermination,
- les contrôles qui doivent être réalisés par le fournisseur, les documents que le fournisseur doit remettre, le marquage des tubes,
- les conditions de manutention et de stockage des tubes une fois revêtus.

<sup>10</sup> NF EN 1594 « Systèmes d'alimentation en gaz – Canalisations pour pression maximale de service supérieure à 16 bar – Prescriptions fonctionnelles » de juin 2014

Les exigences de GRTgaz concernent principalement les caractéristiques suivantes :

- épaisseur, aspect, absence de porosité électrique, imperméabilité (électrique et aux espèces ioniques), résistance au décollement sous polarisation négative <sup>(\*)</sup>,
- stabilité chimique et thermique, stabilité aux micro-organismes, tenue à la température de service,
- adhérence sur l'acier,
- résistance aux chocs, à l'abrasion, à la pénétration sous charge par poinçonnement, à l'allongement et résistance à la fissuration,
- aptitude au cintrage<sup>(\*)</sup>.

Comme pour les tubes, tout fabricant de revêtement qui souhaite travailler pour GRTgaz doit soumettre son unité de production à l'agrément de GRTgaz. Cette procédure d'agrément permet à GRTgaz de s'assurer que le fournisseur dispose des capacités techniques lui permettant de fournir un produit de qualité élevée et constante.

#### 3.2.4. Soudures et raccords

Chaque soudeur intervenant sur le chantier doit avoir subi des épreuves de qualification afin de s'assurer qu'il a la compétence nécessaire pour réaliser des soudures de qualité : le soudeur exécute une soudure qui est ensuite soumise à des contrôles visuels et radiographiques. Les résultats des contrôles et essais doivent répondre à des critères précis d'acceptation.

L'ensemble des opérations de soudage des canalisations de transport de gaz naturel est régi par une spécification interne à GRTgaz qui s'appuie, au fil du temps, sur les principales normes françaises ou européennes ci-dessous :

Référence	Libellé
NF EN 12732 <sup>11</sup>	Système d'alimentation en gaz – Soudage des tuyauteries en acier – Prescriptions fonctionnelles.
NF EN ISO 15607	Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques - Règles générales
NF EN ISO 15614	Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques - Épreuve de qualification d'un mode opératoire de soudage
NF EN ISO 15609-1	Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques - Descriptif d'un mode opératoire de soudage - Partie 1 : soudage à l'arc
NF EN 287-1	Épreuve de qualification de soudeurs – Soudage par fusion – partie 1 : aciers
NF EN 10204	Produits métalliques – Types de documents de contrôle

**Tableau n° 4 : Liste des normes relatives au soudage des tubes**

Chaque entreprise travaillant pour GRTgaz doit respecter les spécifications de GRTgaz qui s'appuient sur ces normes.

<sup>11</sup> Citée dans la norme NF EN 1594

Préalablement à leur utilisation sur le chantier, les modes opératoires de soudage, élaborés par les entreprises doivent être « couverts » par une qualification. La qualification d'un mode opératoire de soudage permet de garantir que les conditions de réalisation de la soudure ne sont pas de nature à fragiliser la structure.

Sur le chantier, GRTgaz vérifie que chaque entreprise applique le ou les mode(s) opératoire(s) qu'elle a élaboré(s) et que les soudeurs qui interviennent sont dûment qualifiés.

Après réalisation des soudures, les contrôles visuels et non destructifs permettent de vérifier leur conformité aux spécifications techniques de GRTgaz notamment sur le plan de leur compacité. De plus, un carnet de soudure permet d'assurer la traçabilité des paramètres de soudure sur les canalisations.

Les contrôles non destructifs<sup>(\*)</sup> (radiographique ou par ultrasons) sont réalisés soit par GRTgaz soit par un organisme extérieur agréé.

Toutes les soudures de raboutage<sup>(\*)</sup>, y compris les raccordements de section, font l'objet d'un contrôle non destructif à 100%, conformément à l'article 14-I et 14-III de l'AMF et au guide GESIP n° 2007/06 – édition de juillet 2016 « [...] Epreuve initiale avant mise en service ».

### 3.2.5. Poses des ouvrages

La pose de gazoducs se fait autant que possible à l'aide de tranchées ouvertes. Cependant, selon les conditions, ce mode de pose ne peut pas toujours être retenu. Parfois, une pose utilisant des techniques sans tranchée est nécessaire, notamment pour le franchissement de certains obstacles comme par exemple les autoroutes, les voies ferrées, certains cours d'eau ou une combinaison de plusieurs de ces ouvrages. Plusieurs techniques de pose en sous-œuvre, décrites ci-après (cf. *Techniques de pose en sous-œuvre*), sont alors employées afin de franchir ces obstacles sans créer de tranchée.

Par ailleurs, par le passé la pose à l'air libre a pu être retenue notamment pour :

- le franchissement aérien par ouvrage d'art existant,
- le franchissement aérien par ouvrage spécifique à la canalisation.

GRTgaz n'a pas recours à la pose de canalisation en pipe-rack<sup>(\*)</sup>. Ce point n'est donc pas abordé dans la suite du document.

#### 3.2.5.a) Conditions générales de pose

La pose d'une canalisation de transport de gaz est réalisée suivant une succession d'opérations. Chacune d'entre elles est exécutée par une équipe spécifique de l'entreprise retenue pour la pose. Les diverses équipes se succèdent d'un bout à l'autre de l'ouvrage.

Sur les chantiers de grande importance, les travaux sont suivis par une équipe de chantier animée par un ingénieur chantier de GRTgaz. Ce dernier est assisté d'un correspondant Qualité Hygiène Sécurité Environnement qui veille au respect des engagements pris par GRTgaz depuis le lancement du projet. Le superviseur « Relations Administratives » assure la relation avec les exploitants et les propriétaires des terrains traversés par la canalisation. Des superviseurs de travaux, dont le nombre varie en fonction de la longueur de l'ouvrage à poser, vérifient le respect des spécifications techniques et peuvent également être en relation avec les exploitants agricoles ou les propriétaires.

Pour les chantiers de moindre ampleur, ces missions sont assurées par des superviseurs de travaux pilotés par le chef de projets. Le nombre de superviseurs varie en fonction de la longueur de l'ouvrage à poser.

Le coordonnateur sécurité exerce sa mission conformément à la réglementation en vigueur (cf. Chapitre 4 - §3.1.1).

#### ☐ Profondeur de pose

La profondeur réglementaire d'enfouissement des canalisations de transport – distance entre la génératrice supérieure et la surface du sol – a évolué au cours du temps. Les pratiques de Gaz de France puis GRTgaz ont suivi ces évolutions comme indiqué dans le tableau suivant :

Réglementation	Profondeur minimale réglementaire	Pratique GRTgaz	
		Document de référence : CPTG <sup>(*)</sup>	hauteur minimale de recouvrement
Arrêté du 09/09/1957	Cat. A → 0,4 m Cat. B & C → 0,8 m	Février 1959, article 24	0,8 m dans le cas général
Arrêté du 11/05/1970	Cat. A → 0,6 m Cat. B & C → 0,8 m	Juillet 1970, art. 2.1.1	0,8 m
		Janvier 1995, art. 2.1.1	1 m
Arrêté du 04/08/2006	Cat. A, B & C → 1 m	SG-C-181 – Rév.3, article 2.5.2	1,2 m
Arrêté du 05/03/2014	1 m		

**Tableau n° 5 : Historique des profondeurs d'enfouissement**

Conformément à l'article 7, la profondeur réglementaire d'enfouissement de la canalisation est d'**au moins un mètre** compté au-dessus de la génératrice supérieure du tube. Toutefois, pour le remplacement de tronçon de longueur inférieure à 100 mètres linéaires, la profondeur d'enfouissement reste celle fixée lors de la pose initiale du tronçon de canalisation remplacé.

Le passage sous les cours d'eau de largeur inférieure à 10 m et les fossés est exécuté conformément aux indications du Cahier de Prescriptions Particulières propre au projet, ou à défaut conformément au CPTG avec une profondeur minimale de 1,20 m sous le fond curé.

Plus généralement, GRTgaz a décidé de poser les canalisations de gaz systématiquement à 1,20 m en dehors des zones spécifiques, afin de garantir la profondeur de 1 mètre dans le temps et respecter le protocole signé avec les professions agricoles.

#### ☐ Les différents modes de pose

##### ◆ Pose par tranchée ouverte en zone non urbanisée

##### ✓ Différentes étapes de pose

Les différentes étapes de la pose d'une canalisation sont les suivantes :

- piquetage et balisage de la bande de terrain qui constitue l'emprise des travaux. Cette bande doit être suffisante pour le bardage des tubes et la circulation des engins ;
- création de la piste de travail ;
- transport des tubes, depuis les aires de livraison/stockage vers le chantier ;
- bardage<sup>(\*)</sup> des tubes le long de la piste de travail ;
- cintrage<sup>(\*)</sup> des tubes : lorsque des changements de direction sont nécessaires, le cintrage des tubes permet, par des moyens mécaniques, de leur donner la courbure voulue ;
- soudage bout à bout des tubes à l'arc électrique en plusieurs passes. Les soudures sont rigoureusement contrôlées par contrôle non destructif, afin de vérifier la qualité de la soudure ;
- enrobage des parties non revêtues des tubes correspondant aux zones des soudures pour assurer la continuité du revêtement externe tout au long de la canalisation. Cette continuité est contrôlée ;



Figure n° 7 : Opération de cintrage des tubes (©MEDIATHEQUE GDF Suez)

- ouverture de la tranchée, qui nécessite un soin particulier afin de ne pas endommager les autres réseaux déjà présents dans le sous-sol. La tranchée est réalisée par une trancheuse<sup>(\*)</sup> ou par une pelle mécanique en fonction de la nature du terrain. Les terres de fond de tranchée sont soigneusement séparées des terres végétales. Dans les terrains rocheux, un brise-roche, et plus rarement des explosifs, peuvent être utilisés. La finition du fond de la tranchée doit être soignée afin que la canalisation ne soit pas endommagée par des pierres lors de sa mise en place ;
- mise en fouille de la canalisation : cette opération consiste à placer la canalisation au fond de la tranchée. Elle est effectuée par plusieurs engins qui se répartissent la charge sur une longueur pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres afin de ne pas induire de déformation permanente qui pourrait altérer la résistance mécanique des tubes. Un relevé topographique de l'ouvrage est ensuite réalisé ;
- remblai réalisé en prenant grand soin de ne pas endommager le revêtement de la canalisation. Sauf cas exceptionnel, le remblai est effectué avec les matériaux extraits de la tranchée, en prenant soin de rétablir en surface la couverture de terre végétale ;

- épreuves hydrauliques réglementaires, tronçon par tronçon, qui ont pour but de vérifier la solidité et l'étanchéité de l'ouvrage. Ces épreuves sont réalisées généralement par le SEC « Suivi des Épreuves de Canalisations », organisme de GRTgaz habilité<sup>12</sup> par le Ministre chargé de la sécurité des canalisations de transport. Les postes sont éprouvés, le plus souvent, individuellement ;
- remise en état des terrains traversés ;
- balisage de l'ouvrage : afin de signaler la présence de la canalisation, des bornes et balises sont disposées régulièrement le long du tracé (cf. § 3.5).



Figure n° 8 : Pose et remblai de la tranchée

### ✓ Les zones spécifiques traversées

#### Zone agricole

Les modalités de traversées de zones agricoles sont définies dans le Protocole national agricole. Les chambres d'agricultures locales sont consultées dès le début du projet. Un avenant local décline cette convention nationale dès le début du projet et tout au long de la durée d'exploitation de l'ouvrage.

#### Zone naturelle protégée

Les traversées de zones naturelles protégées se font dans le respect du Code de l'Environnement en matière de protection de la nature. Elles font l'objet systématiquement d'une évaluation environnementale adaptée au projet. Dans certains cas et lorsqu'elle est requise selon les caractéristiques du projet et les critères en vigueur définis à l'article R122-2 du code de l'environnement, une étude d'impact est produite.

<sup>12</sup> Arrêté du 31 octobre 2012 portant renouvellement d'habilitation d'un organisme pour le contrôle des opérations prévues à l'article R. 555-40 du code de l'environnement - NOR : DEVP1237939A

### ☐ Zone humide

Depuis fin 2010, GRTgaz pose des tubes, dont les caractéristiques mécaniques correspondent au coefficient de calcul B en zone humide au sens de l'article L. 211-1 du Code de l'environnement (cf. § 3.2.1).

En zone humide ou dans les zones inondables par remontée de nappe, une note de calcul<sup>13</sup> est réalisée afin de justifier des moyens de stabilisation à mettre en œuvre, si nécessaire, afin de compenser les effets de la Poussée d'Archimède.

Dans le cas où la stabilisation de la canalisation s'avère nécessaire, elle est effectuée par des dispositions spécifiques dans l'ordre préférentiel suivant :

- pose en sur-profondeur ;
- ancrage, solution plus facile à mettre en œuvre et moins contraignante pour les terrains agricoles que l'utilisation de cavaliers de lestage (voir ci-après) ;
- lestage par enrobage de béton continu. L'épaisseur de béton est au minimum de 5 cm et uniforme. Avant bétonnage, une protection anti-roche (feutre) est interposée entre le revêtement et le béton. Des dispositions sont prises afin d'éviter tout contact entre l'armature et le revêtement de la canalisation. Cette solution est systématiquement retenue pour les traversées en souille<sup>(\*)</sup> des cours d'eau de largeur supérieure à 10 m.
- lestage par cavaliers. L'écartement des cavaliers est justifié dans une note de calcul, de sorte qu'ils n'induisent pas de contraintes susceptibles de générer des contraintes équivalentes de von Mises supérieures à la limite d'élasticité de l'acier constituant le tube, avec ou sans pression interne. Dans tous les cas, cet écartement doit rester inférieur ou égal à 4 m. Les cavaliers de lestage sont installés en dehors des joints de soudure afin de préserver l'intégrité du revêtement de ces derniers. Une protection mécanique par feutre géotextile est interposée entre le tube et le cavalier pour préserver l'intégrité du revêtement. Elle doit dépasser des extrémités du cavalier sur une longueur de 0,50 m de part et d'autre. Lors de la mise en place des cavaliers de lestage, le tube doit être visible dans la fouille. Les cavaliers doivent reposer sur le fond de la tranchée de part et d'autre de la canalisation.

### ◆ Pose par tranchée ouverte en zone urbanisée

Le chantier s'organise en fonction des contraintes techniques rencontrées et des autorisations accordées par les gestionnaires de voiries :

- création de l'emprise du chantier qui nécessite généralement l'occupation d'une voie ;
- ouverture de la tranchée afin de prendre en compte les obstacles rencontrés et évacuation des matériaux extraits ;
- cintrage des tubes afin d'adapter le profil de la canalisation et soudage bout à bout des tubes et contrôles non destructifs des soudures ;
- réalisation du revêtement des joints soudés et contrôle du revêtement ;
- mise en fouille de l'ouvrage, remblai avec des matériaux d'apport ;
- épreuves hydrauliques réglementaires ;

---

<sup>13</sup> Pour ce calcul sont pris en compte le poids des tubes et du remblai (également immergé) en considérant une densité de 1,05 pour le fluide dans lequel la canalisation est plongée. Le coefficient de sécurité à obtenir est de 40 % au minimum, c'est à dire que la somme (Poids du tube + Poids des remblais + stabilisation) excède d'au moins 40 % la valeur de la Poussée d'Archimède.



- réfection provisoire puis définitive des chaussées et trottoirs et mise en place de la signalisation.

◆ Techniques de pose en sous-œuvre

**Le forage à la tarière, le fonçage et le micro-tunnelier** sont utilisés pour les franchissements d'obstacles sur des courtes distances tels que routes ou voies ferrées. Ils consistent dans tous les cas à installer une gaine sous l'obstacle à franchir, gaine dans laquelle la canalisation sera ensuite enfilée.

**Le forage à la tarière** : La tarière, descendue dans le puits d'attaque, est entraînée en rotation et en poussée par des vérins. Le forage est tubé à l'avancement par des éléments de gaine (souvent en acier). L'enfilage se déroule ensuite comme pour le fonçage.

*Il est généralement choisi pour les petits diamètres, en terrain non rocheux et permet des franchissements jusqu'à 50 m.*

**Le fonçage** : La gaine en béton, béton âme-tôle ou acier ( $DN \leq 600$ ) est descendue dans le puits d'attaque puis enfoncée dans le terrain à l'aide d'un système de vérins. L'excavation à l'intérieur de la gaine se fait à l'avancement. Une fois le puits de sortie atteint, la canalisation, équipée de colliers de centrage, est enfilée dans la gaine.

*Il est plutôt utilisé pour des tubes gros diamètres, sur divers types de terrain, même rocheux et permet de franchir des zones allant jusqu'à 300 m.*

**Le micro-tunnelier** : Après la réalisation d'un puits d'attaque et d'un puits de sortie, le micro-tunnelier est descendu dans le puits d'attaque pour creuser la galerie. Le front de taille est maintenu par une contre-pression (boue ou air comprimé). Les installations de surface pompent la boue chargée de déblai, la régénèrent et la renvoient vers le micro-tunnelier. Quand celui-ci débouche dans le puits de sortie, il est démonté et évacué et la canalisation peut alors être enfilée dans la gaine.

*Cette technique est le plus souvent réservée à la pose de canalisations de moyens et gros diamètres et permet des franchissements pouvant atteindre 200 m de long, voire plus.*

**Le forage horizontal dirigé** est une technique issue du domaine pétrolier. Il permet le franchissement d'obstacles à des profondeurs importantes et sur de grandes longueurs (plusieurs centaines de mètres) tout en ayant un impact limité sur l'environnement. Dans le domaine du gaz, il est essentiellement utilisé pour le franchissement de cours d'eau, mais aussi quand la configuration du terrain ne permet pas de creuser de puits.

Le tronçon de canalisation à enfiler est préalablement soudé. Un trou pilote est foré sous l'obstacle grâce à une tige de diamètre inférieur à celui de la canalisation, puis agrandi par alésage et rétroforage jusqu'à un diamètre adapté pour le tirage de la canalisation. Le tirage, dernière étape, consiste à faire cheminer dans le forage la canalisation préparée.

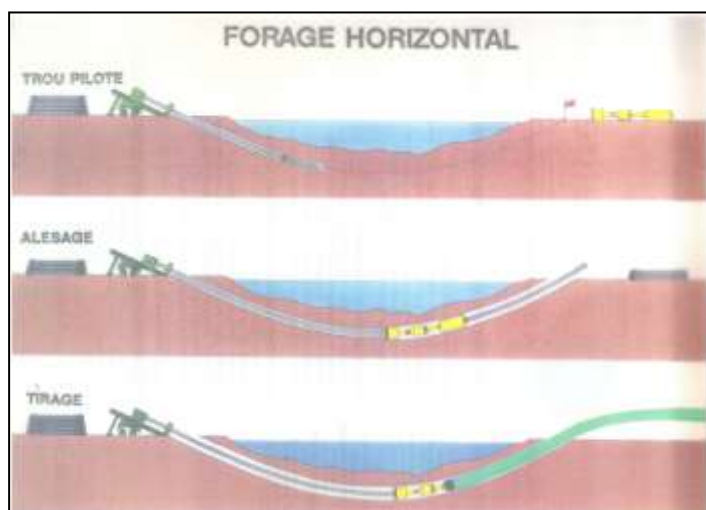


Figure n° 9 : Étapes de pose par forage horizontal dirigé

**Les fusées :** Des marteaux refouleurs de sols progressent par compression du terrain en place.

*Cette technique est réservée aux canalisations de petit diamètre dans des terrains compressibles. La longueur est limitée à 20 m.*

**Le pousse-tube par battage :** consiste à fonder un tube acier par battage pneumatique. Le matériau à l'intérieur du tube est ensuite vidé par air ou par eau.

*Le battage est intéressant pour des sols meubles, mais il crée des vibrations et peut donc avoir une incidence néfaste sur l'ouvrage franchi (voie ferrée, autoroute). La longueur est limitée à 50 m.*

◆ Pose à l'air libre et assimilée

L'article 8 indique que « en dehors des espaces clôturés où sont implantées les installations annexes, la pose de tronçons ou sections de canalisations à l'air libre ne peut être autorisée que si aucune autre solution plus sûre ne peut être raisonnablement mise en œuvre aux plans technique et économique, compte tenu d'une part de l'état de l'art et d'autre part de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation. »

Le choix d'une pose à l'air libre fait l'objet d'un argumentaire justificatif. Au cas par cas ces éléments sont précisés dans l'étude spécifique en application du guide GESIP 2006/04 « Pose de canalisation à l'air libre ».

Par le passé, les techniques de pose à l'air libre les plus fréquemment utilisées, étaient :

- **le franchissement aérien par ouvrage d'art existant**, qui consiste à fixer la canalisation sur des ouvrages existants tels que des ponts, des passerelles ou des barrages. La conduite peut être à l'air libre, par exemple sous le tablier d'un pont. Les supports doivent imposer un contact non métallique à la canalisation pour limiter les risques de corrosion. La conduite peut également être posée à l'intérieur de caniveaux, notamment sous les trottoirs. Le caniveau est comblé partiellement ou totalement par du sable ou un béton maigre.
- **le franchissement aérien par ouvrage spécifique à la canalisation** qui était réalisé selon plusieurs cas de figure :
  - × traversée par tube autoporteur : la canalisation est dans le vide sans dispositif annexe ; elle supporte donc son propre poids en flexion ;

- × maintien de la canalisation par des câbles de suspentes (système quadricâble),
- × passerelle spécifique qui supporte la canalisation.

### 3.2.5.b) Conditions particulières de pose

Ce paragraphe présente uniquement les méthodes retenues pour le croisement des routes importantes, des voies de chemin de fer, des autres réseaux (eau, câbles électriques, autres transporteurs...) et le franchissement des cours d'eau, basées sur les règles de l'art et les spécifications générales en vigueur chez GRTgaz.

#### ☐ **Croisement des réseaux (eau, électricité, télédiffusion, téléphone, assainissement, incendie)**

En général, les croisements des différents réseaux sont réalisés conformément à la norme NF P 98-332 « Chaussées et dépendances - Règles de distance entre les réseaux enterrés et règles de voisinage entre les réseaux et les végétaux » (février 2005). Toutefois des aménagements peuvent être prévus conformément au guide GESIP 2006/05 « Pose en sous profondeur ».

Type de réseau	Distance minimale (m)	
	en parallèle	en croisement
Assainissement	0,5	0,4
Eau potable :		
– Distribution	0,5	0,4
– Transport	0,6	0,4
Electricité :		
– BT, HTA, Eclairage public	0,5	0,5
– HTB	0,5**	0,5**
Gaz :		
– Distribution :		
♦ acier	0,5	0,4
♦ PE	d*	d*
– Transport	0,6	0,6
Chauffage urbain / climatisation urbaine	0,5	0,4
Télécom, Vidéo , TBT (sous fourreaux, plein terre)	0,5	0,4
Hydrocarbures liquides et liquéfiés	0,6	0,6
Gaz de l'Air Liquide	0,5	0,6
Produits chimiques	0,5	0,5 0,6 ***

\* Distance fixée par une étude spécifique

\*\*cf. dispositions de l'arr. du 17 mai 2001 mod.

\*\*\* Si liquide inflammable

**Tableau n° 6 : Distances minimales lors de parallélisme / croisement avec d'autres réseaux**

Pour les ouvrages neufs, une étude est réalisée en collaboration avec le gestionnaire du réseau afin de déterminer la méthode de franchissement la plus appropriée.

#### ☐ Proximité des lignes électriques aériennes

Les canalisations de transport de gaz sont également soumises à l'arrêté du 17 mai 2001 modifié fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique. L'article 75 de cet arrêté fixe les directives à appliquer lors du voisinage des canalisations de transport de gaz combustible avec les lignes de transport d'énergie électrique de tension nominale supérieure ou égale à 50 kV (lignes HTB).

Il indique qu'il y a lieu, tout d'abord, de s'assurer que la distance entre, d'une part, la zone de servitude où est placée la canalisation ou, en l'absence de servitude, la canalisation elle-même et, d'autre part, la prise de terre et les conducteurs de terre du support, est supérieure à deux mètres.

De plus, il demande de vérifier que lors d'un défaut électrique, le cumul de la contrainte électrique (induction + conduction) appliqué à la canalisation par suite du passage du courant de court-circuit est inférieur à 2 kV<sup>14</sup>.

GRTgaz a en charge, pour l'ensemble de ses ouvrages de transport de gaz, le calcul des contraintes ainsi que la recherche des solutions à mettre en œuvre (si nécessaire) pour la sauvegarde du matériel. À cet effet, il effectue les calculs grâce à une méthode développée en collaboration avec EDF et qui permet de prédéterminer les contraintes électriques, soit de manière simplifiée avec des hypothèses conservatives, soit de manière plus précise à l'aide d'un logiciel adapté. Ces calculs permettent d'estimer notamment la distance minimale à respecter entre les ouvrages et les mesures à prendre le cas échéant pour que les prescriptions de l'arrêté du 17 mai 2001 modifié soient satisfaites.

Nota : il n'y a pas de réglementation particulière définissant les distances minimales à respecter entre les conduites de gaz et les lignes aériennes HTA (inférieures à 50 kV), ni de contrainte électrique maximale admissible dans un tel cas de figure. En conséquence, GRTgaz fait référence à l'article 75 de l'arrêté du 17 mai 2001 modifié concernant les lignes HTB lorsque les contraintes électriques générées par les lignes HTA sont analogues.

#### ☐ Croisement de réseaux routiers ou ferroviaires

Les franchissements des autoroutes, routes à grande circulation, voies ferrées sont généralement réalisés par forage, fonçage de gaine ou par micro-tunneliers, ce qui évite l'ouverture d'une tranchée dans le revêtement routier ou hydraulique<sup>(\*)</sup> et l'interruption du trafic routier ou ferroviaire. Dans ce cas, une niche est aménagée de part et d'autre de l'obstacle à franchir. Les modalités techniques retenues pour le franchissement sont déterminées en fonction de divers données telles que :

- les contraintes liées au trafic,
- les caractéristiques géotechniques des sols,
- les caractéristiques environnementales,
- la période de travaux,
- les impositions éventuelles du gestionnaire du domaine traversé, ...

<sup>14</sup> NF EN 50443 Octobre 2012 « Effets des perturbations électromagnétiques sur les canalisations causées par les systèmes de traction électrique ferroviaire en courant alternatif et/ou par les réseaux électriques H.T. en courant alternatif »

Lorsque la largeur de l'obstacle à franchir est très importante, ou que la configuration du terrain ne permet pas de creuser des niches, la canalisation peut être mise en place par forage dirigé.

#### ❑ Franchissement de cours d'eau

La souille<sup>(\*)</sup> est la technique la plus utilisée pour le franchissement des cours d'eau. Elle consiste à creuser une tranchée dans le fond du cours d'eau et à y déposer la canalisation préalablement préparée. La profondeur d'enfouissement de la canalisation dépend de multiples facteurs comme le curage éventuel et le risque d'érosion du lit et des berges. La distance entre la partie supérieure de la canalisation et le fond curé du cours d'eau est généralement d'au moins 1m50. Pour les cours d'eau importants, le tronçon de canalisation est protégé par un enrobage en béton continu qui sert également pour son lestage.

Les techniques de sous-œuvre (forage dirigé, micro-tunnelier...) sont aussi utilisées pour les traversées de rivière importante ou situées dans un environnement sensible. Elles permettent de réaliser les travaux sans arrêter le trafic fluvial. La pose de la canalisation est réalisée depuis la berge.

Les berges, rives, digues sont rétablies suivant le profil d'origine. Lorsque le régime du cours d'eau traversé le nécessite, des enrochements peuvent être mis en place dans le lit et sur les berges pour limiter les risques d'érosion ultérieure en cas de crue torrentielle par exemple.

**L'étude spécifique, dans sa mise à jour au tel que construit, précise au cas par cas les dispositions retenues lors de la pose d'un nouvel ouvrage.**

#### 3.2.5.c) Les servitudes

Les servitudes d'utilité publiques d'implantation prévues à l'article L. 555-27 du code de l'environnement et associées à la déclaration d'utilité publique (DUP) sont constituées de deux bandes de terrain, axées sur la canalisation, annexées aux plans locaux d'urbanisme des communes concernées en application de l'article L. 126-1 du code de l'urbanisme.

Une première bande dite terrain appelée « bande étroite » ou « bande de servitudes fortes » ou « bande *non sylvandi non ædificandi* », réservée à :

- l'enfouissement dans le sol des canalisations ainsi que des accessoires techniques nécessaires à leur exploitation ou leur protection,
- la construction en limite de parcelle cadastrale des bornes de délimitation et des ouvrages de moins d'un mètre carré de surface nécessaires à leur fonctionnement,

dans laquelle le transporteur procède aux enlèvements de toutes plantations, aux abattages, essartages et élagages des arbres et arbustes nécessités pour l'exécution des travaux de pose, de surveillance et de maintenance des canalisations et de leurs accessoires. Néanmoins, dans cette bande de servitude :

- les murets de moins de 0,40 m ainsi que la plantation d'arbres de moins de 2,70 m de hauteur et/ou dont les racines descendent à moins de 0,60m sont possibles;
- les modifications de profil du terrain ne sont pas permises ;
- les croisements des différents réseaux à poser (eau, électricité, télédiffusion, téléphone, assainissement, incendie) doivent y être réalisés conformément aux prescriptions de GRTgaz et à la

norme NF P 98-332 « Chaussées et dépendances - Règles de distance entre les réseaux enterrés et règles de voisinage entre les réseaux et les végétaux » (février 2005) ;

- au droit des traversées de voies de circulation nouvelles, la canalisation de transport doit être protégée mécaniquement par un ouvrage de génie civil dont la capacité à résister aux surcharges prévisibles sera justifiée par note de calculs. Le coût de ces travaux est supporté par l'aménageur ;
- les parkings ou stockages de matériaux au-dessus de la canalisation et à l'intérieur de la bande de servitude sont à proscrire ;
- l'implantation de clôtures doit faire également l'objet d'un accord avec GRTgaz.

Une seconde bande de terrain appelée " bande large " ou " bande de servitudes faibles ", dans laquelle sera incluse la bande étroite, et permettant au transporteur d'accéder en tout temps audit terrain notamment pour l'exécution des travaux nécessaires à la construction, l'exploitation, la maintenance et l'amélioration continue de la sécurité des canalisations.

Des servitudes, établies par convention avec les propriétaires des terrains concernés par le tracé (actes authentiques établis par notaire) et enregistrées et publiées au bureau des hypothèques, permettent de répondre à ces attendus. Ces servitudes donnent droit à indemnisation des propriétaires des terrains par accord amiable entre GRTgaz et les propriétaires du sol.

A défaut de servitudes amiables, le préfet du département concerné conduit pour le compte de GRTgaz la procédure d'expropriation pour cause d'utilité publique, afin d'imposer ces servitudes. L'indemnité d'expropriation due en raison de l'établissement des servitudes correspond à la réduction permanente du droit des propriétaires des terrains grevés.

### **3.3. Les installations annexes**

Nota : Les éléments présentés dans les paragraphes suivants concernent les installations annexes en acier ; aucune installation annexe n'est construite en polyéthylène.

Les installations annexes associées à un ouvrage de transport de gaz naturel sont :

- principalement les ouvrages répétitifs, de petites tailles, qualifiés **d'installations annexes simples** selon le guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014 :
  - × les postes de sectionnement,
  - × les postes de coupure,
  - × les postes de livraison vers le réseau de distribution ou celui des clients industriels,
  - × les postes d'injection de bio-méthane,
  - × les postes de comptage ou filtration / comptage,
  - × les postes de pré détente et de détente,
- des installations plus importantes en taille et moins nombreuses, qualifiés **d'installations annexes complexes** du fait de la multiplicité des ouvrages sur une même emprise, à savoir :
  - × les interconnexions, subdivisées en deux groupes :
    - les stations d'interconnexion : installations qui permettent plusieurs schémas de fonctionnement entre au moins 3 canalisations, c'est-à-dire un aiguillage entre au moins 3 pôles sur lesquels les débits et/ou les pressions sont maîtrisés. Un pôle

- est une artère simple ou des artères doublées, voire triplées, sans possibilité de différenciation pression / débit entre elles ;
- les postes de type interconnexion : points de connexion de plusieurs canalisations, en général sur le réseau régional, associées ou non à des régulations, pour lesquelles il est possible de réaliser différents schémas de fonctionnement soit localement soit à distance et/ou présence d'utilités significatives (groupe électrogène, air comprimé, réseau effluent, chaufferie, ...). La complexité de ces installations nécessite qu'elles soient examinées du point de vue des études de dangers comme les stations d'interconnexion ;
  - × les regroupements d'installations annexes simples (RIAS) : en certains points du réseau, des sites regroupent plusieurs installations annexes répétitives sans que ce soit pour autant des interconnexions. Ces sites font l'objet d'un examen particulier au regard des effets domino, dans l'étude de dangers ;
  - × les stations de compression, faisant en général l'objet d'études dédiées, notamment d'études de dangers pour les sites soumis à autorisation au titre de la réglementation sur les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).
- Les interconnexions et les stations de compression ne sont pas décrites dans cette partie générique. La présentation de ces installations fait l'objet d'un chapitre dédié dans la partie spécifique de l'étude de dangers.
- et quelques postes d'odorisation implantés généralement sur les interconnexions ou stations de compression situées à proximité des points frontière. Les installations d'odorisation peuvent également être soumises à la réglementation ICPE, généralement sous le régime de la déclaration. Elles ne sont pas décrites dans cette partie générique, mais font l'objet d'une présentation dans la partie spécifique de l'étude de dangers au cas par cas.

### 3.3.1. Les postes de sectionnement

Le rôle d'un poste de sectionnement est d'interrompre la circulation du gaz par l'intermédiaire d'un robinet qui est utile dans deux situations :

- lors des opérations de maintenance : la fermeture de deux robinets de sectionnement et la décompression du tronçon compris entre ces deux robinets permettent à l'exploitant de réaliser certains travaux en toute sécurité,
- en cas d'incident sur la canalisation avec perte de confinement : la fermeture des robinets situés de part et d'autre du tronçon incriminé permet de réduire la quantité de gaz émise à l'atmosphère et donc de limiter les effets de l'accident.

Un poste de sectionnement comprend :

- un robinet enterré sur la canalisation principale, permettant d'interrompre la circulation du gaz,
- un circuit d'équilibrage<sup>(\*)</sup> de diamètre inférieur à celui de la canalisation, en partie aérien, permettant de procéder :
  - × à un équilibrage des pressions de part et d'autre du robinet principal lorsque celui-ci est fermé avant sa réouverture,

- × et dans le cas de poste équipé d'un événement, à une décompression de la canalisation par évacuation du gaz à l'atmosphère ; cette opération étant réalisée exceptionnellement de manière locale en présence d'un opérateur.

Ces installations sont dépourvues de soupapes.

Les distances à respecter entre postes de sectionnement sont précisées dans le guide GESIP n° 2007-09 - Edition du 19 novembre 2009 « Normes canalisations de transport ». En conséquence, les postes de sectionnement sont implantés à espace régulier sur la canalisation selon les prescriptions suivantes :

- 20 km maximum pour les canalisations ne traversant que des emplacements classés en catégorie A et B,
- 10 km maximum dès que la canalisation emprunte un emplacement classé en catégorie C,

avec une tolérance de +/-10% en cas de difficulté constructive.

**Pour un ouvrage neuf, l'étude spécifique précise les distances retenues entre chaque poste de sectionnement.**

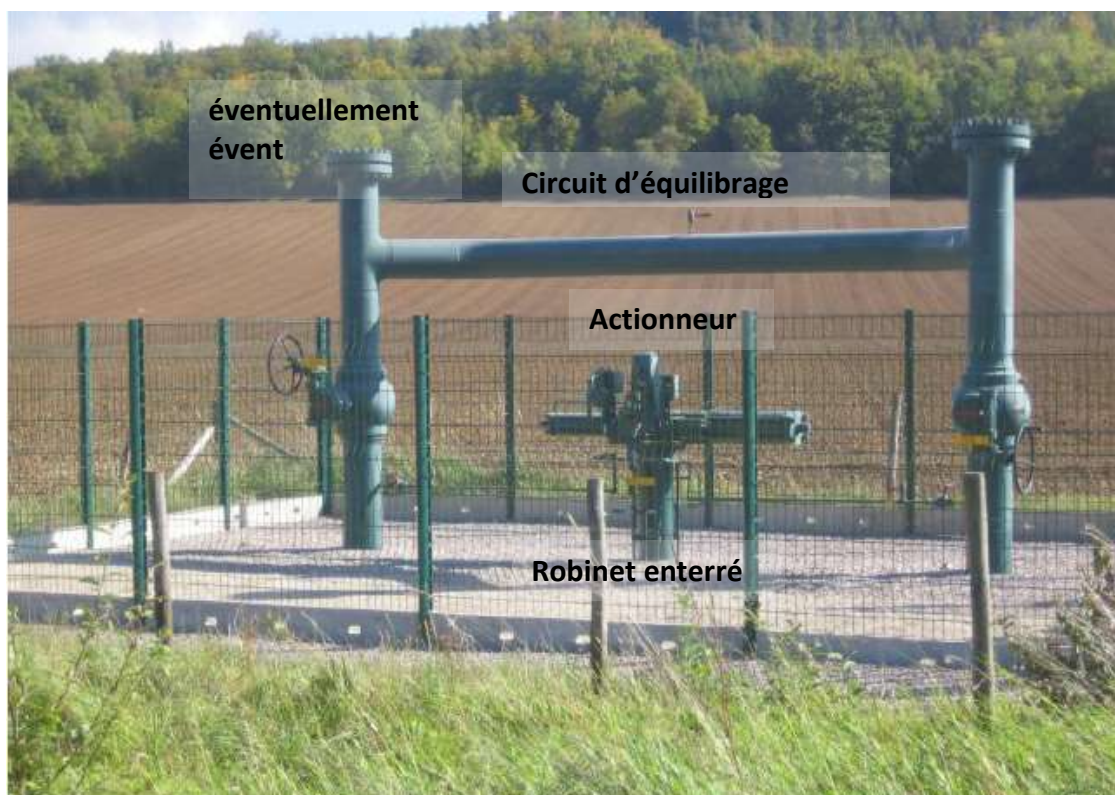


Figure n° 10 : Poste de sectionnement

### 3.3.2. Les postes de coupure

Un poste de coupure a pour fonction principale l'introduction ou la réception de piston de nettoyage ou d'inspection. En effet, il est parfois nécessaire de nettoyer l'intérieur de la canalisation pour éliminer les poussières et les dépôts d'huile qui pourraient s'être fixés à la longue sur les parois. Par



ailleurs des pistons instrumentés sont utilisés afin de détecter notamment des manques d'épaisseur ou des défauts géométriques lors des opérations d'inspection. En dehors des opérations de pistonage, la gare est isolée de la canalisation à laquelle elle est associée.

Un poste de coupure est constitué essentiellement :

- d'un robinet d'isolement à passage intégral (robinet de même diamètre intérieur que la canalisation),
- d'un sas (gare), muni d'une culasse permettant l'introduction ou la réception des pistons racleurs<sup>(\*)</sup>,
- d'un circuit d'équilibrage,
- d'une ligne d'évent<sup>(\*)</sup> permettant d'évacuer le gaz naturel à l'atmosphère avant de pouvoir ouvrir la culasse.

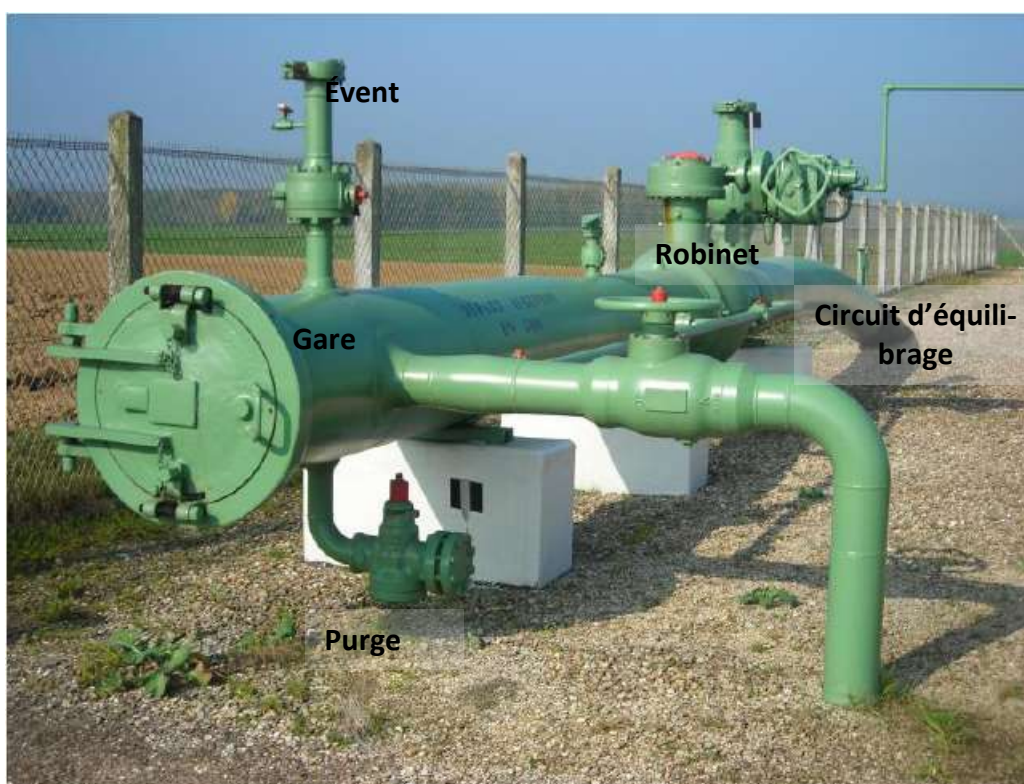


Figure n° 11 : Poste de demi-coupure

Dans ce type de poste, les installations aériennes sont la gare de piston, le circuit d'équilibrage et la ligne d'évent. Ces installations sont en général dépourvues de soupape.

Un poste de coupure dispose de deux gares de pistons, une pour chaque départ de la canalisation et d'un tronçon de canalisation, de même diamètre que la canalisation principale, permettant d'assurer la continuité du transit associé à un robinet de sectionnement. Un poste de demi-coupure ne dispose que d'une seule gare de piston ; il se situe en général à l'extrémité d'un tronçon d'artère de réseau national, d'une antenne sur le réseau régional ou au point de raccordement avec un ouvrage tiers (stockage souterrain, terminal méthanier).

### 3.3.3. Les postes de livraison ou poste de détente

Les postes de livraison ou poste de détente assurent la connexion entre deux réseaux de Pression Maximum en Service différente. Ils sont installés en particulier, à l'interface entre le transporteur et le distributeur ou entre le transporteur et un client branché directement sur le réseau de transport.

Dans ce cadre, ils assurent les fonctions suivantes :

- le comptage du gaz naturel
- la filtration du gaz naturel
- la régulation et le contrôle de la pression émise dans le réseau en interface avec le transporteur
- plusieurs dispositifs de sécurité indépendant (clapets de sécurités, soupapes, monitor<sup>(\*)</sup>) interdisant le dépassement de la M.I.P. (pression maximale en cas d'incident suivant la norme NF EN 1594 de juin 2014) du réseau interconnecté avec le réseau du transporteur.

Les postes de livraison étant de configuration variée, les dispositifs de sécurité pression retenus sont indiqués dans l'étude spécifique ou l'étude départementale. Un exemple de principe de fonctionnement est donné en Annexe n° 10.

### 3.3.4. Les postes de régulation / pré-détente

Les postes de régulation ou pré-détente assurent la séparation entre deux canalisations de transport de Pression Maximum en Service différente.

Ce poste est constitué a minima :

- d'un système de régulation et de contrôle de la pression,
- d'un ou plusieurs dispositifs de sécurité indépendants (clapets de sécurités, soupapes, monitor) interdisant le dépassement de la M.I.P. (pression maximale en cas d'incident suivant EN 1594) dans la canalisation interconnectée.

Conformément à la norme NF-EN 12186 « Poste de détente régulation de pression de gaz pour le transport et la distribution », ces postes sont équipés :

- d'un seul dispositif de sécurité de pression, si la différence de niveaux de pression maximale en service entre l'amont et l'aval du poste de détente est inférieure ou égale à 16 bar ;
- de deux dispositifs de sécurité de pression si la différence de niveaux de pression maximale en service entre l'amont et l'aval du poste de détente, est supérieure à 16 bar et que la pression d'épreuve du réseau aval est inférieure à la PMS du réseau amont.

Par ailleurs, des postes de régulation de débit / pression peuvent être implantés sur des réseaux de même PMS afin de faciliter l'exploitation du réseau aval.

### 3.3.5. Les postes de comptage ou filtration / comptage

Le « comptage » du gaz consiste à mesurer la quantité de gaz transitée. Plusieurs principes de physique peuvent être utilisés, donnant lieu à autant de types de capteurs primaires. Dans tous les cas, l'écoulement du gaz doit être le plus régulier possible, ce qui nécessite des tranquilliseurs de flux et d'importantes longueurs droites en amont et en aval de l'organe de mesure. Les informations des

capteurs, ainsi que celles en provenance des appareils de mesure physique (chromatographe, densimètre, etc.) sont analysées dans une centrale de calcul électronique appelée simplement « calculatrice ».

### 3.3.6. Matériel utilisé pour les installations annexes

Les installations annexes sont constituées principalement d'appareils : robinets, régulateurs de pression ou de débit, dispositif de sécurité pression (soupapes, Vannes de Sécurité) et de tuyauteries composées de tubes et de pièces de forme chaudronnées.

Concernant la conception, la construction et l'exploitation de ces postes, GRTgaz respecte les prescriptions définies dans l'AMF (qui fait référence aux normes applicables en particulier la norme NF EN 1594 et au guide GESIP « normes canalisations de transport »<sup>15</sup>).

Pour chaque type d'appareil, GRTgaz a élaboré une spécification technique définissant les exigences applicables. Ces exigences concernent principalement :

- les matériaux utilisés pour la fabrication des appareils et de la boulonnerie, l'aspect du matériel,
- les procédés de soudage et la qualification du personnel soudeur,
- les caractéristiques du raccordement retenu,
- le dimensionnement et le fonctionnement des appareils,
- les contrôles et essais en cours de fabrication et sur le produit fini, le marquage et le conditionnement, les documents remis par le fournisseur.

De plus, pour les matériels considérés comme les plus sensibles, GRTgaz a mis en place une procédure de qualification des fournisseurs afin de s'assurer que ces spécifications techniques sont appliquées et que le fournisseur a la capacité de garantir un niveau de qualité élevé et constant. Un fournisseur devra donc faire agréer son unité de production et accepter de se soumettre à des audits de son système de production.

### 3.3.7. Construction des installations annexes

La construction des postes de livraison est généralement réalisée en usine avant leur raccordement final sur site. La majorité des contrôles et essais réglementaires a donc également lieu en usine.

## 3.4. Les installations de protection contre la corrosion

Le facteur de risque corrosion est explicité au Chapitre 4 - § 3.4.1 et § 3.5.3. L'ensemble du réseau en acier est protégé par le dispositif de protection cathodique sauf pour les parties aériennes qui font l'objet d'une mise en peinture et d'une inspection visuelle.

Outre la protection passive exercée par le revêtement extérieur des tubes, GRTgaz met en place systématiquement un système de protection active qui permet de prévenir les réactions de corrosion provoquées par le milieu environnant sur les parties enterrées de l'ouvrage. Cette protection dite "protection cathodique"<sup>(\*)</sup> consiste à abaisser artificiellement le potentiel électrochimique<sup>(\*)</sup> de

---

<sup>15</sup> GESIP « Normes canalisations de transport » - Rapport n° 2007/09 – Edition juillet 2016

l'acier au-dessous du seuil de corrosion<sup>(\*)</sup> (-850 mV / électrode en cuivre-sulfate de cuivre) en utilisant un soutirage de courant ou des anodes sacrificielles.

La protection cathodique par courant imposé, d'ouvrages métalliques enterrés ou immergés, nécessite l'utilisation d'une source de courant continu (redresseur système appelé communément soutirage) et d'un système d'injection du courant dans le sol constitué d'une prise de terre consommable (déversoir). Les déversoirs peuvent être horizontaux (rails de plusieurs dizaines de mètres) ou verticaux (forages remplis par des anodes en ferrosilicium ou en graphite et un régulateur de corrosion - poussier de coke).

Des câbles soudés à la canalisation appelés "prises de potentiel" sont implantés à intervalles réguliers le long du tracé et permettent à l'exploitant de mesurer le potentiel de l'ouvrage. Ces mesures permettent durant toute la vie de l'ouvrage de s'assurer de l'efficacité du dispositif de protection cathodique<sup>(\*)</sup>.

En général, au point d'interface entre ouvrages protégés activement (canalisations enterrées) et passivement (postes aériens) sont mis en place des raccords isolants afin d'isoler « électriquement » les ouvrages. Il en est de même entre deux ensembles électriques différents.



Figure n° 12 : Raccord isolant

Un raccord isolant est un élément étanche de conduite droite capable :

- de supporter les efforts mécaniques dus à la pression du gaz transporté et aux contraintes extérieures au même titre qu'un élément tubulaire,
- de constituer l'isolement électrique des deux tronçons de canalisation métallique qu'il relie, l'un par rapport à l'autre, et par rapport aux milieux environnants,
- de conserver ses caractéristiques dans le temps.

Un raccord isolant doit arrêter la propagation d'une tension électrique pouvant apparaître en exploitation sur l'un des tronçons de la canalisation.

Au titre d'équipement sous pression standard, le raccord isolant doit répondre aux prescriptions de la réglementation en vigueur et notamment :

- au décret n° 99-1046 du 13 décembre 1999 modifié relatif aux équipements sous pression, transposant en France la Directive Européenne des Équipement Sous Pression 97/23/CE du 29 mai 1997 (DESP) ;
- à l'arrêté du 21 décembre 1999 relatif à la classification et à l'évaluation de la conformité des équipements sous pression ;

De plus, les raccords isolants doivent répondre aux exigences du décret n° 96-1010 du 19 novembre 1996, transposant en France la Directive Européenne ATEX 94/9/CE relative aux appareils et systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphère explosible (sauf justification du Fabricant).

Le raccord isolant assure une protection jusqu'à 5 000 V<sup>16</sup> et la tenue diélectrique initiale a été testée à 11 000 V.

Le raccord isolant est soit aérien soit enterré. Il peut être du type à brides, à embouts à souder, ou bien mixte.

### **3.5. Signalisation et repérage du tracé**

La canalisation, complètement enterrée, devient rapidement invisible après sa pose et la remise en état des terrains traversés. Il est donc nécessaire d'installer, tout le long de son tracé, des repères qui permettent de jalonner l'ouvrage.

Cette signalisation est par ailleurs imposée par l'article 7 de l'AMF.

La signalisation doit être adaptée selon la durée d'utilisation et le souci d'intégration. Elle est mise en place a minima en bordure de voirie et pour matérialiser les changements de direction de la canalisation. Elle indique la proximité de l'ouvrage et en aucune façon la position précise de celui-ci.

Elle est réalisée par le biais de repères différents en fonction de l'environnement de l'ouvrage. Il s'agit soit de bornes, de plaques scellées au sol ou au mur et/ou de balises :

- les bornes et plaques scellées au sol ou au mur (pour les réseaux en zone urbaine notamment) permettent aux agents de GRTgaz de localiser l'ouvrage (en cas de travaux à proximité, un repérage précis est réalisé avec un matériel spécifique) et aux entreprises exécutant des travaux dans le voisinage de savoir qu'un ouvrage de transport de gaz existe à proximité.
- les balises (pour les réseaux en milieu rural et périurbain), de taille plus importante que les bornes, permettent également le repérage de l'ouvrage lors des opérations de surveillance aérienne par avion ou par hélicoptère.

---

<sup>16</sup> Arrêté du 17 mai 2001 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.



Figure n° 13 : Balise (à gauche) et borne (à droite) de signalisation

La politique de GRTgaz en matière de signalisation consiste à s'assurer de :

- l'existence d'une signalisation telle que, depuis un repère, les repères de part et d'autre de celui-ci puissent être vus ; une telle disposition correspond à la notion de **balisage renforcé**,
- la présence effective, sur ces repères, de plaques signalétiques comportant la référence de la signalisation et un numéro d'appel d'urgence 24 h / 24.

## 4. CONDITIONS D'OPÉRATION DE L'OUVRAGE

### 4.1. Principe de fonctionnement de l'ouvrage

 Se reporter à la partie spécifique

L'ensemble des installations (livraison, filtration/comptage, pré-détente, interconnexion, station de compression) fonctionne sans présence humaine permanente. Néanmoins du personnel GRTgaz est susceptible d'être présent sur le site lors des heures ouvrables pour des opérations de maintenance et pour des contrôles. En cas de nécessité, le personnel peut être envoyé sur site à tout moment. Une équipe d'astreinte peut intervenir 24h/24, à la demande du CSR. Son délai d'intervention est d'environ 1 heure.

Pour les sites industriels (station de compression, interconnexion), dès lors que le procédé sort de la plage de fonctionnement normalement prévue (par exemple seuil de pression haute ou basse), l'information est retransmise au CSR.

### 4.2. Principes d'organisation de l'exploitation

L'exploitation des canalisations de transport est réalisée par un des quatre pôles d'exploitation territoriaux de la Direction des Opérations de GRTgaz selon l'organisation actuelle de la société. Pour assurer cette mission, chaque pôle d'exploitation s'appuie sur :

- des équipes de maintenance et d'intervention réparties sur le territoire. Chaque équipe, appelée « Secteur » a en charge un secteur géographique. Ces équipes assurent la maintenance et la surveillance de la canalisation et des installations annexes. Elles interviennent également à la demande du Centre de Surveillance Régional<sup>(\*)</sup> pour toute anomalie. Elles sont mobilisables sans délai à tout moment pour assurer la sécurité du réseau ;
- des Départements Réseau, entités regroupant plusieurs secteurs ;
- le Centre de Surveillance Régional (CSR). Il dispose d'informations télétransmises depuis différents points du réseau et reçoit les alarmes en cas d'anomalie ainsi que les appels téléphoniques de particuliers signalant tout problème. Un agent présent au CSR suit en permanence l'évolution des paramètres dont il dispose et alerte si nécessaire le responsable en charge de l'exploitation de l'ouvrage en cas d'anomalie avérée. Par principe, le système de télégestion est redondé, il dispose de deux calculateurs, un maître et un secours, dont les bases de données sont rafraichies en permanence. Une défaillance du calculateur maître engendre le basculement instantané sur le calculateur secours. De plus, une perte totale du Centre de Surveillance Régional déclenche l'activation sous 2 heures du Centre de Repli disposant des mêmes équipements. Pendant ce laps de temps :
  - × les installations du réseau national continuent à être pilotées par le Dispatching National (D.N.),
  - × les installations du réseau régional pilotables à distance (interconnexion, compression,...) font l'objet d'envoi de personnel sur site (astreinte en dehors des heures ouvrables) ; ces installations restent sur le dernier point de consigne envoyé, la sécurité étant assurée localement par le contrôle-commande de sécurité.

### **4.3. Programme périodique de surveillance et de maintenance**

Conformément à l'article R555-43 du code de l'environnement et l'article 18 de l'AMF, un programme de surveillance et de maintenance (PSM) prévoit pour chaque type d'installations les opérations à réaliser ainsi que les fréquences associées. Ce programme est établi selon deux guides professionnels GESIP reconnus « Surveillance, maintenance et réparations des canalisations de transport - Tome I Méthodologie » et « Surveillance, maintenance et réparations des canalisations de transport - Tome II Modes opératoires » référencés respectivement 2007/04 et 2007/05 – Edition de janvier 2014.

**Les fréquences associées aux actes de maintenance et de surveillance, décrits qualitativement dans ce document, sont définies localement dans le PSM du pôle d'exploitation responsable de l'ouvrage.**

#### **4.3.1. Les canalisations**

##### **4.3.1.a) Surveillance des canalisations**

Les activités de surveillance des ouvrages portent essentiellement sur la surveillance de l'environnement à proximité des ouvrages et ont pour objectif :

- la recherche de chantier en infraction à proximité des ouvrages : (chantier non déclaré (CND), chantier mal déclaré : description, périmètre, dates des travaux non conforme aux déclarations,...),
- la recherche de fuites éventuelles par l'identification de changements suspects de la végétation ou de la coloration inhabituelle du terrain,
- le contrôle du balisage (y compris la signalisation renforcée issue des études de dangers),
- la recherche des anomalies de couverture (fonds de fossés, affaissements de terrain...),
- le contrôle de la servitude (accessibilité, entretien ...),
- la visualisation de l'état des berges.

La surveillance des canalisations est effectuée, sous plusieurs formes : **surveillance terrestre** (à pied ou en voiture) et/ou **surveillance aérienne** (par avion ou hélicoptère<sup>17</sup>). Pour cette surveillance les moyens aériens ou automobiles sont privilégiés, la surveillance pédestre étant utilisée pour les zones non contrôlables en aérien ou par route.

Certains tronçons font l'objet d'une fréquence de surveillance accrue :

- soit parce que l'étude de dangers a conduit à mettre en œuvre de la **surveillance renforcée** (fréquence de passage supérieure une fois par mois) en tant que **mesure compensatoire de sécurité**,
- soit parce qu'ils présentent un enjeu en terme de sécurité (des personnes, des biens et de l'environnement), de disponibilité des installations, et d'activité humaine. Des critères d'activité de travaux tiers, de diamètre nominal et de coefficient de sécurité permettent en ce cas de hiérarchiser les tronçons de façon à définir une fréquence de surveillance adaptée à l'enjeu qu'ils représentent.

**Les dispositions propres à chaque canalisation sont décrites dans le programme de surveillance et de maintenance (PSM) et si besoin dans la partie spécifique pour un ouvrage neuf dès lors qu'une mesure compensatoire nécessitant un suivi est retenue.**

#### 4.3.1.b) Inspection et réparation

Cette activité a pour objectif le maintien de l'intégrité des canalisations dans le temps.

L'inspection des canalisations est réalisée soit par :

- des pistons instrumentés (PI) circulant dans les canalisations, permettant de localiser, d'identifier et de dimensionner les anomalies métallurgiques et géométriques sur toute la longueur de la canalisation ;
- des Mesures Électriques de Surface (MES) appelées aussi Recherche Localisée de Défauts de Revêtement (RLDR) permettant la détection de défauts d'isolement susceptibles d'être le siège d'atteinte au métal sur les canalisations. Elles s'effectuent par la mesure de gradient de potentiel à la surface du sol au-dessus des canalisations.

<sup>17</sup> GRTgaz commence également à utiliser des drones pour la surveillance aérienne



Cette activité s'appuie sur un programme d'inspection et de réparation du réseau existant, constitué par :

- une primo inspection,  
Nota : pour les canalisations neuves, le contrôle à la pose par mesures électriques de surface (MES) tient lieu de primo-inspection,
- la mise en place d'un diagnostic approfondi décennal de la protection cathodique (cf. § 4.3.3),
- des réinspections dont le terme est notamment défini selon la nature du revêtement des canalisations concernées et du résultat des différents contrôles réalisés tout au long de la vie de l'ouvrage dont le diagnostic approfondi de la protection cathodique et l'inspection précédente,
- des actions spécifiques sur les points singuliers du réseau :
  - × inspection visuelle et révision (inspection approfondie et remise à niveau si nécessaire) des traversées aériennes,
  - × inspection des berges et révision des traversées sous fluviales,dont la fréquence est fixée par le PSM.

La politique de réparation s'appuie sur le code d'Analyse et de Réparation de Défauts (ARD) qui définit les principes d'analyse et de traitement des défauts détectés lors de cette démarche. Deux outils d'aide à la décision permettent une mise en œuvre opérationnelle de ces principes :

- un outil d'analyse des défauts permettant d'évaluer leur criticité,
- un outil d'aide aux choix de la technique de réparation à utiliser parmi les méthodes suivantes : clockspring, manchon soudé percé, té stopple, coupe et pose de manchette.

#### 4.3.1.c) Maintenance courante

Les activités de maintenance portent sur :

- l'entretien de la signalisation des ouvrages (bornes et balises), pris en compte dans les activités de surveillance des ouvrages. Des actions spécifiques sont lancées en fonction des écarts relevés lors de la surveillance.
- l'entretien de la bande de servitude,
- le nettoyage des canalisations par passage de pistons « racleurs » est entrepris :
  - × en fonction des zones d'accumulation connues,
  - × en fonction de la sensibilité des points de livraison situés en aval,
  - × ponctuellement en cas de quantités importantes d'huile émises accidentellement en amont.

#### 4.3.2. Les postes

##### 4.3.2.a) Surveillance des postes

Elle consiste en un contrôle visuel destiné à s'assurer de l'état général du poste. Les points vérifiés sont :

- l'absence de fuite sur l'installation (ni odeur de gaz, ni bruits anormaux) ;
- le fonctionnement des appareils : enregistreur de pression, détendeur principal, position des robinets, clapets de sécurité et soupapes, chaîne de comptage.  
En cas de défaut de fonctionnement de l'appareil, une intervention de maintenance corrective, pouvant aller jusqu'à la révision du matériel avec démontage complet des appareils, est effectuée.

La fréquence de surveillance des postes est renforcée lorsque les conditions de fonctionnement le nécessitent : grands froids, mise en service récente, ...

Pour les postes de coupure et de sectionnement disposant d'une commande à distance, des essais de fermeture des robinets télécommandés permettent de s'assurer que le robinet, sa motorisation et éventuellement son système de commande à distance par le CSR (\*) ou par d'autres centres de contrôle (salle de contrôle commande sur les sites) fonctionnent correctement.

#### 4.3.2.a) Maintenance des postes

La surveillance est complémentaire des opérations d'exploitation ou de maintenance :

- l'entretien des abords du poste,
- le suivi du fonctionnement (pression, température en cas de réchauffage du gaz),
- les divers contrôles réglementaires exigés par ailleurs (Code du travail, ...),
- la réfection de la peinture,
- la reprise des entrée/sortie de sol.

#### 4.3.3. Surveillance de la protection cathodique (PC)

L'évaluation de la protection cathodique permet de s'assurer que le système de protection fonctionne et maintient le potentiel de la canalisation à un niveau protecteur vis-à-vis de la corrosion externe.

L'historique des règles utilisées depuis 1970 est la suivante :

##### □ **Entre 1970 et 1992**

Les pratiques internes à la Direction Production Transport de Gaz de France s'appuyaient sur les règles de l'art appliquées en la matière et le retour d'expérience acquis. Aucune norme se rapportant à la protection cathodique n'existait dans cette période. Les mesures et contrôles s'effectuaient a minima une fois par an pour les mesures de potentiels. Lors de la mise en service de nouvelles canalisation, un contrôle de la résistance électrique de la canalisation était effectué (valeur d'isolement). Les mesures de potentiel étaient réalisées en grande partie avec la protection cathodique (« On ») en service et ceci du fait que :

- le retour d'expérience autorisait à considérer que l'obtention d'un potentiel, protection cathodique en service, inférieur à une certaine valeur (-1000 mV/-1100 mV) était suffisant pour s'assurer de l'atteinte du critère de protection cathodique. Cette approche était également en usage chez les autres transporteurs en France (gaz et hydrocarbures) ;

- cette approche se justifiait par la nature du revêtement qui était très majoritairement de type hydrocarboné présentant des potentiels « protection en service » moins influencés par de fortes variations de chute ohmique (RI). La norme française NF A 05-610 qui sera éditée en avril 1992 ira dans ce sens à savoir qu'elle indique à son § 9.1.2.3 « Périodicité des contrôles d'efficacité » que pour les structures protégées par soutirage de courant la périodicité de ce contrôle est d'une ou deux fois par an et que lors de ce contrôle, la mesure du potentiel inclut la « chute de tension RI » dans le milieu ;
- de plus, le matériel industriel qui aurait pu permettre des mesures à tous les points de contrôles n'existait pas et la technique des témoins était à l'époque dans sa phase de réflexion et d'expérimentation et ne faisait pas l'unanimité au sujet de sa pertinence.

Des mesures de potentiel « protection cathodique déconnectée » étaient néanmoins réalisées en certains points comme au niveau des soutirages, des liaisons électriques entre canalisations.

#### □ **Entre 1992 et 2001**

La Direction Transport de Gaz de France, en s'appuyant d'une part sur l'arrivée des premières normes française se rapportant à la protection contre la corrosion par mise en place d'une protection cathodique (notamment la NF A 05-610) et d'autre part sur son expérience en la matière, a élaboré sa propre doctrine par le biais d'un document interne intitulé « information sur la protection contre la corrosion » et par la suite de « Guides de savoir-faire ».

De plus Gaz de France a participé activement, par ses propres recherches, ses participations aux groupes de normalisation et aux instances savantes, à la validation et la mise en place de techniques permettant de réaliser de façon rationnelle et industrielle les mesures de potentiels « protection déclenchée ».

Durant cette période, les mesures et contrôles de protection cathodique ont été réalisés conformément à la norme NF-A-05-610. À partir des années 1990, des mesures dites « approfondies » étaient réalisées en cas de doutes sur les mesures traditionnelles. Ces mesures approfondies concernaient des mesures à courant coupé, sur témoin. Cela était rendu possible par l'arrivée de nouveaux matériels permettant des coupures simples ou synchronisées du courant.

L'abandon progressif dans cette période du revêtement hydrocarboné au bénéfice du revêtement polyéthylène, a rendu nécessaire les mesures de potentiel à courant coupé afin de s'assurer de l'efficacité de la protection mise en œuvre.

Tout ce travail de recherche et de fiabilisation des nouvelles techniques (mené par un grand nombre de concessionnaires européens de réseaux dans cette période) a abouti en 2001 à la publication de la norme européenne applicable encore à ce jour : la norme NF EN 12954 « Protection cathodique des structures enterrées ou immergées ».

#### □ **Depuis 2001**

Une évaluation générale (mesures de potentiel à courant enclenché (Eon)) est effectuée tous les ans et une évaluation complète et détaillée de l'efficacité (mesures de potentiels à courant coupé (Eoff)) est réalisée tous les 3 ans selon la norme NF EN 12954 (d'application obligatoire depuis la parution de l'arrêté multi fluide du 4 août 2006 modifié). Ces évaluations sont complémentaires aux contrôles de l'état du revêtement, conformément au guide GESIP « Surveillance, maintenance et

réparations des canalisations de transport - Tome II Modes opératoires » référencé 2007/05 – Edition de janvier 2014. Dans le cas de difficultés particulières, le problème est confié à une unité spécialisée de GRTgaz reconnue comme un expert international dans ce domaine.

Pour les ouvrages aériens, une inspection régulière et un entretien adapté des peintures sont réalisés en tant que de besoin.

Le Tableau n° 7 suivant présente une synthèse des contrôles réglementaires et normatifs réalisés depuis 1970.

Période	Arrêtés et normes	Mesures demandées	Mesures réalisées	Commentaires
De 1970 à 1992	Arrêté du 11/05/1970 Pas de norme	Par l'arrêté ci-contre : Potentiels « protection en service » Potentiels « protection déconnectée »	Potentiels « protection en service » sur tous les points. Potentiels « protection déconnectée » au niveau des soutirages et liaisons.	Pas de matériel permettant des mesures « protection déconnectée » de façon industrielle
De 1992 à 2001	Arrêté du 11/05/1970 Norme NF A 05-610	Par la norme NF A 05-610 : Potentiels « protection en service » Potentiels « protection déconnectée » (si doute)	Potentiels « protection en service » sur tous les points. Potentiels « protection déconnectée » au niveau des soutirages et liaisons et si doute.	Respect de la norme NF A 05-610
De 2001 à 2006	Arrêté du 11/05/1970 Norme NF EN 12954	Par la norme NF EN 12954 Eon (annuelle) Eoff (tous les 3 ans)	Potentiels Eon sur tous les points. Potentiels Eoff.	Atteinte progressive du respect du nombre et de la fréquence des mesures Eoff
De 2006 à aujourd'hui	Arrêté du 4/08/2006 Norme NF EN 12954	Par l'arrêté et la norme NF EN 12954 Eon (annuelle) Eoff (tous les 3 ans)	Potentiels Eon sur les points sélectionnés. Potentiels Eoff sur les points identifiés.	Respect de la norme NF EN 12954

**Tableau n° 7 : Protection cathodique : Synthèse des contrôles réglementaires et normatifs depuis 1970**

## 4.4. Intervention de secours

### 4.4.1. Principes généraux du Plan de Sécurité et d'Intervention (P.S.I.)

L'organisation de la sécurité pour les ouvrages de GRTgaz, définie par un Plan de Sécurité et d'Intervention (P.S.I.), est établie par l'exploitant de l'ouvrage. Ce Plan de Sécurité et d'Intervention, à vocation opérationnelle, est destiné à rappeler les mesures préventives adoptées pour aider

l'exploitant comme les pouvoirs publics à faire face à un accident important impliquant une canalisation de transport de gaz naturel (distances de sécurité, plans, coordonnées des intervenants, ...).

Le P.S.I. concernant les canalisations de transport de gaz naturel est établi par GRTgaz en liaison avec les autorités publiques chargées des secours pour l'ensemble d'un département. Chaque P.S.I. départemental est élaboré à partir d'un canevas type rédigé conformément au guide GESIP « Méthodologie pour la réalisation d'un plan de sécurité et d'intervention sur une canalisation de transport (PSI) » –Rapport 2007/01 - Edition de juillet 2016. Il est mis à jour, complété et diffusé en cas d'évolution significative du réseau, en fonction des conclusions des études de dangers, et au maximum tous les trois ans. Sa diffusion est assurée par GRTgaz selon les indications du service chargé du contrôle.

Le PSI couvre en particulier les points suivants :

- la description du réseau de transport de gaz, notamment sa situation géographique et les caractéristiques des ouvrages,
- l'ensemble des risques potentiels,
- l'organisation mise en œuvre en cas d'accident et les différentes phases de l'intervention,
- les moyens d'intervention mis en œuvre par GRTgaz en cas d'accident,
- les consignes nécessaires aux services de secours et aux forces de police.

Le nombre et l'implantation géographique des services d'exploitation sont déterminés de telle sorte qu'en conditions normales de circulation, il leur soit possible d'intervenir en tout point du réseau dont ils ont la charge dans un délai moyen de l'ordre d'une heure.

Dans le cas d'un événement à proximité de la frontière d'exploitation entre deux pôles d'exploitation, la responsabilité de l'intervention sur l'ouvrage revient au pôle concerné par la fuite. L'autre pôle se met à disposition du premier pour contribuer aux opérations, notamment pour l'isolement du réseau.

En cas d'incident d'ampleur significative ou d'accident, GRTgaz met en place la cellule de coordination nationale afin d'assurer :

- la gestion de la crise au niveau GRTgaz, en particulier la coordination avec les pôles d'exploitation impactés,
- la coordination nationale entre GRTgaz et les opérateurs adjacents concernés, en particulier : Storengy, Elengy, GRDF.

Le PSI, transmis au Préfet de chaque département, sert de référence pour l'établissement des dispositions spécifiques du plan ORSEC (Organisation de la Réponse de la Sécurité Civile) qui prévoit les mesures à prendre et les moyens de secours à mettre en œuvre pour faire face à des risques de nature particulière ou liés à l'existence et au fonctionnement d'installations ou d'ouvrages déterminés selon l'article L741-2 du Code de la sécurité intérieure.

#### 4.4.2. Scénarios de référence pour le P.S.I

##### **Canalisations**

Le scénario majorant pour une canalisation enterrée de transport de gaz de référence pour le PSI départemental est **le scénario de rupture de la canalisation avec inflammation immédiate du rejet de gaz.**

##### **Installations annexes de type répétitif**

Compte tenu du retour d'expérience de GRTgaz sur ce type d'installations, et conformément au guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014, le scénario majorant en termes d'effets est le rejet de gaz issu de la rupture de piquage de DN 25 au maximum et/ou le rejet à la soupape (bloquée ouverte) suivi de l'inflammation, s'il y en a une sur l'installation. La partie spécifique de l'étude de dangers du poste précise le scénario à retenir parmi les scénarios de référence applicables à l'installation.

##### **Installations annexes complexes**

Le choix du scénario majorant à retenir sur ce type d'installation découle d'une analyse des risques spécifique. Il convient dans ce cas de vérifier si les distances issues de l'étude de dangers pour les différents scénarios viennent modifier les distances relatives aux canalisations figurant dans le P.S.I.

#### 4.4.3. Critères pour le P.S.I.

L'étude de dangers apporte les éléments nécessaires au bon dimensionnement des moyens à mettre en œuvre et à l'appréciation des mesures de protection à assurer vis à vis du public et de l'environnement.

Ainsi, l'étude de dangers quantifie pour les canalisations les valeurs de flux thermique correspondant aux différentes distances de protection figurant dans le P.S.I. :

##### **le périmètre de sécurité du public (3 kW/m<sup>2</sup>)**

Ce périmètre correspond à l'éloignement nécessaire du public pour qu'il ne soit pas surpris et mis en danger en cas d'inflammation retardée de la fuite. Ce périmètre vise notamment à éviter les phénomènes de panique ;

##### **le périmètre d'intervention (5 kW/m<sup>2</sup>)**

Ce périmètre correspond à l'approche raisonnable des professionnels en réserve, nécessaires à l'intervention. Les intervenants directs peuvent être amenés à s'approcher plus près de la fuite munis d'équipements de protection et de dispositifs d'appui (rideau d'eau...) appropriés ;

##### **le périmètre de danger (8 kW/m<sup>2</sup>)**

Ce périmètre correspond à un seuil défini par l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation et il est repris dans le guide GESIP « méthodologie pour la réalisation d'un plan de surveillance et d'intervention sur une canalisation de transport » référencé rapport n°2007/01 édition de juillet 2016. Pour le PSI, ce seuil se substitue à la valeur antérieure de 16

kW/m<sup>2</sup>. Par souci de continuité, on considère que ce périmètre correspond à l'évacuation préventive des habitations, avant que la fuite se soit enflammée. En revanche, si la fuite s'est enflammée, un arrosage des bâtiments permet d'en limiter les conséquences.

Les distances issues de l'étude de dangers pour les trois périmètres de protection viendront modifier celles figurant dans les versions antérieures du P.S.I. dans le cas où la nouvelle configuration du réseau conduirait à des distances supérieures à celles déjà inscrites dans le P.S.I.

#### 4.4.4. Organisation générale de l'intervention

L'organisation des interventions en cas d'incident ou d'accident a pour objet essentiel d'assurer la sécurité des personnes et des biens environnants et, dans la mesure où cette sécurité est assurée, de maintenir la continuité de l'alimentation en gaz naturel des distributions publiques et des industriels, sachant que le maintien de l'alimentation contribue à la sécurité des clients.

Pour un accident ou un incident d'une certaine importance, GRTgaz organise son intervention autour de trois pôles d'action : le CSR (Centre de Surveillance Régional), le C.L.I.R. (Centre Logistique d'Intervention sur le Réseau) et le P.A.I.R. (Poste Avancé d'Intervention sur le Réseau). Si l'évolution de la situation le nécessite, le Responsable de l'Intervention sur l'Ouvrage peut décider de constituer un Poste de Commandement (P.C.) du P.S.I. en se rendant sur les lieux de l'accident.

##### **Le CSR<sup>(\*)</sup>**

Le Centre de Surveillance Régional, situé au siège du pôle d'exploitation territorial et opérationnel 24h/24, est constitué par un ou des agent(s) répartiteur(s) assisté(s), en cas d'alerte, par un ingénieur responsable des mouvements de gaz. Le CSR assure :

- l'alerte et l'information en cas d'incident grâce à une permanence tenue 24 h sur 24,
- la gestion des mouvements de gaz visant à éviter si possible la coupure d'alimentation des villes, des industriels ou des régions concernés.

Compte tenu de la mission centralisatrice du CSR<sup>(\*)</sup> et des moyens de communication dont il dispose, il importe, en cas d'incident ou d'accident qu'il soit prévenu directement par téléphone le plus rapidement possible. Le numéro vert est mentionné dans le PSI et dans chaque étude spécifique.

##### **Le C.L.I.R.<sup>(\*)</sup>**

Le Centre Logistique d'Intervention sur le Réseau, situé au secteur de GRTgaz en charge de l'exploitation du tronçon de canalisation concerné, est constitué par le Responsable d'Intervention sur l'Ouvrage (R.I.O.), cadre du Département Réseau qui prend en charge la responsabilité de l'ensemble de l'intervention. Le C.L.I.R.<sup>(\*)</sup> a pour mission d'assurer :

- le déclenchement de la reconnaissance sur les lieux de l'accident,
- la coordination des moyens privés internes ou externes (Protection civile, Gendarmerie, Police...) nécessaires tant que les secours publics ne sont pas engagés,
- le secrétariat de l'intervention,
- la coordination avec le CSR<sup>(\*)</sup> pour décider des mesures à prendre,
- l'information des autorités aériennes, ferroviaires, fluviales, si nécessaire,
- l'information du permanent du pôle d'exploitation territorial concerné.

#### ☐ **Le P.A.I.R.<sup>(\*)</sup>**

Le Poste Avancé d'Intervention sur le Réseau est constitué a minima d'un agent envoyé sur les lieux de l'incident et qui a pour mission :

- de faire prendre toutes dispositions en vue d'assurer localement la sécurité,
- d'apprécier les préparatifs nécessaires à la réparation,
- d'assurer les relations publiques en attendant la venue du permanent du pôle d'exploitation territorial concerné.

#### ☐ **Le P.C.**

Ce poste de commandement (P.C.) du P.S.I. se substitue au P.A.I.R.<sup>(\*)</sup> Il est constitué :

- du Responsable de secteur ou du Département Réseau, en charge de l'exploitation du tronçon de canalisation concerné,
- du personnel du P.A.I.R.<sup>(\*)</sup>,
- du représentant du pôle d'exploitation territorial,

Les missions du P.C. du P.S.I.<sup>(\*)</sup> sont les suivantes :

- prendre toutes dispositions pour assurer la protection de l'environnement et la mise en sécurité des ouvrages de transport de gaz,
- assurer l'information interne et externe par les moyens dont il dispose (CSR<sup>(\*)</sup>, logistique des Services Publics chargés de la Sécurité).
- coordonner l'action du pôle d'exploitation concerné avec les représentants des Services Publics chargés de la Sécurité.

### 4.4.5. Les différentes phases de l'intervention

Une intervention se décompose selon les étapes suivantes :

1. l'alerte,
2. la reconnaissance,
3. la mise en sécurité,
4. la réparation en urgence.

#### ☐ **Alerte**

L'inscription sur les clôtures des installations annexes, les balises et les bornes du numéro téléphonique d'alerte doit permettre à toute personne détectant un incident ou un accident d'alerter rapidement le Centre de Surveillance Régional (CSR) 24h/24 et 7j/7.

De fait, l'alerte transite souvent par les Pompiers et la Gendarmerie, puis par les Unités de GRDF. L'alerte peut également provenir du système d'informations télétransmises interne à GRTgaz.

Une fois alerté, le CSR<sup>(\*)</sup> informe sans délai tous les intervenants concernés par cet incident.

Selon la gravité apparente des faits décrits par les premières informations, le Responsable de l'Intervention sur l'Ouvrage décide de la mise en place d'un Centre Logistique d'Intervention sur le Réseau (C.L.I.R.), d'un Poste Avancé d'Intervention sur le Réseau (P.A.I.R.) ou d'un Poste de Commandement du P.S.I.<sup>(\*)</sup>.



### ☐ **Reconnaissance**

La reconnaissance effectuée par le personnel d'intervention local qui se rend sur place permet d'obtenir :

- la vérification de l'alerte donnée,
- la localisation exacte et la nature de l'incident sur la canalisation,
- l'évaluation de l'importance de l'incident ou de l'accident.

Ce personnel peut constituer une partie ou la totalité du Poste Avancé d'Intervention sur le Réseau (P.A.I.R.) selon la gravité de l'incident.

### ☐ **Mise en sécurité**

- Protection de l'environnement : Si la protection des personnes et des biens est du ressort des Services Publics chargés de la sécurité civile, le Responsable de l'Intervention sur l'Ouvrage de GRTgaz peut être amené à appuyer techniquement la mise en œuvre des mesures conservatoires appropriées (délimitation des différents périmètres de sécurité, arrêt des circulations routières, ferroviaires, fluviales et aériennes, évacuation d'habitations, de locaux de travail et/ou de bâtiments publics).
- Mise en sécurité des canalisations : Les manœuvres de mise en sécurité d'une canalisation accidentée peuvent consister, suivant les circonstances, à :
  - × isoler le tronçon concerné et mettre à l'atmosphère par des événements<sup>(\*)</sup> le gaz naturel contenu dans ce tronçon, au niveau des postes de coupure ou de sectionnement,
  - × baisser la pression dans le tronçon accidenté pour maintenir un certain transit tout en laissant subsister une fuite réduite ou pour diminuer les contraintes locales au niveau du défaut constaté s'il n'y a pas de fuite,
  - × laisser la canalisation en l'état, en maintenant la pression, le transit et éventuellement la fuite si cette manœuvre n'entraîne pas de risques importants dans l'attente d'une réparation programmée.
- Mise en sécurité des installations annexes : Un incident nécessitant la mise en sécurité d'un poste est le plus souvent provoqué par un dysfonctionnement d'un de ses organes constitutifs exceptionnellement suivi d'une fuite de gaz. La mise en sécurité consiste suivant les cas à :
  - × mener à bien les opérations d'isolement de l'organe défectueux tout en maintenant le transit du gaz si la situation le permet,
  - × isoler le poste par la fermeture du ou des robinets d'isolement du poste.

### ☐ **Réparation en urgence**

Cette opération consiste à réparer le plus rapidement possible et de façon provisoire ou définitive l'ouvrage concerné. La remise en service de l'ouvrage est décidée ultérieurement par le R.I.O. après avis des pouvoirs publics ou du commandant des opérations de secours.

#### 4.4.6. Moyens propres d'intervention

##### **Moyens d'intervention de GRTgaz**

Les moyens internes de GRTgaz sont constitués des équipements nécessaires à l'intervention d'urgence et du personnel organisé pour faire face à tout moment aux différents incidents susceptibles de survenir sur le réseau de transport de gaz naturel.

- Les robinets de sectionnement ou d'isolement de la canalisation sont situés à l'intérieur des postes de coupure et de sectionnement dont la liste est précisée pour chaque ouvrage. Leur fonction consiste à isoler un tronçon de canalisation pour :
  - × effectuer les manœuvres de travaux ou de réparation,
  - × réduire l'importance d'une fuite éventuelle.
- Personnel d'intervention : En fonction de sa situation géographique, l'exploitation de chaque ouvrage est confiée à une ou plusieurs structures appelées « Secteur » ou « Département Réseau ». Le déclenchement de l'intervention se fait par l'alerte du Centre de Surveillance Régional (CSR) qui peut faire appel en permanence aux responsables des secteurs, chacun intervenant sur la partie de l'ouvrage qui est de sa responsabilité. Chaque responsable de secteur a à sa disposition en permanence :
  - × des agents dont la mission première en cas d'incident est d'effectuer une reconnaissance exacte de la nature de l'incident ou de l'accident et de mettre immédiatement en sécurité les installations gazières pour éviter l'aggravation du phénomène. Chaque équipe de secteur dispose des véhicules et des matériels nécessaires à l'intervention : véhicule léger et camionnette-atelier,
  - × des agents spécialisés dont la mission est d'assister les agents de secteur et de procéder aux réparations. Ces équipes disposent de camions pour le transport du matériel.

##### **Moyens de réparation d'urgence**

Pour effectuer une réparation d'urgence qui peut être provisoire ou définitive, l'équipe d'intervention dispose d'un stock de moyens de réparation de sécurité. Il faut ajouter qu'en cas de besoin, il est prévu que chaque pôle d'exploitation territorial de GRTgaz puisse également disposer du matériel d'intervention des autres pôles, en particulier de ceux qui lui sont limitrophes.

##### **Moyens publics de secours et d'intervention**

Compte tenu de l'implantation des installations gazières, les conséquences d'un éventuel accident concernent un environnement « public » pour lequel l'intervention des sapeurs-pompiers et de la Police ou de la Gendarmerie est nécessaire.

### 4.5. Formation du personnel

La formation du personnel fait l'objet d'une attention toute particulière et d'un suivi rigoureux au sein de GRTgaz. Ceci est particulièrement vrai pour les agents dont l'action assure la sécurité des ouvrages de transport de gaz naturel.

La formation de chaque agent fait l'objet d'un suivi, mis à jour annuellement lors d'un entretien spécifique entre chaque agent et sa hiérarchie. Il permet, sur la base d'un bilan des compétences,

de prévoir et de programmer les formations complémentaires à suivre en fonction des spécificités de chaque métier.

En plus des textes réglementaires (Code du travail,...), les agents agissent conformément aux règles et recommandations internes de GRTgaz contenues dans :

- le Carnet de Prescriptions au Personnel (GRTgaz - édition 2015),
- le Carnet de Prescriptions au Personnel (EDF-GDF – « Prévention du risque électrique », édition 1991),
- les Guides de Savoir-Faire.

Tous les agents amenés à intervenir sur les équipements électriques sont habilités conformément à l'UTE C18 510 (prévention des risques électriques).

Parmi les nombreuses actions de formation réalisées au sein de GRTgaz, on distingue :

- les actions de professionnalisation qui sont destinées à apporter aux nouveaux embauchés les connaissances nécessaires à l'exercice de leur métier ;
- les actions d'acquisition, de perfectionnement et d'entretien des connaissances qui représentent le plus fort volume de la formation (70% à 80%). Il est important de noter que GRTgaz s'attache à faire largement participer ses cadres comme intervenants de façon à assurer le lien le plus étroit possible entre la formation et la pratique de terrain.

En ce qui concerne plus particulièrement la sécurité, GRTgaz a opté pour le concept de sécurité intégrée où tout agent reçoit une formation initiale concernant la sécurité et participe tout au long de ses fonctions dans l'entreprise, à des actions de sensibilisation à la sécurité par le biais de stages (centralisés ou sur site, pilotés par GRTgaz ou par des organismes extérieurs agréés) et d'exercices de sécurité.

Le personnel reçoit également une formation au titre de l'ATEX (ATmosphères EXplosibles).

Le personnel agissant à distance depuis le CSR<sup>(\*)</sup> suit, lors de sa prise de fonction, une formation de plusieurs mois en compagnonnage avec une personne plus expérimentée, qui débouche sur une habilitation à la conduite du CSR.

---

## 5. ACTIONS D'INFORMATION DES TIERS

---

### 5.1. Informations des Mairies et organismes publics

Dans le cadre de l'élaboration des SCOT (Schéma de cohérence territoriale) et des PLU (plan local d'urbanisme), les parties prenantes doivent avoir connaissances des risques qui existent sur les territoires concernés, afin d'assurer la prévention des risques et la protection des personnes, sur la base des données fournies par le transporteur.

À chaque ouvrage de transport de gaz naturel sont associées des **servitudes d'utilité publique (SUP)**, instituées par voie d'arrêtés préfectoraux conformément au troisième alinéa l'article L. 555-16 et à l'article R555-30 du code de l'environnement, afin de maîtriser la densification de population au voisinage de celles-ci. Elles correspondent à des zones de dangers au sein desquelles des limitations et interdictions existent en termes d'urbanisation. Les règles définies au code de l'environnement sont les suivantes :

- dans les zones d'effets létaux en cas de phénomène dangereux de référence majorant au sens de l'article R. 555-39 du code de l'environnement, la délivrance d'un permis de construire relatif à un établissement recevant du public susceptible de recevoir plus de 100 personnes ou à un immeuble de grande hauteur, est subordonnée, à la fourniture d'une **analyse de compatibilité** ayant reçu l'**avis favorable du transporteur** ou, en cas d'avis défavorable du transporteur, l'avis favorable du préfet rendu au vu de l'expertise mentionnée au III de l'article R. 555-31 du code de l'environnement ;
- dans les zones d'effets létaux en cas de phénomène dangereux de référence réduit au sens de l'article R. 555-39 du code de l'environnement, l'ouverture ou l'extension d'un établissement recevant du public susceptible de recevoir plus de 300 personnes ou d'un immeuble de grande hauteur est interdite ;
- dans les zones d'effets létaux significatifs en cas de phénomène dangereux de référence réduit au sens de l'article R. 555-39 du code de l'environnement, l'ouverture ou l'extension d'un établissement recevant du public susceptible de recevoir plus de 100 personnes ou d'un immeuble de grande hauteur est interdite.

**Les différentes zones d'effets référencées ci-dessus sont quantifiées dans la partie spécifique de l'étude de dangers.**

Ainsi pour tout projet d'urbanisation ou d'aménagement à proximité d'une canalisation, le maître d'ouvrage doit se rapprocher de GRTgaz afin de soumettre l'analyse de compatibilité de son projet d'aménagement avec l'ouvrage de transport de gaz naturel concerné. Les délais nécessaires pour réaliser la mise en conformité éventuelle des ouvrages de transport de gaz naturel avec l'évolution projetée de l'urbanisation ou de l'environnement sont à prendre en compte par le maître d'ouvrage dans la planification de son projet

## **5.2. Travaux au voisinage de l'ouvrage**

Chaque année, plus de 100 000 dommages sont déplorés lors de travaux effectués au voisinage des 4 millions de kilomètres de réseaux aériens ou souterrains implantés en France.

Ces incidents entraînent des arrêts de chantiers, une interruption des services publics, et des perturbations de la circulation sur les voies publiques.

Afin de réduire significativement les endommagements des réseaux, la réglementation a été profondément révisée courant 2011.

Désormais codifiée dans le code de l'environnement aux articles L.554-1 à L.554-5 et R.554-1 à R.554-38, la réglementation anti-endommagement implique aussi bien les exploitants de réseaux, que les maîtres d'ouvrage (MOA), qui doivent rendre plus sûrs leurs projets à proximité des réseaux, et les exécutants de travaux (Maître d'œuvre : MOE), qui doivent sécuriser leurs chantiers.

### **5.2.1. Déclarations préalables aux projets de travaux et aux travaux**

Concrètement, toute personne envisageant de réaliser des travaux, sur le domaine public comme dans les propriétés privées (y compris pour les travaux de génie rural comme le drainage et le sous-solage), a l'obligation de consulter, depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2012, le **Guichet Unique** des réseaux (télé-service : [www.reseaux-et-canalisation.gouv.fr](http://www.reseaux-et-canalisation.gouv.fr)) ou les **prestataires d'aide déclarés** auprès de l'INERIS ([www.Protys.fr](http://www.Protys.fr), [www.DICT.fr](http://www.DICT.fr), [www.dictservices.fr](http://www.dictservices.fr)) afin de prendre connaissance des noms et

adresses des exploitants de réseaux présents à proximité de son projet, puis de leur adresser une **Déclaration de projet de Travaux (DT)**. Ce guichet unique remplace le dispositif de recensement des réseaux et de leurs exploitants géré avant le 1<sup>er</sup> juillet 2012 par chaque commune.

La Déclaration de projet de Travaux (DT), est un formulaire CERFA envoyé par tout responsable de projet (maître d'ouvrage) aux exploitants de réseaux situés à proximité du chantier qu'il prévoit, en vue de s'assurer de la compatibilité de son projet avec les emplacements des réseaux et de connaître précisément leur localisation.

Les exécutants de travaux doivent également consulter le Guichet Unique des réseaux et adresser aux exploitants s'étant déclarés concernés par le projet une **Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux (DICT)**.

La Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux (DICT) est un formulaire CERFA envoyé par tout exécutant de travaux (entreprise de BTP, particuliers,...) aux exploitants de réseaux situés à proximité du chantier qu'il prévoit, en vue de connaître précisément la localisation des réseaux et d'obtenir des recommandations particulières de sécurité relatives à la présence de ces ouvrages.

La DT - DICT doit être impérativement accompagnée du plan de l'emprise avec ses coordonnées géoréférencées.

Conformément à l'article R.554-26 du Code de l'Environnement, lorsque le nom de GRTgaz est indiqué en réponse à la consultation du Guichet Unique des réseaux, les travaux ne peuvent être entrepris tant que GRTgaz n'a pas, d'une part répondu à la DICT, et d'autre part organisé un rendez-vous physique à l'emplacement du projet d'aménagement. Au cours de ce rendez-vous visite préalable commune, une détection des ouvrages GRTgaz est réalisée, suivi du marquage-piquetage des ouvrages, avec établissement d'un compte-rendu.

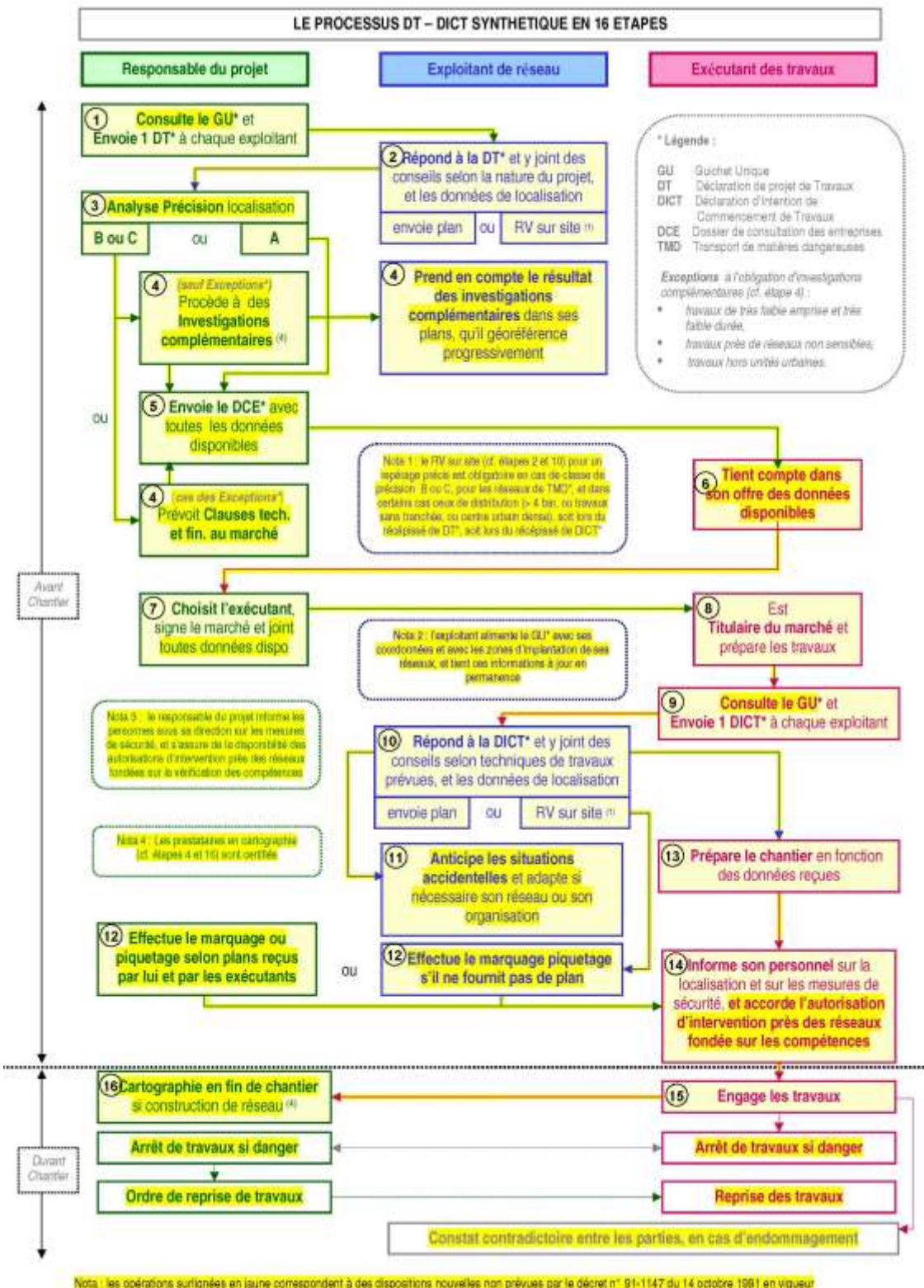
Sauf accord préalable, le démarrage des travaux se fait toujours en présence et sous le contrôle d'un agent de Secteur et fait l'objet d'une formalisation écrite des prescriptions de GRTgaz au travers un compte-rendu de marquage piquetage. Ces prescriptions sont archivées.

L'ensemble de la démarche est synthétisé par le logigramme publié par le MEDDE et repris en Figure n° 14.

Conformément à l'article R. 554-32 du code de l'environnement, certains travaux, justifiés par des raisons de sécurité, de continuité du service public, de sauvegarde des personnes ou des biens et de force majeure, peuvent être réalisés en urgence.

Le commanditaire des travaux doit alors consulter le guichet unique [www.reseaux-et-canalisation.gouv.fr](http://www.reseaux-et-canalisation.gouv.fr) pour prendre connaissance des numéros d'urgence des exploitants de réseaux sensibles et les contacter à ces numéros avant d'intervenir sur site et renseigner le formulaire CERFA « **Avis de travaux urgents** ». En cas de présence d'un réseau GRTgaz à proximité, l'intervention est assujettie à l'autorisation du représentant GRTgaz.

De plus, à chaque découverte d'un chantier en infraction, un courrier est envoyé à la maîtrise d'œuvre et à la maîtrise d'ouvrage du chantier. Cette information est communiquée à la mairie et à la DREAL/DRIEE concernées.



Source MEDDTL – Nov. 2011

Figure n° 14 : Logogramme des procédures relatives aux DT – DICT

### 5.2.2. Guide technique relatif aux travaux à proximité des réseaux

L'article R. 554-29 du Code de l'environnement prévoit l'existence d'un guide élaboré par les professionnels concernés pour préciser les recommandations et prescriptions techniques à appliquer à proximité des ouvrages en service, ainsi que les modalités de leur mise en œuvre. Ces recommandations et prescriptions doivent assurer la conservation et la continuité de service des ouvrages, ainsi que la sauvegarde de la sécurité des personnes et des biens et la protection de l'environnement.

Ce guide à usage obligatoire est un catalogue de recommandations et de prescriptions techniques accessible sur le site du guichet unique des réseaux.

### 5.3. Information / Sensibilisation des tiers

En tant que de besoin, GRTgaz peut être amené à sensibiliser les tiers quant à la présence de canalisation de transport de gaz naturel. Cette action suit les principes suivants :

- les personnes ou organismes à sensibiliser sont ciblées en fonction de la configuration de l'ouvrage. Il peut s'agir :
  - × des mairies, des collectivités locales,
  - × des propriétaires privés (particuliers, agriculteurs, entreprises), des locataires des terrains traversés par la canalisation,
  - × des services de l'état (DDT, gendarmeries, ...),
  - × des distributeurs de gaz et des clients industriels,
  - × des tiers déclarants (Aménageurs, maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre).
- la nature de la sensibilisation peut prendre la forme de visites aux riverains, de courriers personnalisés, de plaquettes et/ou de réunions d'information, .... Elle est adaptée au cas par cas à la configuration de l'ouvrage.
- la fréquence de ces actions de sensibilisation (visites, contacts, ...) est définie par le transporteur en fonction des catégories de public et du type d'action.
- le transporteur définit l'organisation et le contenu des actions de sensibilisation, notamment en termes de documents remis au riverain : ces documents peuvent être un texte réglementaire, une plaquette d'information, un plan, une présentation des numéros d'appel d'urgence du transporteur.

Certaines parties des ouvrages font l'objet, suite aux études de dangers, d'une mesure compensatoire de sécurité dite « information/sensibilisation ». Cette mesure consiste à informer les propriétaires de la présence d'une canalisation et des mesures de sécurité principales à respecter. Elle se concrétise par l'envoi d'un courrier et d'une brochure conformément aux préconisations du guide GESIP 2007/04 Tome 1 – Edition de janvier 2014.

## 6. LE SYSTÈME DE GESTION DE LA SÉCURITÉ

---

Conformément à l'article 22 de l'AMF, chaque transporteur doit disposer d'un Système de Gestion de la Sécurité (SGS), le contenu de celui-ci étant décrit en annexe 8 de l'AMF.

GRTgaz a mis en place un Système de Management Intégré (SMI) qui répond notamment aux exigences du SGS. Il est constitué de l'ensemble des pratiques (écrites ou orales, formalisées ou non) mises en œuvre au quotidien pour assurer le fonctionnement de l'entreprise. Il repose ainsi principalement sur les compétences et le comportement des acteurs internes, les règles édictées pour encadrer certaines activités, et l'appel à la sous-traitance pour des activités très spécialisées.

Dans son fonctionnement, GRTgaz s'appuie sur une organisation géographiquement répartie et sur des métiers dont l'animation consiste notamment à produire la doctrine nécessaire (documents de référence), à s'assurer que les activités sont correctement mises en œuvre en appliquant rigoureusement cette doctrine (audit interne), et à la faire évoluer autant que de besoin suite au retour d'expérience et aux évolutions réglementaires (gestion des modifications).

Le système de management intégré de GRTgaz répond aux différents items du SGS tel que défini par l'annexe 8 de l'AMF :

- 1 - Organisation, formation,
- 2 - Identification et évaluation des risques liés aux phénomènes accidentels,
- 3 - Maîtrise de l'exploitation,
- 4 - Gestion des modifications,
- 5 - Gestion des situations d'urgence,
- 6 - Gestion du retour d'expérience,
- 7 - Suivi spécifique des points singuliers,
- 8 - Contrôle du système de gestion de la sécurité, audits et revues de direction :
  - 8.1. Contrôle du système de gestion de la sécurité,
  - 8.2. Audits,
  - 8.3. Revues de direction.

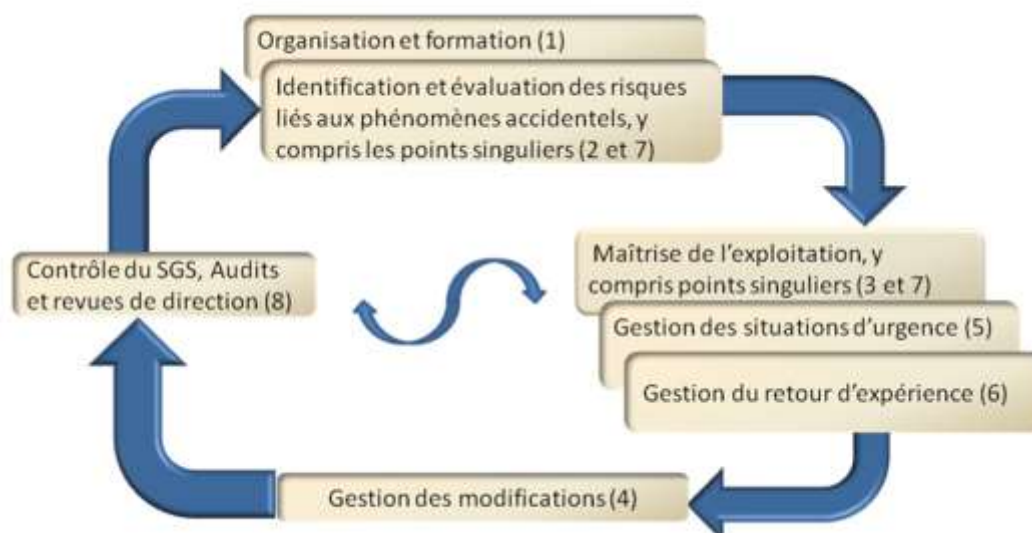


Figure n° 15 : Boucle du Système de Gestion de la Sécurité

Ces items s'intègrent naturellement dans une boucle d'amélioration continue, explicitée Figure n° 15 ; elle vise à identifier les risques (2 et 7), à mettre en place une organisation, des compétences



et des procédures pour les maîtriser (1, 3 et 7), à être capable de réagir en cas de défaillance (5) et d'apprendre de la mise en œuvre (6), à assurer une réalisation rigoureuse des modifications d'ouvrages (4), et à contrôler la bonne mise en œuvre de ces items et de les revoir en tant que de besoin (8).

GRTgaz répond à ces différentes exigences par le biais de son SMI, au travers de l'animation de ses métiers, de l'application rigoureuse de ses documents de référence, et de la formalisation des enregistrements associés.

**-ooOoo-**



## CHAPITRE 4. ANALYSE ET ÉVALUATION DES RISQUES – GÉNÉRALITÉS



## 1. MÉTHODOLOGIE

Les principales étapes de la démarche d'analyse des risques pour l'ouvrage et son application au tracé retenu afin d'identifier les mesures compensatoires complémentaires éventuellement nécessaires sont développées dans le guide méthodologique GESIP pour la réalisation d'une étude de dangers, guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014. Elles sont résumées dans le logigramme suivant :

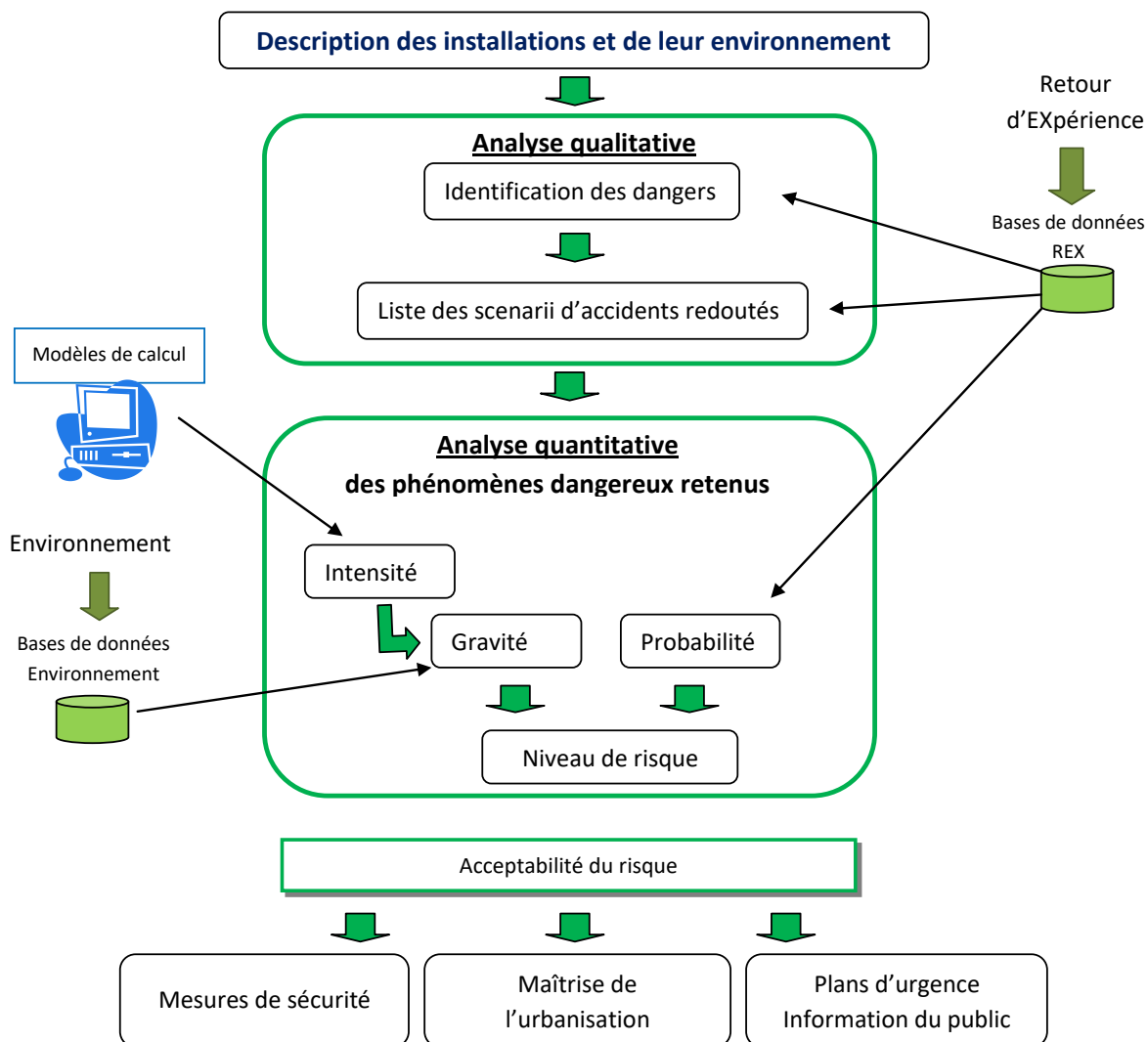


Figure n° 16 : Logigramme de la méthodologie d'analyse des risques

## 2. PRÉSENTATION DU RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR LES INCIDENTS

L'analyse du retour d'expérience permet de dégager des fréquences d'incident représentatives et d'identifier les principales sources de dangers. Elle est fondée sur les données disponibles au niveau national, via la base de données de GRTgaz, ainsi qu'au niveau européen via la base de données EGIG (European Gas Pipeline Incident Data Group).

## 2.1. Présentation des bases de données

### 2.1.1. Bases de données GRTgaz

#### **Canalisations**

Afin de pouvoir réaliser une analyse des incidents, GRTgaz dispose d'une base de données recensant les fuites accidentelles survenues, depuis 1970, sur les canalisations du réseau de transport de gaz naturel qu'il exploite.

Pour le linéaire enterré hors site, toute perte de confinement quelle que soit sa taille doit faire l'objet d'une information de l'autorité de contrôle (DREAL).

À fin 2016, le réseau de GRTgaz représente une longueur de 32 456 km de canalisations et la base de données couvre l'équivalent de 1 170 000 km.an. Cette base de données est le reflet des pratiques de GRTgaz et de la réglementation applicable en France (en matière de déclaration des travaux dans le sous-sol par exemple).

#### **Installations annexes**

Depuis 1988, GRTgaz tient à jour une base de données regroupant tous les incidents survenus sur l'ensemble des installations annexes des canalisations de transport de gaz naturel. Sont concernés par cette base de données, à fin 2016, 10 023 postes en service (sectionnements, coupures, comptage, livraisons et pré-détentes) soit l'équivalent de 250 215 postes.an depuis sa création.

Le recensement des incidents, réalisés par GRTgaz, sur les installations annexes prend en compte ceux répondant au moins à l'un des critères ci-après :

- incendie, rupture d'appareil, dépassement de PMS, interruption de fourniture, accident grave,
- dommages corporels,
- présence de services publics ou de médias.

Les informations rassemblées permettent notamment d'analyser les causes et les conséquences des fuites accidentelles.

Les évènements recensés sur la période 1988-2010 ont été utilisés pour déterminer les fréquences de référence retenues, dans le guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014, pour les installations annexes du réseau de transport de gaz naturel.

À compter de janvier 2013, les critères d'information de l'autorité de contrôle (DREAL / DRIEE) pour les pertes de confinement sur les installations annexes ont été précisés par le BSEI et sont les suivants :

- toute perte de confinement liée à un défaut d'étanchéité (brides, presses étoupes, ...) supérieure à 2,5 mm<sup>2</sup> (définition de la zone ATEX en exploitation sévère pour les gaz inflammables),
- toute perte de confinement quelle que soit sa taille pour les défauts liés à la corrosion ou à un défaut de matériau ou de construction susceptible d'avoir un impact sur l'environnement.

Cette information est faite de manière rapide en cas d'impact sur l'externe, ou dans le cadre du rapport annuel d'exploitation pour les incidents mineurs.

### 2.1.2. Base de données EGIG

GRTgaz participe également au groupe EGIG (European Gas Pipeline Incident Data Group) formé par les principales sociétés européennes de transport de gaz naturel et dont l'objectif est de mettre en commun leur expérience et d'élaborer une base de données européenne recensant les incidents survenus depuis 1970 sur leurs différents réseaux de transport de gaz naturel.

Ce groupe comprend NATIONAL GRID (Grande-Bretagne), FLUXYS (Belgique), GASUNIE (Pays-Bas), Open Grid Europe (Allemagne), SNAM RETE GAS (Italie), DONG (Danemark), ENAGAS (Espagne), SWISSGAS (Suisse), GRTgaz (France), GASUM OY (Finlande), NET4GAS (République Tchèque), REN (Portugal), SWEDEGAS (Suède), Gas Networks Ireland (Irlande), Gasconnect (Autriche), TIGF (France) et EUSTREAM (Slovaquie).

Afin d'obtenir une cohérence entre les bases de données de chacune des compagnies gazières et la base de données commune, des critères de recensement ont été définis comme suit :

- incident avec fuite de gaz,
- incident survenu sur des canalisations de pression maximale en service supérieure à 15 bar,
- canalisation en acier,
- incident survenu à l'extérieur des installations gazières clôturées.

L'EGIG établit, tous les 3 ans, un rapport présentant l'analyse de cette base de données. Le dernier rapport EGIG (réf. 14.R.0403) paru en février 2015 (disponible sur Internet à l'adresse <http://www.egig.eu/>) présente l'analyse de cette base de données européenne sur la période 1970-2013. À titre indicatif, le réseau EGIG représentait environ 143 000 km en 2013, et en cumulé pour la période 1970-2013, 4 000 000 km.an.

## 2.2. Analyse des incidents

### 2.2.1. Canalisations

#### 2.2.1.a) Classification des causes d'incidents

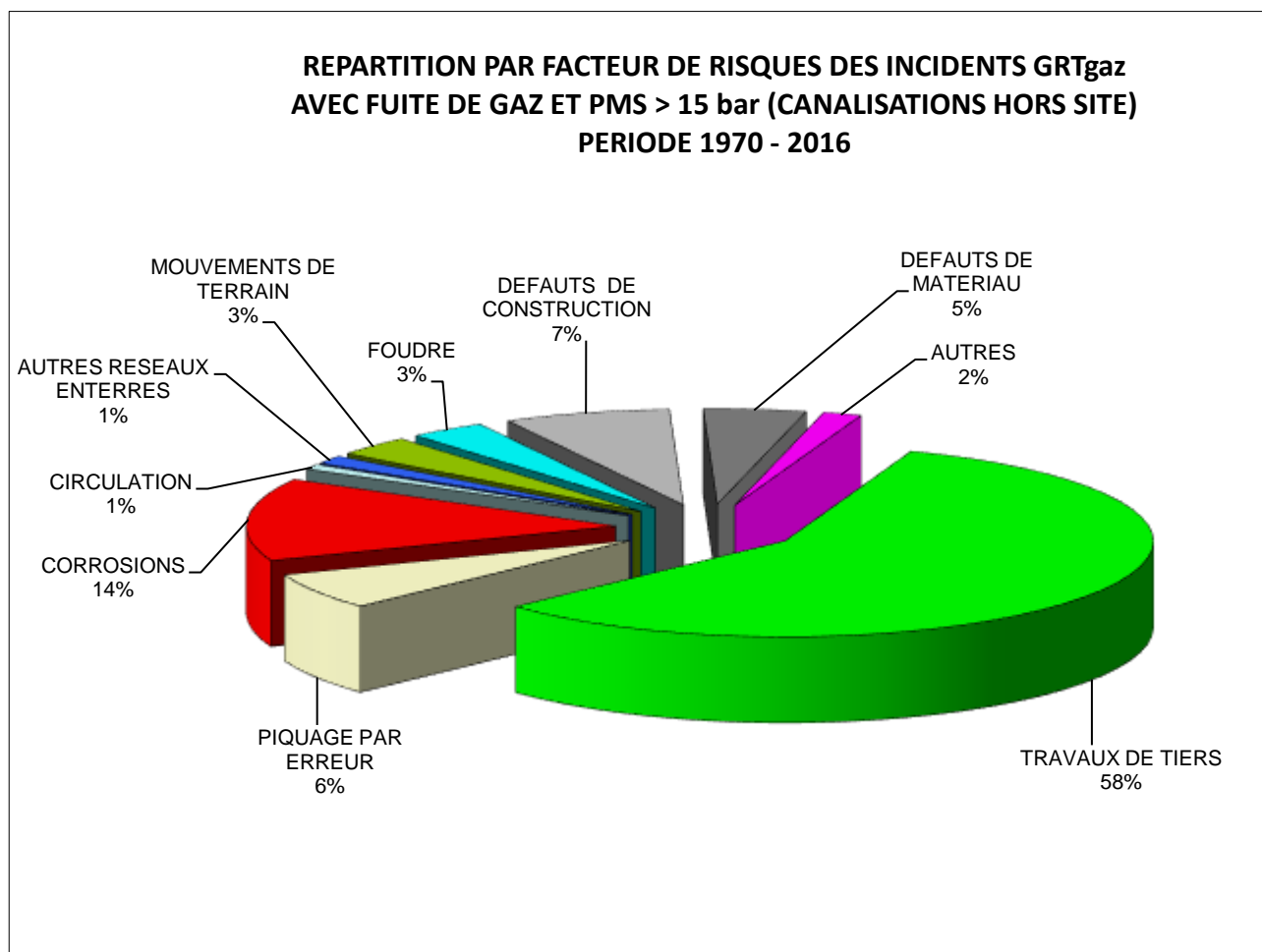
Bien qu'il y ait un certain nombre de causes d'incidents, il n'y a qu'un seul type d'événement redouté : la fuite ou perte de confinement de la canalisation. Les principales sources d'incidents sont liées au fluide, au tube, à l'environnement et aux interactions fluide-tube et environnement-tube.

Dans le cas des canalisations de transport de gaz, les sources de dangers les plus significatives sont celles relatives à une agression par un engin de travaux publics, à une corrosion ou une fissuration, ou à un mouvement de terrain.

Principaux facteur de risques	Base de données GRTgaz (1970-2016)
Agressions Externes (travaux de tiers, piquage, circulation)	64,6 %
Défaut de Construction/Matériaux	11,5 %
Corrosion	14,0 %
Phénomènes Naturels (Mouvements de terrain/Foudre/Érosion)	9,0 %

**Tableau n° 8 : Répartition des principaux facteurs de risques toutes tailles de brèches confondues**

La figure suivante montre la grande proportion d'incidents dus aux travaux de tiers (58%).



**Figure n° 17 : Répartition par facteur de risques des incidents GRTgaz avec fuite de gaz (canalisations hors site) - Période 1970 - 2016**

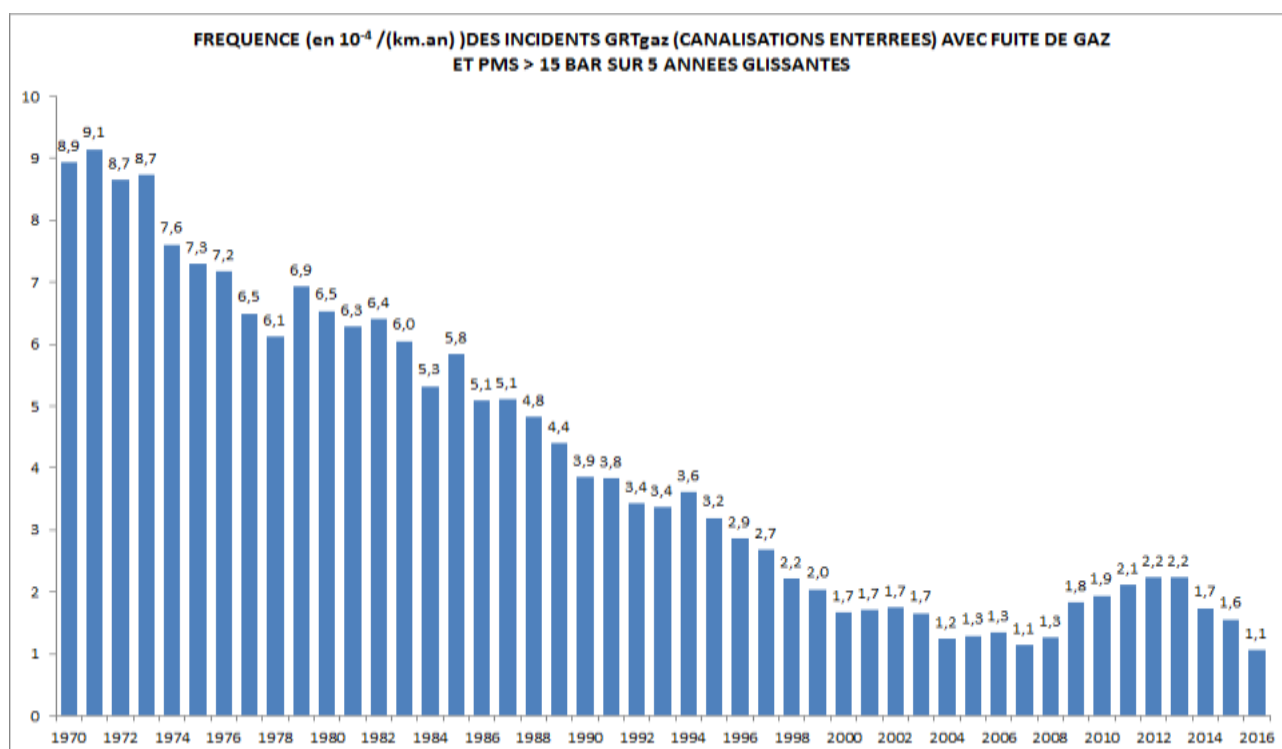
Des mesures de prévention sont déployées afin de réduire le nombre d'incidents dus aux travaux tiers. Elles consistent principalement à :

- informer largement les tiers concernés des dispositions réglementaires relatives aux travaux à proximité des canalisations et plus récemment l'entrée en vigueur de la réglementation anti-endommagement des ouvrages. L'effort d'information s'est concrétisé par l'augmentation sensible du nombre de Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux (D.I.C.T.<sup>(\*)</sup>) reçues chaque année par les Exploitants du réseau de GRTgaz et par la nouvelle démarche mise en œuvre via le guichet unique.
- surveiller le tracé des canalisations pour découvrir d'éventuels chantiers qui n'auraient pas été déclarés à GRTgaz.



2.2.1.b) Évolution de la fréquence d'incidents d'après la base de données GRTgaz

Depuis 1970 (date de création de la base de données de GRTgaz), l'évolution de la fréquence d'occurrence des incidents est suivie, notamment, en calculant la fréquence sur 5 années glissantes<sup>18</sup>. Le résultat obtenu est exprimé en nombre d'incidents par kilomètre et par an. Cette analyse par tranche de 5 années glissantes permet d'évaluer une fréquence d'incidents représentative par période et de mettre en évidence le bénéfice des mesures prises visant à réduire les agressions sur les ouvrages. À contrario, si le nombre de fuites sur une année est supérieur à la moyenne, alors la fréquence d'incident sera élevée durant la période de prise en compte de cette année atypique.



**Figure n° 18 : Évolution de la fréquence des incidents (en 10<sup>-4</sup> / (km.an)) sur le réseau de transport de GRTgaz sur 5 années glissantes**

La Figure n° 18 montre que la fréquence d'incident avec fuite, toutes tailles de brèche confondues, sur 5 années glissantes a été divisée par un facteur 8 environ depuis 1970.

À partir de 2009, le profil de la courbe des fréquences sur 5 années glissante amorce une remontée due à un nombre d'incidents plus élevé mais de plus faible importance en termes de taille de brèche. En effet, le réseau GRTgaz a été le siège de 11 incidents avec fuite en 2009, 9 en 2011 et 8 en 2012; nombre plus élevé que celui des années 2008 et 2010 (respectivement 4 et 5). Le nombre est plus important, mais il s'agit majoritairement de petites brèches, plus de 90% sur la période 2009-2013 contre 60% sur la période 2003-2008. Cette taille de brèche est actuellement retenue pour quantifier le risque résiduel des canalisations de transport de gaz naturel.

<sup>18</sup> Cette fréquence est obtenue en divisant le nombre d'incidents survenus sur les 5 années consécutives, par le cumul des longueurs de canalisations exposées aux risques sur ces 5 années.

Depuis 2014, la fréquence d'incidents a de nouveau diminué, cela est dû au faible nombre d'incidents survenus en 2014 (3 fuite de faible importance), 2015 (2 fuites) et 2016 (1 fuite), mais également au fait que l'année 2009 ne vient plus peser dans le calcul.

Ainsi la fréquence spécifique à GRTgaz, sur la période 2011-2016, est du même ordre de grandeur (légèrement inférieure) que celle constatée en moyenne chez les principales sociétés gazières européennes et publiée par l'EGIG dans son dernier rapport sur la période 2009-2013 :  $1,6 \cdot 10^{-4}/(\text{km.an})$ .

Il est important de noter que conformément au guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014, l'étude de dangers utilise des fréquences de fuite différentes, calculées sur la période 1970-1990, et dont les valeurs sont bien supérieures (cf. Chapitre 5 § 3.2.1).

Le tableau suivant donne la répartition des fréquences, sur l'ensemble de la période d'observation 1970 – 2016, en fonction de la taille de brèche par classe de diamètre de canalisation.

Réseau de transport de GRTgaz		Fréquence des incidents sur la période 1970 – 2016 (en $10^{-4}/(\text{km.an})$ )			
Diamètre nominal	Exposition en km.an	PETITE BRECHE $\phi \leq 12 \text{ mm}$	BRECHE MOYENNE $12 < \phi \leq 70 \text{ mm}$	RUPTURE $\phi > 70 \text{ mm}$	Toutes brèches confondues
DN < 200	506 277	2,75	1,56	0,69	<b>5,00</b>
$200 \leq \text{DN} < 400$	312 478	1,18	0,45	0,54	<b>2,18</b>
$400 \leq \text{DN} < 600$	178 307	0,95	0,06	0,39	<b>1,40</b>
DN $\geq 600$	173 514	0,52	0,06	0,06	<b>0,63</b>
Tous DN confondus	1 170 576	<b>1,73</b>	<b>0,81</b>	<b>0,51</b>	<b>3,05</b>

**Tableau n° 9 : Fréquence des incidents sur le réseau de transport de GRTgaz sur la période 1970- 2016**

Globalement depuis 1970, le nombre de fuites est en diminution, la fréquence sur l'ensemble de la période chute pour l'ensemble des incidents de 49 % par rapport à fin 2010 et cela est encore plus net pour les ruptures (- 59 %) et les brèches moyennes (- 65 %).

Faute d'une longueur de réseau représentative pour les canalisations en polyéthylène utilisées sur le réseau de transport, GRTgaz retient les statistiques d'incident du réseau acier pour ce type de canalisation selon les modalités précisées au Chapitre 5 § 3.2.1.

#### 2.2.1.c) Fréquence d'inflammation

Compte tenu du nombre restreint de rejets de gaz enflammés sur le réseau français, GRTgaz a retenu depuis de nombreuses années les données issues de la base EGIG, regroupant les incidents des transporteurs européens de gaz naturel (1 309 incidents sur la période 1970-2013 pour une longueur totale de réseau de 143 000 km), tant pour les canalisations enterrées que pour les traversées aériennes.

### 2.2.2. Installations annexes

Depuis 1988, hors acte de malveillance ou acte volontaire, le retour d'expérience sur les installations annexes du réseau de transport de GRTgaz ne fait mention d' :

- aucun dommage corporel à des tiers directement imputable à un rejet de gaz naturel,
- aucun dommage à des biens dans l'environnement,
- aucune rupture de canalisation ou tuyauterie auxiliaire,
- aucun effet domino thermique interne ou externe.

#### 2.2.2.a) Répartitions des incidents d'après la base de données GRTgaz

La Figure n° 19 donne la répartition de l'ensemble des incidents sur les installations annexes intéressants à suivre du point de vue de l'évaluation du risque tant qualitatif que quantitatif.

**Nota :** de nombreuses mises à l'atmosphère volontaires en présence de l'exploitant lors d'opérations de maintenance ne sont pas répertoriées dans la base de données car elles ne répondent pas à l'un des critères de recensement exposés au § 2.1.1.

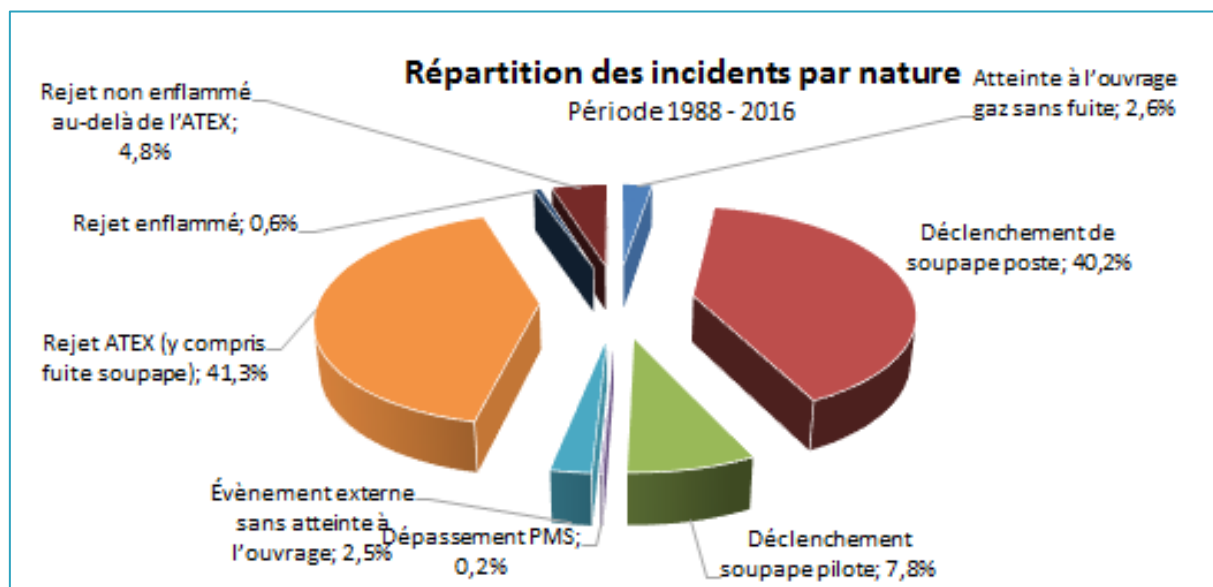


Figure n° 19 : Répartition des incidents par nature sur les installations annexes - Période 1988 – 2016

Du point de vue de l'évaluation quantitative du risque, l'analyse est focalisée uniquement sur les pertes de confinement (de l'ordre de 94% des incidents recensés) qui se divisent en quatre groupes :

- les fuites ATEX (environ 41 % incidents),
- les fuites allant au-delà de l'ATEX (environ 5 % des incidents)
- les rejets associés aux soupapes (de l'ordre de 48 % des incidents),
- et de façon très marginale, 8 cas d'inflammation (0,6 % des incidents) dont un survenu lors d'une mise à l'évent volontaire.

À noter que suite à l'incident évoqué ci-dessus et survenu à la fin des années 1980 (cf. Chapitre 4 - § 3.5.4), les procédures d'exploitation ont été adaptées et ce type d'incident ne s'est plus reproduit.

### 2.2.2.b) Classification des causes d'incidents

#### ☐ **Rejet associé aux soupapes**

La mise à l'évent associée à l'ouverture de la soupape d'un poste est un fonctionnement normal pour protéger le réseau aval contre la surpression tout en assurant la continuité d'alimentation de celui-ci. Dans son fonctionnement normal le clapet de la soupape s'ouvre puis se ferme dès que la pression est redescendue en dessous du seuil de déclenchement.

Néanmoins, il peut arriver qu'en cas de défaillance, soit de la soupape soit d'un autre organe du poste, le clapet se referme partiellement ou reste ouvert. Les causes identifiées, pour ces non fermetures, sont réparties selon les trois catégories suivantes :

- Causes principales (44 %) :
  - × défaillance au niveau du régulateur (31 %) : dérive du point de consigne, fuite interne du régulateur,
  - × présence d'impureté au niveau du siège du régulateur (13 %) : hydrates, glace, etc...
- Causes secondaires (31 %) :
  - × défaillance intrinsèque de la soupape (23 %) : dérive du point de consigne, non fermeture après ouverture due à la présence d'impuretés,
  - × incident à l'aval du poste (9 %) : soit un arrêt brutal de la consommation par fermeture d'une vanne ou déclenchement d'une sécurité sur l'installation du client, soit un incident sur le réseau GRDF,
- Causes marginales ou indéterminées (~ 22 %) :
  - × liée à l'intervention humaine (~ 5 %) : mauvais réglage, opération de prise d'un poste en bipasse,
  - × défaillances d'autres organes du poste (~ 4 %) : non fermeture de la VS (< 3 %), fuite interne du bipasse du poste, ...
  - × causes indéterminées (~ 13 %).

Ces évènements font l'objet d'une analyse à la suite de laquelle des mesures correctives sont mises en œuvre (réparation ou remplacement/adaptation des matériels en cas de problème récurrent). Il s'agit par exemple du nettoyage des impuretés sur le siège du régulateur voire le remplacement de la pièce incriminée, de la mise en place d'un circuit de pilotage adapté aux arrêts brusques de débit (accélérateur), de la mise en place d'un réchauffage du circuit de pilotage lors de la détection d'hydrates, etc.

#### ☐ **Les fuites**

Contrairement au tracé courant, où les fuites sont facilement quantifiables au regard de la géométrie de la brèche, sur les installations annexes les fuites sont rapportées de manière qualitative. En effet sur ces installations, compte tenu de la multiplicité des équipements (tube, accessoires, assemblage, ...) et de la nature même des fuites, celles-ci sont, dans de nombreux cas, difficilement quantifiables par une mesure directe.

À noter qu'aucune rupture de canalisation, quelle que soit sa localisation, n'est survenue sur les installations annexes du réseau de transport.

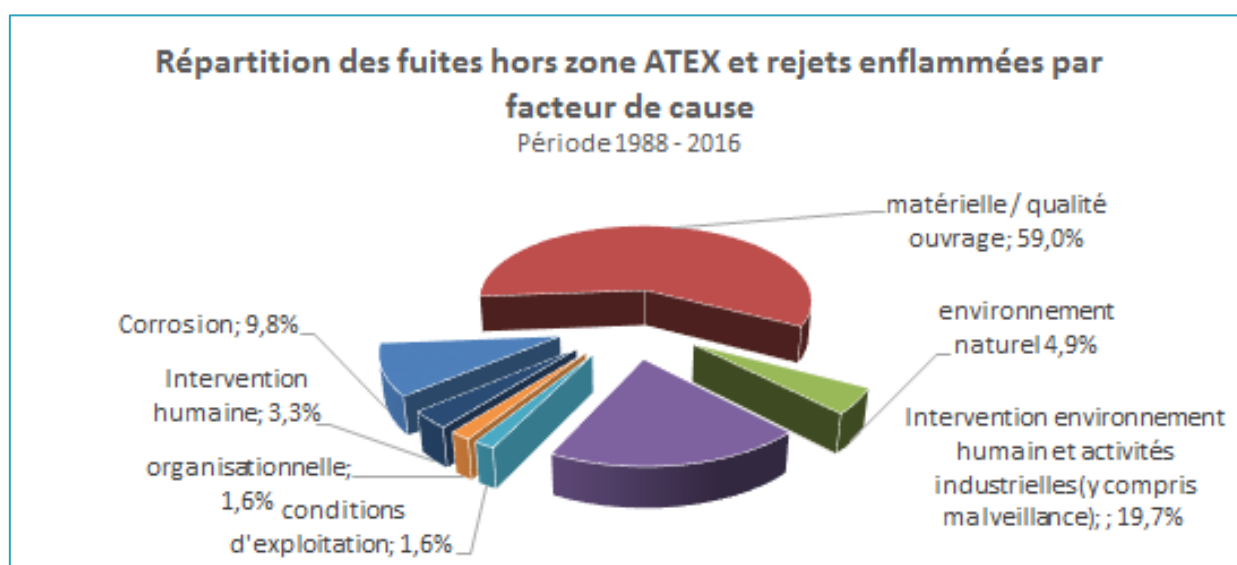
De la même façon, aucune fuite n'a été recensée sur une partie complètement enterrée d'une installation annexe. Les interfaces sol/air sont traitées comme de l'aérien.

Les fuites recensées, sur la période 1988-2016, peuvent être classées en trois catégories :

- les fuites génériques pouvant se produire en n'importe quel point de l'installation (88 %),
- les fuites consécutives à la rupture de piquage ou tubing (~ 6 %),
- les fuites liées au défaut d'étanchéité du clapet des soupapes de sécurité (~ 6 %).

La dernière catégorie de fuite est couverte par le zonage ATEX (Atmosphère Explosive) et non reprise spécifiquement dans la suite de l'analyse.

La Figure n° 20 donne la répartition des fuites au-delà de la zone ATEX et rejets enflammés par facteur de risque.



**Figure n° 20 : Répartition des fuites hors zone ATEX et rejets enflammés sur les installations annexes par facteur de risque - Période 1988 – 2016**

L'analyse de ces données permet de définir le type et les tailles de fuite pertinents à prendre en compte pour ces installations.

Pour les parties aériennes des installations annexes, sont donc retenues :

- la perforation limitée couvrant les fuites allant jusqu'à 5 mm,
- la rupture de piquage d'instrumentation de  $DN \leq 25$ ,
- le rejet de gaz aux événements de soupape.

Le retour d'expérience montre que les fuites qui se sont produites sont toutes inférieures à 5 mm hors rupture de piquage, selon les pratiques d'exploitation et de maintenance actuelles. Une perte de confinement, même très faible, sur ces installations est facilement détectable par le sifflement généré par la fuite. En effet une fuite même infime (0,5 mm) à une pression de 67,7 barg, sera perceptible à 10 mètres du poste et le même niveau de pression acoustique pour une brèche de 5 mm sera atteint à plusieurs dizaines de mètres du poste.

### 2.2.2.c) Fréquences associées aux pertes de confinement

Les fréquences retenues dans l'approche quantitative sont présentées au Chapitre 6 - § 4.2.1.

### 2.2.2.d) Fréquence d'inflammation

L'analyse du retour d'expérience de GRTgaz sur la période 1988 - 2016 montre qu'en cas de fuite sur les installations annexes implantées sur site clos **aucune inflammation n'a été observée** à l'exception des actes de malveillance qui ont créé la source d'inflammation (4 cas avec inflammation).

Les probabilités d'inflammation retenues pour l'évaluation du risque sont présentées au Chapitre 6 - § 4.2.2.

## 2.3. Bilan des accidents constatés sur les réseaux de transport

Le retour d'expérience des accidents majeurs constatés sur des canalisations de transport de gaz en France (6 décès dans 4 accidents, au cours des 45 dernières années pour l'ensemble des 32 456 km de canalisations de GRTgaz) et en Europe (notamment l'accident de Ghislenghien en Belgique le 30 juillet 2004 qui avait provoqué le décès de 28 personnes) montre que malgré les précautions prises, des incidents et accidents restent encore possibles, même si ces derniers sont extrêmement rares.

Les accidents en France et en Europe constatés sur des ouvrages de transport de gaz enterrés mettent en évidence que le facteur de risque le plus important est l'agression externe.

Pour les installations annexes du réseau de transport de GRTgaz, en dehors d'actes volontaires et de malveillances, le retour d'expérience depuis 1988 ne fait mention :

- d'aucun dommage corporel à des tiers directement imputable à un rejet de gaz naturel,
- d'aucun dommage à des biens dans l'environnement,
- d'aucune rupture de canalisation ou tuyauterie auxiliaire,
- d'aucun effet domino thermique interne ou externe.

Les inflammations recensées et les dommages aux tiers sont associés à des actes de malveillance ou à des actes volontaires ou pouvant être assimilés à des actes volontaires (suicide, par exemple).

## 3. IDENTIFICATION DES SOURCES DE DANGERS ET MESURES COMPENSATOIRES ASSOCIÉES

L'objectif de cette analyse est de recenser, de la manière la plus exhaustive possible, les sources de dangers qui pourraient entraîner un accident, qu'elles aient déjà conduit à un accident ou non. Seuls sont retenus les événements physiquement probables à l'exclusion de ceux résultant d'actes de malveillance.

Les accidents survenant lors de la phase construction de l'ouvrage (cf. § 3.1) sont des accidents typiques du secteur bâtiment - travaux publics tels que chute, écrasement, accident de circulation, etc.

Les sources de dangers correspondant aux accidents survenant au moment de la mise en service ou pendant l'exploitation de l'ouvrage et pouvant conduire à une fuite de gaz à l'atmosphère ont été scindées en différentes classes :

- 
- dangers liés à la qualité de l'ouvrage (cf. § 3.3),
  - dangers liés à l'interaction fluide ouvrage (cf. § 3.4),
  - dangers liés au fluide transporté (cf. § 3.4),
  - dangers liés à l'environnement naturel (cf. § 3.5),
  - dangers liés à l'environnement humain/industriel (cf. § 3.6),
  - dangers liés à l'exploitation même (cf. § 3.7).

Pour chacun des dangers présentés ou subis par l'ouvrage (linéaire de canalisation et installations annexes), l'analyse consiste à :

- décrire les dangers en évaluant l'importance du phénomène,
- présenter les incidents recensés à partir de la base de données de GRTgaz,
- exposer les mesures prises en phase de conception, de construction, de mise en service et d'exploitation afin de minimiser la probabilité d'occurrence et les conséquences associées au danger encouru.

**Nota** : les éléments présentés dans les paragraphes suivants concernent les canalisations en acier et leurs installations annexes en acier également.

Les ouvrages en polyéthylène sont quant à eux exclusivement constitués de canalisations enterrées (le facteur de risque lié au vieillissement du PE sous l'effet des rayons UV n'est donc pas retenu). Le retour d'expérience sur les ouvrages en polyéthylène est limité au sein de GRTgaz compte tenu du faible linéaire posé (deux incidents avec fuite recensés : agression due à des travaux de tiers en janvier 2011 à Saint-Chabrais (23) et mars 2012 à Châteaudun (27)). Le facteur de risque principal identifié est l'agression par travaux tiers tout comme pour les canalisations en acier. C'est la raison pour laquelle GRTgaz a retenu d'utiliser les fréquences génériques relatives au réseau en acier pour ce type de canalisation.

Les ouvrages en polyéthylène sont exploités par GRDF, dans le cadre d'une relation contractuelle, y compris pour la surveillance vis-à-vis des travaux de tiers.

### **3.1. Sources de dangers propres à la phase construction**

Les accidents susceptibles de se produire durant la phase chantier sont typiques du secteur bâtiment - travaux publics : accidents de circulation, accidents de manutention, chutes dans la fouille, etc ...

Conformément à la loi n° 93-1418 du 31 décembre 1993, GRTgaz nomme un coordonnateur sécurité tant au cours de la phase de conception, d'étude et d'élaboration du projet, que pendant la phase de réalisation de l'ouvrage.

Au stade de la conception, le coordonnateur élabore en particulier le Plan Général de Coordination en matière de Sécurité et de Protection de la Santé (P.G.C.S.P.S.). Ce plan analyse et définit l'ensemble des mesures propres à prévenir les risques dus à l'interférence des activités des différents intervenants sur le chantier ou à la succession de leurs activités lorsqu'une intervention laisse subsister après son achèvement des risques pour les autres entreprises intervenantes.

Par ailleurs, après étude et analyse des risques inhérents à leurs activités, chaque entreprise travaillant sur le chantier précise dans son Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (P.P.S.P.S.) toutes les mesures mises en œuvre pour limiter voire supprimer les risques.

Les principaux dangers ainsi que les exemples de dispositions préventives associées sont présentés ci-après.

### 3.1.1. Sources de dangers pour le personnel impliqué dans la phase chantier

Type de dangers	Exemples de dispositions prises
Chute de plain-pied	la signalisation des obstacles, l'inspection journalière des zones de travail, la collecte et l'évacuation des gravats.
Chute de hauteur	le balisage des fouilles et la mise en place de garde-corps si nécessaire, l'arrimage des échelles et le contrôle de l'état des planchers.
Effondrement, éboulement, chute d'objet	le talutage, l'étalement ou le blindage des fouilles, la fixation correcte des charges ou éléments de canalisation, la mise en place de filets ou de dispositifs antichute.
Utilisation des machines et outillages	la formation du personnel, le respect des règles de sécurité et limites d'utilisation du matériel définies par le fournisseur, la mise en place de protections collectives adaptées aux situations de travaux (écrans, périmètre de sécurité, ...).
Électrisation ou électrocution	le respect des consignes de manœuvre, de mise à la terre et de condamnation et des démarches initiales (DICT <sup>(*)</sup> ...), la vérification périodique des installations par un organisme agréé, le port des équipements individuels (lunettes, gants isolants ad hoc, casque...).
Utilisation de sources radioactives	l'assurance que les agents concernés sont titulaires du certificat ad hoc (CAMARI), le respect des procédures de mise en œuvre, le balisage des zones et l'information des éventuels visiteurs du danger.

**Tableau n° 10 : Sources de dangers pour le personnel impliqué dans la phase chantier**

### 3.1.2. Sources de dangers pour les riverains dans la phase chantier

Durant toute la durée du chantier une attention toute particulière est accordée à la sécurité des riverains pour laquelle des dispositions spécifiques seront prises (c'est le cas en particulier à proximité d'habitations ou d'établissements recevant du public). Parmi ces dispositions on peut citer :

- la signalisation et le balisage permanent de toutes les zones de travail interdites au public (accès, fouilles, aires de stockage et de conditionnement...);
- la mise en place de passages protégés pour piétons et véhicules si la circulation ne peut être totalement interdite à proximité des zones de travail (déviations, garde-corps...);
- l'information des riverains sur les principaux risques encourus (affiches, pancartes,...).

### 3.1.3. Sources de dangers présentés par l'éventuel voisinage de canalisations existantes dans la phase chantier

#### 3.1.3.a) Canalisations GRTgaz

Les pôles d'exploitation responsables des canalisations existantes sont destinataires des DT/DICT<sup>(\*)</sup> avant le début des travaux. Pour les zones où leurs ouvrages sont concernés par les travaux, ceux-



ci ne peuvent débuter avant que les exploitants n'aient balisé les canalisations existantes. De plus, toute opération à proximité immédiate d'un ouvrage en gaz est suivie par un exploitant de GRTgaz. Afin de réduire le risque d'agression (poinçonnement, ovalisation, déchirement de l'acier) des canalisations existantes par des engins de chantier, les mesures préventives suivantes sont appliquées en phase travaux.

#### **Lors des croisements**

Au niveau de ces croisements, la mise en place d'un platelage permet aux engins de chantier de circuler au-dessus des tubes sans risque d'écrasement pour ceux-ci.

L'enfilage des tubes sous les canalisations existantes fait l'objet d'un mode opératoire fourni par l'Entrepreneur et validé par GRTgaz.

#### **En parallélisme**

La pose en parallélisme est effectuée à une distance de sécurité minimale d'axe à axe. Les canalisations existantes sont repérées par un balisage spécifique mis en place par l'Entrepreneur conformément aux renseignements fournis par les exploitants de GRTgaz.

Dans ces zones, les déblais de la tranchée sont déposés au-dessus de la canalisation existante, ce qui assure une protection de la conduite et permet aussi d'éviter le roulement des engins sur celle-ci.

#### 3.1.3.a) Canalisations tierces

Dans le cas où GRTgaz est amené à poser une canalisation au voisinage d'une canalisation tierce, alors les prescriptions du transporteur concerné sont prises en compte.

## **3.2. Sources de dangers associées au raccordement et à la mise en service d'un nouvel ouvrage**

### 3.2.1. Travaux de raccordement des ouvrages

Les travaux de raccordement des ouvrages sont réalisés soit sur des ouvrages hors gaz soit sur des ouvrages en gaz en fonction de la nature des travaux et de leur localisation sur le réseau de transport.

#### **Ouvrage hors gaz**

Le raccordement de nouveaux ouvrages ou de déviations au réseau existant nécessite la réalisation des opérations suivantes :

- isolement du tronçon de canalisation concerné par fermeture des robinets de sectionnement amont et aval et vidange du tronçon à l'aide d'événements (\*) ou réinjection du gaz dans le réseau en utilisant la technique dite "gas booster",
- découpe et dépose de la portion de canalisation ou d'ouvrage dont les travaux nécessitent l'élimination,
- mise en place et soudage du nouvel ouvrage ou de la déviation.

Le danger principal lors de la phase de vidange du tronçon de canalisation est l'inflammation du panache de gaz à l'atmosphère avec ses conséquences thermiques pour l'environnement. Pendant la phase de mise en place et / ou de soudage, les dangers sont essentiellement l'évacuation non contrôlée d'une quantité de gaz dans l'atmosphère avec danger d'inflammation et les défauts de construction liés à la qualité de réalisation des soudures de rabouillage.

#### ☐ Opération en charge

Pour des raisons de continuité d'alimentation, il peut être mis en œuvre des techniques particulières, appelées opération en charge, visant à effectuer un branchement sur la canalisation ou à remplacer un tronçon défectueux sans interrompre le transit et sans annuler la pression interne du gaz.

Une opération en charge est une opération qui permet une intervention sur une canalisation en gaz et en pression, il s'agit principalement d'une opération de soudage, suivie d'une opération de perçage, voire d'une obturation en charge (dite opération stopple).

Deux technologies de soudage sont possibles, soit le soudage d'une tubulure avec une selle de renfort (simple ou à encerclement), soit le soudage d'un té d'encerclement.

Ensuite, les opérations sont le perçage (dans tous les cas), éventuellement l'obturation et la pose d'un bouchon intérieur sur une bride spécifique (dite bride LOR) ou sur un piquage d'évent (dit piquage TOR).

La technique utilisée consiste à effectuer un ou plusieurs perçages en charge qui découpent l'enveloppe du tube en pression pour permettre la réalisation d'une déviation (branchement ou bipasse (\*)) du flux de gaz.

Les principaux dangers sont ceux liés :

- à l'affaiblissement du tube par l'enlèvement d'une rondelle qui pourrait aboutir à la rupture du tube,
- au travail sous pression qui peut laisser échapper du gaz à l'atmosphère par manque d'étanchéité de l'appareillage utilisé.

#### 3.2.1.a) Retour d'expérience

##### ☐ Canalisations enterrées

Un accident (agent GRTgaz blessé) est enregistré dans le retour d'expérience. Il s'agit d'une inflammation lors d'une opération de raccordement en 2007.

Une quinzaine de fuites de type petite brèche de taille inférieure ou égale à 10 mm ont été enregistrées depuis 1970 sur le réseau de GRTgaz lors d'interventions en charge.

### ❑ Installations annexes

Un accident (agents GRTgaz blessés) est enregistré dans le retour d'expérience. Il s'agit d'une inflammation au moment de la mise en air d'un tronçon de la canalisation lors d'une opération de raccordement en 2008.

#### 3.2.1.b) Mesures spécifiques

### ❑ Interventions pour travaux de raccordement

Afin de limiter au maximum les dangers, les principales dispositions sont :

- l'implantation des événements dans des zones éloignées de toute source d'énergie susceptible de provoquer l'inflammation du panache libéré,
- la réalisation de la totalité des opérations de préparation et de surveillance du réseau par des agents de GRTgaz suivant les termes d'une consigne écrite précisant toutes les dispositions spécifiques prises en matière de sécurité,
- la décompression du tronçon de canalisation à la plus basse pression possible compte tenu de la situation du réseau environnant,
- la réalisation et le contrôle des soudures de raccordement par des agents habilités suivant des modes opératoires validés par les experts de GRTgaz en matière de soudage.

### ❑ Interventions en charge

#### ◆ Dispositions prises à la conception

L'affaiblissement du tube par le découpage d'une rondelle est compensé par la pose préalable d'une « selle de renfort », pièce de renfort soudée sur le tube et qui vient compenser les effets de la découpe pratiquée dans le tube et dont les dimensions sont calculées pour que le tube découpé puisse résister à toutes les contraintes auxquelles il est soumis.

#### ◆ Dispositions prises en cours d'intervention

Une intervention de cette nature est régie par un mode opératoire spécifique. Ce mode opératoire est décrit dans la procédure PRO-0200 « OPC - Opérations en charge, pose de tés, manchons soudés et piquages sur les ouvrages de transport » que GRTgaz est autorisé à appliquer par la décision ministérielle BSEI n°09-103 du 2 juillet 2009 relative à certaines opérations en charge réalisées par GRTgaz.

Les opérateurs font partie d'équipes spécialisées de GRTgaz dont l'expérience garantit la bonne utilisation du matériel qui est de plus conçu pour éviter toute fuite à l'atmosphère.

En outre, et par surcroît de précaution, cette opération se déroule généralement à une pression bien inférieure à la P.M.S des équipements. Des consignes de sécurité particulières sont de plus établies et diffusées à l'ensemble des intervenants.

### 3.2.2. Mise en gaz / mise en service

Ces opérations sont gérées à travers la consigne de travaux et manœuvres dédiée à l'ouvrage.

### **3.3. Dangers liés à la qualité de l'ouvrage**

#### **3.3.1. Fragilité**

La fragilité d'un matériau se définit comme l'impossibilité de se déformer de façon appréciable sans provoquer sa rupture. Un matériau est fragile de par sa fabrication ou sa mise en œuvre ou bien est rendu fragile par des conditions particulières d'emploi. Un ouvrage réalisé avec un matériau ayant un comportement fragile présente un risque de rupture soudaine.

##### **3.3.1.a) Retour d'expérience**

###### **Canalisations enterrées**

Aucune fuite à l'atmosphère due à la fragilité n'a été constatée, depuis 1970, sur le réseau de GRTgaz.

###### **Installations annexes**

Aucun incident n'est recensé pour cette cause sur les installations annexes depuis 1988.

##### **3.3.1.b) Principales mesures associées**

Les mesures préventives contre le phénomène de fragilisation concernent les phases d'élaboration et de mise en œuvre de l'acier. Les spécifications techniques de GRTgaz relatives aux aciers utilisés pour la construction des canalisations (tubes et appareillages des installations annexes) et à leur mise en œuvre prennent en compte les points suivants :

- la limitation du taux de carbone et d'impuretés (soufre, phosphore, azote) car ces éléments sont fragilisants,
- l'emploi d'éléments d'addition (niobium, titane, vanadium), qui améliorent la résistance du matériau,
- des contrôles non destructifs<sup>(\*)</sup> permettant de détecter les défauts géométriques de surface qui pourraient favoriser le comportement fragile du matériau,
- l'opération de soudage des tubes réalisée selon un mode opératoire préalablement qualifié par GRTgaz pour lequel la vitesse de refroidissement du métal est contrôlée (un refroidissement trop rapide favorise la fragilisation),
- la résistance au phénomène de froid généré par la détente du gaz pour les matériaux en aval d'un poste de détente,
- les produits d'apport pour la réalisation de la soudure choisis pour ne pas introduire d'élément fragilisant. En particulier, la teneur en hydrogène des produits d'apport est contrôlée afin de ne pas favoriser la fragilisation à froid par l'hydrogène.

En cas de fuite de petites dimensions, le froid généré par la détente du gaz pourrait avoir pour effet de fragiliser l'acier à proximité de la fuite. La question peut donc se poser de savoir si une fuite de taille réduite ne serait pas ainsi susceptible d'évoluer par fragilisation vers une rupture complète de la canalisation.

L'analyse du retour d'expérience de GRTgaz ou de l'EGIG ne fait apparaître aucun cas d'évolution d'une petite brèche vers une rupture complète de la canalisation.

En particulier, une étude a été réalisée sur les 13 incidents (dont 2 ruptures complètes) survenus sur des canalisations de PMS supérieure à 70 bar recensés dans la base de données EGIG sur la période 1970 - 2013. Cette étude montre que pour les deux ruptures, la longueur des défauts initiaux (provoqués par des engins de travaux publics ayant endommagé la canalisation) était nettement supérieure à la longueur critique, calculée par les modèles théoriques, au-delà de laquelle la rupture complète est inévitable. À l'inverse, les longueurs des défauts ayant conduit à des fuites de dimensions réduites étaient inférieures aux longueurs critiques calculées. Cela indique donc que pour les pressions courantes des réseaux de transport (jusqu'à une PMS de l'ordre de 100 bar), la fragilisation due au froid n'est pas un facteur déterminant pour l'évolution d'un défaut de dimensions limitées vers la rupture complète.

### 3.3.2. Fatigue

Un ouvrage soumis à des efforts variables liés à des fluctuations de pression au cours du temps peut subir un phénomène de fatigue en présence d'un défaut qui dépend de la nature du matériau, des conditions de mise en œuvre et des conditions d'utilisation. Le phénomène de fatigue entraîne un endommagement progressif de l'ouvrage, en présence d'un défaut, par fissuration, suivi à terme d'une rupture.

#### 3.3.2.a) Retour d'expérience

##### **Canalisations enterrées**

Trois ruptures occasionnées par ce phénomène ont été constatées depuis 1970, sur le réseau de GRTgaz.

Dans les trois cas, la cause initiale était une agression extérieure de la canalisation suite à des travaux de tiers survenue plusieurs mois auparavant. Ces agressions ont créé des blessures superficielles de la canalisation qui par fatigue ont provoqué la rupture de la canalisation.

##### **Installations annexes**

Plusieurs incidents suite à fatigue (de l'ordre de 5% des occurrences) sont recensés pour les installations annexes, en particulier sur les postes de livraison et de détente.

Cette fatigue s'apparente généralement à des défauts d'assemblage ou d'étanchéité. Ceux-ci sont localisés sur les équipements et ont conduit à des fuites de taille limitée, inférieures à 5 mm.

#### 3.3.2.b) Principales mesures associées

##### **Dispositions constructives**

Lors de la construction, des mesures préventives pour améliorer la tenue à l'endommagement progressif de l'ouvrage sont prises à plusieurs niveaux :

- lors de la fabrication, les éléments d'alliage augmentent la limite d'endurance de l'acier et la texture laminée des tubes l'augmente dans le sens du laminage. Les contrôles non destructifs<sup>(\*)</sup> et les critères d'acceptation des défauts associés limitent les défauts plans et de surfaces (amorces du processus de fissuration) ;

- lors de l'homologation des usines de fabrication, les essais de fatigue par pression alternée, suivis d'essais d'éclatement, assurent la tenue du tube aux sollicitations ;
- avant l'application du revêtement externe, le décapage mécanique (sablage, grenailage) induit dans le métal des contraintes résiduelles de compression qui limitent l'apparition de fissuration ;
- lors des opérations de soudage sur chantier, le métal d'apport utilisé a une limite d'endurance supérieure à celle du métal des tubes : les soudures n'induisent pas d'affaiblissement local. Les critères d'acceptation des défauts lors des contrôles des soudures sont très stricts quant aux surépaisseurs et irrégularités de surface car ces types de défaut favorisent l'apparition de fissuration.

#### ☐ Dispositions prises en exploitation

Les sollicitations des ouvrages en service présentent les variations en amplitude et fréquence suivantes :

- des sollicitations fréquentes, mais d'amplitude suffisamment faible (environ 20 bar) pour être inférieure à la limite d'endurance et ne pas réduire la durée de vie ;
- des sollicitations d'amplitude plus élevée (de la pression atmosphérique à la PMS<sup>(\*)</sup>) mais de fréquence faible, voire très faible (sollicitations transitoires lors de mise hors pression pour travaux par exemple).

Conformément au code ARD (Analyse et Réparation des Défauts), l'aptitude au service des canalisations a été définie en considérant conjointement la tenue mécanique de celles-ci à l'éclatement et à la fatigue. La sollicitation en fatigue retenue est assimilée à un chargement forfaitaire (4/7 PMS (aspiration compresseurs) - PMS (refoulement compresseurs) et 30 000 cycles de sollicitation) représentant une durée d'exploitation d'environ 80 ans à raison d'un cycle/jour.

Ces sollicitations des ouvrages ne nécessitent pas de prendre des dispositions particulières en exploitation. Cependant si des défauts sont détectés à l'issue de l'inspection, leur acceptabilité en l'état est examinée sur le respect conjoint de la condition de résistance à l'éclatement et à la fatigue, la sollicitation réaliste pouvant être utilisée dans la mesure où elle est connue. Dans certains cas particuliers (traitement de défauts temporairement acceptables par exemple), le contrôle de l'amplitude de la variation de pression peut être occasionnellement réalisé par le biais de systèmes de pré-détente ou d'isolement de parties d'ouvrages maillés.

#### 3.3.3. Défaut de matériau / Défaillance matériel

Les tubes et autres appareillages qui constituent l'ouvrage sont fabriqués en usine. Comme toute production industrielle, ils peuvent présenter des défauts et notamment le non-respect des spécifications techniques (composition, caractéristiques mécaniques, caractéristiques dimensionnelles, ...).

Le non-respect des spécifications techniques risque d'affaiblir l'ouvrage notamment en diminuant sa résistance à la pression. À terme, cela peut conduire à un éclatement de la canalisation.

### 3.3.3.a) Retour d'expérience

#### **Canalisations enterrées**

Une quinzaine de petites brèches (trou de diamètre compris entre 0 et 12 mm) dues à un défaut de matériaux ou défaillance matériel ont été constatées depuis 1970 sur le réseau de GRTgaz.

#### **Installations annexes**

Plusieurs incidents suite à défaut matériau (14 soit 11 % des incidents avec fuite) et suite à défaillance matérielle (47 soit 36 % des incidents avec fuite) sont recensés pour les installations annexes. Ceux-ci sont localisés essentiellement sur les équipements et ont conduit à des fuites limitées, inférieures à 5 mm.

### 3.3.3.b) Principales mesures associées

#### **Qualification des matériels**

Depuis plus de 25 ans, GRTgaz a mis en place une procédure de qualification des matériels soumis à la pression (tubes et leur revêtement, robinets, vannes de sécurité, régulateurs, soupapes, raccords isolants, compteurs, etc.) utilisés pour la construction de ses ouvrages. Cette procédure, permettant de s'assurer que le fournisseur a les capacités nécessaires pour fournir un produit répondant aux spécifications techniques imposées par GRTgaz, comprend :

- la constitution d'un dossier technique de référence (description détaillée du matériel proposé),
- une visite technique sur les lieux de fabrication afin d'évaluer l'outil de production,
- des essais en laboratoire sur des produits fabriqués par le fournisseur,
- une évaluation des dispositions prises par le fournisseur en matière d'assurance de la qualité.

Au vu de l'ensemble de ces éléments, GRTgaz prononce ou non la qualification du matériel.

#### **Essais et contrôles**

La qualification d'un matériel ne dispense pas son fournisseur d'effectuer les essais et contrôles réguliers sur sa production. Différents essais sont réalisés, en cours de fabrication et sur des produits finis afin de s'assurer que les produits répondent aux spécifications techniques.

### 3.3.4. Défaut de construction

Tout comme la fabrication des tubes, leur soudage bout à bout sur chantier est une opération industrielle qui peut présenter des imperfections dans sa réalisation.

Une soudure incorrecte peut être le siège de contraintes mécaniques excessives dans l'acier risquant de créer une fissure qui peut entraîner la rupture de la canalisation.

Le même phénomène de concentration de contraintes mécaniques dans l'acier peut s'observer en cas de défaut de supportage d'ouvrage.

#### 3.3.4.a) Retour d'expérience

##### ☐ **Canalisations enterrées**

Aucune rupture due à un défaut de construction n'a été constatée sur le réseau GRTgaz depuis 1970. Toutefois, une rupture due à un défaut de soudure a été enregistrée sur une canalisation de diamètre DN 250, posée en 1950 selon la technique du « slip-joint » (technique qui n'est plus présente sur l'ensemble des installations en service).

20 petites brèches (diamètre compris entre 0 et 12 mm) et une brèche moyenne dues à un défaut de construction ont été constatées depuis 1970 sur le réseau de GRTgaz dont plus de 80 % au niveau des soudures.

##### ☐ **Installations annexes**

Sur les installations annexes, ces défauts sont principalement localisés au niveau des soudures, ils n'ont conduit qu'à des fuites limitées (9 fuites soit 7 % des incidents avec fuites). Trois de ces fuites étaient localisées au niveau de piquage. Les conséquences de ces incidents qui n'ont pas fait l'objet d'inflammation sont restées limitées à l'enceinte de l'installation.

#### 3.3.4.b) Principales mesures associées

GRTgaz a une politique incitative pour que les entreprises développent une démarche d'Assurance Qualité. Des mesures complémentaires sont prises à la construction pour éviter les défauts de construction :

- appel à des entreprises spécialisées,
- respect de spécifications, des règles de l'art et de la réglementation,
- choix de matériaux adaptés au fluide sous pression,
- contrôle de la fabrication,
- suivi du chantier,
- soudure :
  - × qualification des soudeurs et mode opératoire qualifié,
  - × contrôles visuels et radiographiques avec critères stricts,
  - × traçabilité du soudage par l'élaboration d'un carnet de soudures pour le suivi.
- Contrôle non-destructif,
- Épreuve hydraulique, épreuve de résistance et d'étanchéité,
- Utilisation de matériaux de remblaiement adaptés.

Concernant plus particulièrement les cas de ruptures dues à un défaut de conception des supports d'évent à rejet déporté, ces incidents ont fait l'objet d'analyse, et de modifications des recommandations techniques de conceptions correspondantes.

#### 3.3.5. Résistance à la pression

De façon à pouvoir transporter des quantités importantes de gaz dans un volume réduit, le gaz est comprimé à des pressions qui sont qualifiées de moyennes dans le domaine industriel.



La pression maximale en service (PMS<sup>(\*)</sup>) est variable suivant les ouvrages. Elle est en général, pour une canalisation de transport, de 67,7 bar (75 % environ du réseau), 80 bar, 85 bar voire 94 bar.

Si la canalisation ou un ouvrage annexe n'est pas capable de résister à la pression à laquelle le gaz est transporté, une rupture avec perte de confinement du gaz est possible. La pression interne engendre des contraintes dont le niveau doit être inférieur aux contraintes admissibles par l'ouvrage.

#### 3.3.5.a) Retour d'expérience

##### **Canalisations enterrées**

Aucune fuite due à une mauvaise résistance à la pression n'a été constatée depuis 1970 sur le réseau de GRTgaz.

##### **Installations annexes**

Aucun incident lié à cette cause n'est recensé sur les installations annexes.

#### 3.3.5.b) Principales mesures associées

##### **Dispositions prises à la conception**

Les ouvrages sont conçus pour résister à des pressions supérieures à la Pression Maximale en Service. Ainsi un coefficient de sécurité est appliqué sur l'épaisseur de l'acier. Ce coefficient, qui est l'inverse du rapport entre la contrainte circonférentielle, due à la pression interne maximale du gaz, et la limite d'élasticité minimale à 0,5 % de l'acier constituant la canalisation, est d'autant plus élevé que la densité d'urbanisation alentour est forte : il varie entre 1,37 pour une canalisation de coefficient de calcul A (cf. article 2 de l'AMF), et 2,5 pour une canalisation de coefficient de calcul C.

Par ailleurs, les ouvrages font l'objet d'épreuves :

- pression d'essai des tubes en usine,
- pression d'épreuve hydraulique de l'ouvrage sur site.

##### **Dispositions prises à la construction**

L'ensemble de l'ouvrage, éventuellement découpé en tronçons, doit supporter, avant sa mise en service, une épreuve hydraulique dont la pression est supérieure à la Pression Maximale en Service. Cette épreuve permet de calculer la pression maximale de construction de l'ouvrage (PMC). Le détail est fourni en Annexe n° 3.

Pour une section de canalisation composée de tubes ayant déjà fait l'objet d'épreuve individuelle en usine, la pression d'épreuve hydraulique sur site sera calculée à  $PMS / 0,833$  (120 % de la PMS).

### **3.4. Dangers liés à l'interaction fluide – ouvrage**

#### 3.4.1. Corrosion interne

Le gaz naturel contient du sulfure d'hydrogène<sup>(\*)</sup> (H<sub>2</sub>S) en très faible proportion qui est corrosif s'il est associé à de l'eau à l'état liquide. Le principal risque est alors la corrosion interne des parois des tubes ou des appareils de réseau qui peut aboutir dans les cas extrêmes à une fuite de gaz.

Le gaz naturel transporté sur le réseau GRTgaz étant exempt de composés corrosifs (gaz carbonique, ou hydrogène sulfuré), les seuls effets de corrosion interne possible dans les canalisations sont des corrosions de nature électrochimique.

Ce type de corrosion nécessite le dépôt ou la formation sur les parois de la canalisation d'un milieu aqueux apte à promouvoir des réactions électrochimiques. C'est donc la possibilité de formation d'un milieu aqueux en paroi qui va déterminer la possibilité ou non d'avoir une corrosion ou en cas de corrosion déjà existante le risque que cette corrosion soit évolutive.

Conformément à l'arrêté du 28 janvier 1981, le point de rosée du gaz naturel dans les canalisations de transport doit être inférieur à  $-5\text{ °C}$  à la pression maximale en service, sans que la valeur de cette pression soit précisée. Pour le gaz naturel transporté sur son réseau GRTgaz impose un point de rosée inférieur à  $-5\text{ °C}$  pour une pression maximale en service de 80 bar. Cela correspond à une teneur en eau maximale de  $46\text{ mg/m}^3(\text{n})$  (selon la corrélation Gergwater utilisée conformément à la norme EN ISO 18453).

Cette teneur en eau permet de calculer la température critique de formation d'un milieu aqueux ou d'hydrates en fonction de la PMS de la canalisation.

PMS (bar)	16	25	40	50	67,7	80	94
Tc (°C)	- 22	- 17	- 12	- 10	- 7	- 5	- 3

**Tableau n° 11 : Température critique de formation des hydrates en fonction de la pression**

Les canalisations posées avant 1954 (susceptibles d'avoir transporté du gaz manufacturé corrosif) représentent une longueur cumulée de 128 km environ soit 0,4 % du réseau de GRTgaz et ont toutes des PMS inférieures ou égales à 67,7 bar. Cela signifie donc que pour que la formation d'un milieu aqueux ou d'hydrates soit possible, la température de paroi des tubes doit être inférieure à  $-7\text{ °C}$ . Les canalisations étant enterrées avec plus de 60 cm de couverture, la température du sol ne permet pas d'atteindre de telles températures de paroi. De plus, en-dessous de  $-7\text{ °C}$ , l'eau ne serait plus en phase liquide ce qui rendrait la corrosion électrochimique impossible.

Les caractéristiques du gaz naturel transporté depuis 1981 dans le réseau de GRTgaz rendent donc impossible la corrosion interne dans les canalisations, ce qui justifie de considérer les corrosions internes éventuelles des canalisations posées avant 1954 comme non évolutives.

#### 3.4.1.a) Retour d'expérience

##### **Canalisations enterrées**

Trois petites brèches (diamètre compris entre 0 et 12 mm) et une rupture dues à ce phénomène ont été constatées entre 1970 et 1978 sur le réseau de GRTgaz. Tous ces cas concernaient des canalisations anciennes, posées avant 1954, de faible diamètre, ayant transporté du gaz manufacturé corrosif et exploitées sous faible pression. Ces incidents ayant eu lieu avant 1981 et l'imposition d'un point de rosée à  $-5\text{ °C}$ , il est possible que les canalisations aient subi une corrosion électrochimique.

##### **Installations annexes**

Sur les installations annexes, aucun incident lié à cette cause n'a été recensé et aucun gaz corrosif ne transite sur le réseau de GRTgaz.

### 3.4.1.b) Principales mesures associées

#### **Traitement en amont du réseau de transport**

Le fonctionnement d'un stockage souterrain en nappe aquifère ou en cavité saline est tel que lorsque le gaz est soutiré du stockage, sa teneur en eau est élevée. Chaque stockage dispose donc de dispositifs de déshydratation du gaz afin de ramener la teneur en eau à une valeur telle que le point de rosée<sup>(\*)</sup> soit inférieur à - 5°C.

De plus, pour les stockages souterrains en nappe aquifère dont la structure géologique est telle qu'ils sont susceptibles d'être producteurs de sulfure d'hydrogène<sup>(\*)</sup> (H<sub>2</sub>S), des unités de désulfuration sont implantées afin de réduire les teneurs en H<sub>2</sub>S du gaz soutiré et d'obtenir des teneurs conformes à l'arrêté du 28 janvier 1981 garantissant un gaz non corrosif (cf. Chapitre 3 - § 1.2).

#### **Dispositions prises à l'équipement**

Des dispositifs de contrôle de la qualité du gaz installés aux points frontières et aux points sources régionaux permettent le dosage en continu de sulfure d'hydrogène<sup>(\*)</sup>, du soufre total<sup>(\*)</sup> et de l'humidité du gaz.

#### **Dispositions prises en exploitation**

Les résultats des mesures effectuées par les différents dispositifs de contrôle de la qualité du gaz sont retransmis par le système de télésurveillance au Centre de Surveillance Régional. En cas de dépassement du seuil autorisé, le système de télésurveillance génère une alarme. Le CSR analyse l'incident et alerte l'exploitant afin de déterminer en commun les solutions les mieux adaptées et de les mettre en application : mise en service d'unités de déshydratation ou de désulfuration qui ne le seraient pas encore, arrêt momentané du transit du gaz, réinjection du gaz dans le stockage souterrain dont il est issu.

Les canalisations, ayant transporté par le passé du gaz corrosif, ne sont généralement pas inspectables par piston instrumenté à cause des critères précités (faible diamètre et faible pression). Le maintien de l'intégrité de ces canalisations est réalisé, par l'évaluation de l'efficacité de la protection cathodique et par des campagnes de Mesures Electriques de Surface (MES). Les modalités pratiques de surveillance de ces canalisations sont présentées dans le PSM qui les concerne.

### 3.4.2. Abrasion due à la présence de particules de rouille

Le gaz naturel ne contient pas naturellement de corps étrangers solides. Cependant, à la suite des épreuves hydrauliques, une oxydation superficielle des parois se produit et des poussières d'oxydes de fer peuvent s'en détacher sous l'action du frottement du gaz. Ce phénomène d'oxydation est stoppé dès lors que la canalisation est mise en service.

Le danger dû à la présence de poussières dans le gaz est lié à l'abrasion de certains organes du réseau de transport tels que les robinets ou les détentes où la vitesse d'écoulement est particulièrement rapide. Cette abrasion peut ainsi entraîner une mauvaise étanchéité des robinets, ce qui ne permettrait plus d'isoler deux tronçons, et la défaillance de certains équipements (régulateur, soupape, compteur, actionneur pneumatique, ...).

### 3.4.2.a) Retour d'expérience

#### **Canalisations enterrées**

Aucune fuite à l'atmosphère due à ce phénomène n'a été constatée depuis 1970, sur le réseau de GRTgaz.

#### **Installations annexes**

Aucun incident lié à cette cause n'a été recensé sur les installations annexes.

### 3.4.2.b) Principales mesures associées

Le gaz naturel est filtré régulièrement dans les diverses installations du réseau de transport (stations de compression, points de livraison). De cette façon, les organes sensibles sont protégés contre l'abrasion.

Les filtres utilisés sur les installations du réseau de transport couvrent toute la gamme des impuretés susceptibles d'être présentes dans le gaz naturel. Ce sont des filtres à cyclones, des filtres à chicanes ou des filtres à cartouches filtrantes (cartouches en papier ou en feutre). Dans son programme de maintenance des ouvrages, l'exploitant prévoit l'inspection régulière des filtres, ceux-ci étant par ailleurs instrumentés pour détecter au plus tôt tout colmatage. Si l'exploitant constate un taux de colmatage anormal, outre une recherche de la cause de ce colmatage, il programme un nettoyage intérieur des canalisations.

Pour les canalisations importantes conçues pour être inspectées ou nettoyées par piston, un nettoyage peut être effectué par ramonage à l'aide d'un piston racleur propulsé par le gaz. Ce piston décroche les poussières résiduelles superficielles. Il est introduit dans la canalisation par un poste de coupure et récupéré avec les poussières au poste de coupure situé à l'autre extrémité de la canalisation.

## **3.5. Dangers liés à l'environnement naturel**

Cette analyse vise à recenser l'ensemble des risques susceptibles d'être engendrés par le comportement en situation normale ou anormale de l'environnement naturel proche des ouvrages de transport de gaz. Pour chacun des dangers, les mesures de conception, d'équipement et d'exploitation visant à réduire la probabilité d'occurrence et les conséquences sont exposées.

### 3.5.1. Dangers liés à la végétation

Certains types de plantation dense peuvent gêner l'intervention des équipes d'exploitation en cas d'urgence ; c'est le risque principal induit par la végétation.

Un second risque est la détérioration potentielle par des racines profondes du revêtement des tubes entraînant une corrosion externe de ceux-ci et dans le cas extrême un risque de fuite. Ce danger n'est pas significatif pour les canalisations récentes qui sont revêtues de polyéthylène.

### 3.5.1.a) Retour d'expérience

#### **Canalisations enterrées**

Aucune fuite n'a pu être imputée à la présence de végétation à proximité d'une canalisation depuis 1970 sur le réseau de GRTgaz.

#### **Installations annexes**

Aucune fuite n'a pu être imputée à la présence de végétation à proximité d'installations annexes du réseau de GRTgaz depuis 1988.

### 3.5.1.b) Principales mesures associées

Les mesures préventives ne concernent que les plantations d'arbres, les autres plantations étant autorisées au-dessus de la canalisation.

Les plantations sur site sont réalisées en dehors des zones procédé gaz.

#### **Dispositions constructives**

Conformément aux dispositions de l'article R.555-34, seule la plantation d'arbustes et d'arbres ne dépassant pas 2,70 m de hauteur est autorisée dans la bande de servitude forte<sup>(\*)</sup>.

#### **Dispositions prises en exploitation**

Selon l'article 5 de l'AMF, les exploitants veillent à ce qu'à l'intérieur de la bande de servitude forte<sup>(\*)</sup> aucune activité ni aucun obstacle ne risquent de compromettre l'intégrité de la canalisation. Un débroussaillage est effectué en fonction des besoins.

## 3.5.2. Dangers liés à la nature du sous-sol

Deux types de terrain peuvent présenter un danger pour la canalisation :

#### **Les terrains rocheux**

Le risque est l'endommagement des tubes par enfoncement, en présence de fond de fouille mal égalisé, ou bien la détérioration du revêtement par arrachage ou poinçonnement. L'enfoncement peut conduire, par phénomène de fatigue, à la réduction de la durée de vie de la canalisation. La détérioration du revêtement diminue l'efficacité de la protection cathodique et peut, dans certaines circonstances, aboutir à une corrosion externe du tube.

#### **Les terrains humides ou marécageux**

La canalisation pourrait être amenée à remonter sous l'effet de la poussée d'Archimède. Cette remontée réduit la hauteur de couverture du sol et augmente donc les risques d'atteinte par des engins susceptibles de travailler au-dessus. Ce phénomène augmente également le niveau de contraintes auquel est soumise la canalisation. Le second danger est celui de la corrosion de la canalisation du fait de la forte humidité du terrain.

### 3.5.2.a) Retour d'expérience

#### **Canalisations enterrées**

Les terrains rocheux ou marécageux ont été directement ou indirectement à l'origine depuis 1970 sur le réseau de GRTgaz, d'une demi-douzaine de fuites d'importance limitée inférieures à 10 mm.

#### **Installations annexes**

Aucune fuite due à la nature du sous-sol n'a été constatée depuis 1988 sur les installations annexes du réseau de GRTgaz.

### 3.5.2.b) Principales mesures associées

#### **Dispositions constructives**

En présence de **terrain rocheux**, des protections de la canalisation sont systématiquement mises en œuvre (sable, protection mécanique par un revêtement géotextile isolant et imputrescible) sous le contrôle de GRTgaz. Celles-ci protègent à la fois le tube et le revêtement des atteintes des rochers. Les gros blocs sont retirés et un concassage peut être effectué. Lorsque le concassage n'est pas effectué, le remblai est réalisé avec des matériaux d'apport et non pas avec les matériaux dégagés lors de la réalisation de la tranchée.

En **terrain humide ou marécageux**, lorsque le poids du remblai ne suffit pas à compenser la poussée d'Archimède, des cavaliers de lestage sont mis en place sur la canalisation de façon à dépasser d'au moins 10 % la poussée d'Archimède. La nécessité de mettre en place ces systèmes est évaluée lors de l'ouverture de la tranchée à la pose de la canalisation. Parfois, selon la nature des terrains et la longueur de la zone à stabiliser, des systèmes d'ancrage ou de lestage continu peuvent être également utilisés à la place des cavaliers de lestage. La canalisation est ainsi stabilisée à la profondeur souhaitée. Le revêtement externe associé au dispositif de protection cathodique mis en place permet d'éviter les réactions de corrosion de la canalisation, même dans les terrains très humides.

Une fois la canalisation posée et avant mise en exploitation, le passage de pistons gabarit à l'intérieur de la canalisation permet de vérifier l'absence d'enfoncement notable.

#### **Dispositions prises en exploitation**

Les éventuels défauts de revêtement sont compensés par la protection cathodique.

### 3.5.3. Dangers liés à la corrosion externe

Le phénomène de corrosion résulte de l'attaque du métal sous l'action du milieu environnant (air, solutions aqueuses, sols). La corrosion, qui a pour conséquence de diminuer progressivement l'épaisseur de la canalisation et donc de favoriser une fuite ultérieure de gaz, peut prendre deux formes :

- une attaque généralisée et uniforme se traduisant par la présence de produits de corrosion à la surface du métal (rouille) et par une perte de métal uniformément répartie,
- une attaque localisée qui peut néanmoins entraîner des dommages au matériau.

### 3.5.3.a) Retour d'expérience

#### **Canalisations enterrées et traversées aériennes<sup>(\*)</sup>**

Une quarantaine de fuites mineures (trou de diamètre inférieur à 12 mm) dues à ce phénomène a été constatée depuis 1970 sur le réseau de GRTgaz. La grande majorité de ces fuites (plus de 80%) était limitée à des petites brèches de faibles dimensions (diamètre inférieur à 5 mm).

#### **Installations annexes**

Une vingtaine de fuites dues à ce phénomène ont été constatées depuis 1988 sur les installations annexes du réseau de GRTgaz (soit 8 % des occurrences). La majorité de ces fuites était limitée à des petites brèches de faibles dimensions, toutes largement inférieures à 12 mm et plus de 80 % inférieures à 5 mm. Les conséquences de ces incidents qui n'ont pas fait l'objet d'inflammation sont restées limitées à l'enceinte de l'installation.

### 3.5.3.b) Principales mesures associées

#### **Dispositions prises à la conception**

La lutte contre la corrosion consiste à prévenir les circonstances favorables au développement d'une réaction de corrosion. Pour cela, GRTgaz met en place 2 types de protections complémentaires (cf. Chapitre 3 - § 3.4) :

- protection dite « passive » de la canalisation constituée d'un revêtement extérieur adhérent étanche et électriquement isolant. Les revêtements utilisés ont subi avec succès la procédure de qualification mise au point par GRTgaz.
- protection dite « active » de la canalisation enterrée par la mise en place d'un système de protection cathodique (soutirages de courant ou anodes sacrificielles) complété, le cas échéant par des systèmes de limitation des influences électriques (drainage pour les courants vagabonds par exemple). En cas de dégradation du revêtement, la protection cathodique a pour but d'abaisser le potentiel électrochimique<sup>(\*)</sup> de la surface du métal en contact avec le milieu environnant à une valeur inférieure au seuil de corrosion<sup>(\*)</sup> correspondant à une vitesse de corrosion inférieure à 0,01 mm/an (norme NF EN 12954<sup>19</sup>).

Dans le cas particulier d'une installation aérienne, la lutte contre la corrosion est assurée par l'utilisation de tube sur-épais, par un sablage ainsi qu'une métallisation suivie d'une peinture.

#### **Dispositions constructives**

---

<sup>19</sup> Norme NF EN 12954 : « Protection cathodique des structures métalliques enterrées ou immergées - Principes généraux et application pour les canalisations », avril 2001

Les équipes de chantier veillent au maintien de la qualité du revêtement par des contrôles réalisés au cours des différentes phases de construction de la canalisation (transport, stockage et pose) comme le passage sur l'ensemble de l'ouvrage du "balai électrique".

La protection cathodique est mise en place à l'issue d'une étude qui définit à la fois les dispositifs permettant d'assurer le niveau de protection et de limiter les influences électriques conformément à la norme EN 12954. Les influences électriques sont les courants vagabonds continus (issus des voies de chemin de fer électrifiées en courant continu, de métro, de RER, de tramway) et les courants alternatifs provenant du voisinage des lignes électriques (aériennes ou souterraines).

Les tuyauteries aériennes ou en fosse bénéficient d'une protection passive par application de couches de peinture antirouille et de peinture glycérophthalique. Les canalisations sont isolées au passage des parois des fosses par la pose de protection entre la canalisation et la paroi.

#### □ Dispositions prises en exploitation

L'évaluation de la protection cathodique permet de s'assurer que le système de protection maintient le potentiel de la canalisation à un niveau protecteur vis à vis de la corrosion externe (cf. Chapitre 3 - § 3.4). Une évaluation générale est effectuée tous les ans et une évaluation complète et détaillée de l'efficacité est réalisée tous les 3 ans selon la norme NF EN 12954. Ces évaluations sont complémentaires aux contrôles de l'état du revêtement (Guide GESIP « Surveillance, maintenance et réparations des canalisations de transport - Tome II Modes opératoires » Rapport 2007/05 édition de janvier 2014). Dans le cas de difficultés particulières, le problème est confié à une unité spécialisée de GRTgaz reconnue comme un expert international dans ce domaine.

Pour les ouvrages aériens, un entretien adapté des peintures est réalisé et les points particuliers (entrées et sorties de sol, calorifugeage, supportage) sont examinés aux fréquences décrites dans le PSM de l'ouvrage.

### 3.5.4. Dangers liés à la foudre

La foudre est un phénomène d'amorçage électrique qui peut se produire à partir de masses conductrices.

De plus la foudre peut être source d'inflammation en cas de rejet de gaz à l'atmosphère.

#### 3.5.4.a) Les effets liés à la foudre

Les principaux effets de la foudre ayant une incidence sur les installations industrielles sont les suivants :

#### □ effets directs : thermiques

Ces effets sont liés aux quantités de charges à écouler lors du coup de foudre. Ils se traduisent par des points de fusion plus ou moins importants au niveau des impacts lorsqu'il s'agit de matériaux conducteurs et par une élévation de température aux endroits de mauvais contact pour des matériaux de grande résistivité. Sur des matériaux résistants, une grande énergie est libérée sous forme de chaleur. Si des matériaux de génie civil contiennent une certaine humidité, sous l'effet de la chaleur l'humidité se vaporise et elle est susceptible de provoquer des fissures ou l'éclatement de ces



matériaux. Généralement, la probabilité de dommage engendrée par les effets directs de la foudre est de l'ordre de l'unité et les conséquences peuvent être :

- le risque d'un amorçage est d'aboutir à un percement de la canalisation, limité à un trou de faible dimension,
- des dégradations au niveau des bâtiments des systèmes de protection contre la foudre et des matériels par incendies ou explosions.

De plus, la foudre peut être source d'inflammation en cas de rejet de gaz à l'atmosphère ou de manipulation de produits inflammables.

#### ☐ **effets indirects : électriques et électromagnétiques**

- surtensions par conduction : lorsqu'un coup de foudre frappe une ligne électrique, l'onde électrique se propage le long du conducteur, telle qu'elle provoque une surtension et parfois le claquage des isolants, puis un court-circuit.
- les prises de terre : la résistivité des sols fait que les prises de terre sont résistantes et qu'elles ne peuvent empêcher lors du passage du courant de foudre une montée brutale en potentiel de l'installation.
- induction magnétique : l'impact de foudre est accompagné d'un rayonnement électromagnétique, si ce dernier atteint un conducteur (une ligne électrique par exemple), le flux électromagnétique est générateur de tensions induites.

Les surtensions véhiculées par les lignes électriques sont susceptibles d'engendrer des dommages sur les équipements sensibles :

- détérioration de composants électroniques et autres éléments,
- dysfonctionnement des automates et des équipements informatiques,
- vieillissement prématuré des composants électroniques,
- interruption des chaînes de production en milieu industriel - pertes de production.

#### 3.5.4.b) Retour d'expérience

##### ☐ **Canalisations enterrées**

Douze fuites de très faibles dimensions (diamètre de la brèche inférieur ou égal à 7 mm) dont neuf avec inflammation du rejet de gaz ont été constatées depuis 1970 sur les canalisations enterrées de GRTgaz.

Une canalisation enterrée est peu susceptible de servir de point d'amorçage ; le plus souvent les impacts dus à la foudre qui ont été recensés, étaient liés à la présence dans l'environnement proche de la canalisation d'un élément ayant facilité le passage du courant (ex : piquet, végétation).



Figure n° 21 : Exemple d'un incident dû à la foudre – le Cheylas (38) le 29/09/2013

#### ❑ Installations annexes

Aucune fuite à l'atmosphère due à la foudre n'a été constatée depuis 1988, sur les installations annexes du réseau de GRTgaz. Cependant, la foudre a été à l'origine de deux cas d'inflammation lors d'opérations de mise à l'évent.

#### 3.5.4.c) Principales mesures associées

##### ❑ Dispositions prises à la conception

La norme NF C 17-100 prévoit pour les canalisations métalliques dont l'épaisseur est supérieure à 4 mm que celles-ci peuvent assurer la capture et l'écoulement des courants de foudre sans risque de perçage ou de point chaud sous réserve d'une mise à la terre correcte.

Le retour d'expérience GRTgaz recense trois cas de fuites liées à la foudre ayant concerné des canalisations dont l'épaisseur était supérieure ou égale à 4 mm (jusqu'à 5,2 mm).

Pour les canalisations ayant une épaisseur bien supérieure à 5 mm, aucune conséquence n'est donc à craindre vis à vis des effets directs de la foudre.

##### ❑ Dispositions constructives

Conformément aux prescriptions de l'UIC-GESIP (Union des Industries Chimiques – Groupe d'Etude et de Sécurité des Industries Pétrolières), les principes fondamentaux retenus pour la protection des sites industriels sont :

- l'équipotentialité de toutes les masses métalliques, en particulier la terre du neutre et les différentes terres réparties sur le site. Le réseau de mise à la terre permet l'écoulement à la terre des courants résultant :
  - × des défauts éventuels des matériels électriques,
  - × des accumulations de charges électrostatiques,
  - × des décharges atmosphériques,permettant de se prémunir des surtensions sur les réseaux

Nota : Le réseau de terre entrant dans le cadre de la protection contre les défauts électriques est dimensionné indépendamment de celui de la protection contre la

foudre. Les deux réseaux de terre sont interconnectés conformément aux règles de l'art et de ce fait, l'un contribue à améliorer les performances de l'autre.

- la réalisation de "cage de Faraday" permettant de se prémunir des effets directs sur les bâtiments, autour des équipements, en particulier la continuité de la cage par l'armure des câbles ainsi qu'au niveau des boîtes de jonction. La "cage de Faraday" insensibilise l'équipement situé à l'intérieur des perturbations externes.
- la protection des installations annexes est assurée par les tuyauteries qui constituent une cage de Faraday mise à la terre entre les 2 raccords isolants.
- la mise en place de parafoudre au niveau des connections électriques et téléphoniques de certaines installations annexes (celles disposant de système de télétransmission) permet de se prémunir des effets indirects.

#### **Dispositions prises en exploitation**

Les consignes d'exploitation prévoient de ne pas procéder à des rejets de gaz à l'atmosphère (mise à l'évent, travaux de maintenance, ...) lors d'épisode orageux.

Les ouvrages aériens (postes de coupure, de sectionnement et de livraison) sont reliés à la terre par une prise de terre, ce qui réduit la possibilité d'amorçage.

### **3.5.5. Dangers liés aux vents violents et tempêtes**

La canalisation, enterrée à une profondeur minimale réglementaire de un mètre, reste peu soumise aux phénomènes de vents violents et de tempêtes. Cependant, ces phénomènes peuvent provoquer des chutes d'objets (arbres, pylône...) entraînant des chocs mécaniques sur les installations aériennes et risquant ainsi d'engendrer des contraintes excessives au niveau des brides voire casser des petites tuyauteries annexes en provoquant une fuite limitée de gaz à l'atmosphère.

#### **3.5.5.a) Retour d'expérience**

##### **Canalisations enterrées**

Aucune fuite à l'atmosphère due à ce phénomène n'a été constatée depuis 1970, sur le réseau de GRTgaz.

##### **Installations annexes**

Deux incidents dont un avec fuite liés à des chutes d'arbres ont été constatés depuis 1988, sur les installations annexes du réseau de GRTgaz. Ces fuites étaient limitées à des petites brèches de faibles dimensions (rupture de piquage ou de prises d'impulsion...). Les conséquences de ces incidents qui n'ont pas fait l'objet d'inflammation sont restées limitées à l'enceinte de l'installation.

#### **3.5.5.b) Principales mesures associées**

La mise en place d'une clôture grillagée permet de limiter les prises au vent ; l'entretien et la surveillance régulière des abords des installations permettent de limiter ce danger.

### 3.5.6. Dangers liés aux autres phénomènes climatiques

Les canalisations enterrées à une profondeur d'enfouissement minimale de 1 m (depuis la mise en application de l'arrêté du 4 août 2006) sont peu soumises aux dangers liés aux conditions météorologiques. Ce n'est pas le cas pour les installations aériennes. Les températures d'hiver refroidissent l'acier en créant des contraintes de traction. Le danger encouru est donc de révéler des points faibles de la structure qui peuvent amorcer une rupture.

#### 3.5.6.a) Retour d'expérience

##### ☐ **Canalisations enterrées**

Une seule rupture d'une soudure en tension lors d'un hiver très froid a été constatée depuis 1970, sur le réseau de GRTgaz. Il est à noter que cette soudure avait été réalisée suivant un procédé abandonné aujourd'hui. Les conditions climatiques ont été l'élément déclencheur de cette rupture.

##### ☐ **Installations annexes**

Aucune fuite à l'atmosphère due à ce phénomène n'a été constatée depuis 1988, sur les installations annexes du réseau de GRTgaz.

#### 3.5.6.b) Principales mesures associées

Dans le cas des canalisations enterrées, la profondeur d'enfouissement permet de réduire très sensiblement le risque de gel à cette profondeur. La canalisation, constituée de tubes en acier soudés bout à bout, a une contrainte circonférentielle variant, en fonction du coefficient de calcul variant entre 0,4 et 0,73 de la limite d'élasticité. Cela procure une marge de sécurité permettant d'absorber les contraintes supplémentaires occasionnées par le froid. En outre, les spécifications de GRTgaz concernant les aciers utilisés garantissent une résilience<sup>(\*)</sup> satisfaisante à basse température. Ces aciers ne sont donc pas sujets à une rupture fragile.

### 3.5.7. Dangers liés aux mouvements de terrain

Les mouvements de terrain font partie des risques naturels auxquels la France se trouve confrontée.

Les mouvements de terrain regroupent un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol, d'origine naturelle ou anthropique. Les volumes en jeu sont compris entre quelques mètres cubes et quelques millions de mètres cubes. Les déplacements peuvent être lents (quelques millimètres par an) ou très rapides (quelques centaines de mètres par jour). On distingue :

- Les mouvements de terrain lents et continus :
  - × les tassements et les affaissements,
  - × le retrait-gonflement des argiles (cf. § 3.5.7.c),
  - × les glissements de terrain (cf. § 3.5.7.b),
- Les mouvements de terrain rapides et discontinus :
  - × les éboulements,
  - × les effondrements de cavités souterraines (cf. § 3.5.7.a),
  - × l'érosion des berges (cf. § 3.5.9),
  - × les séismes (cf. § 3.5.8).

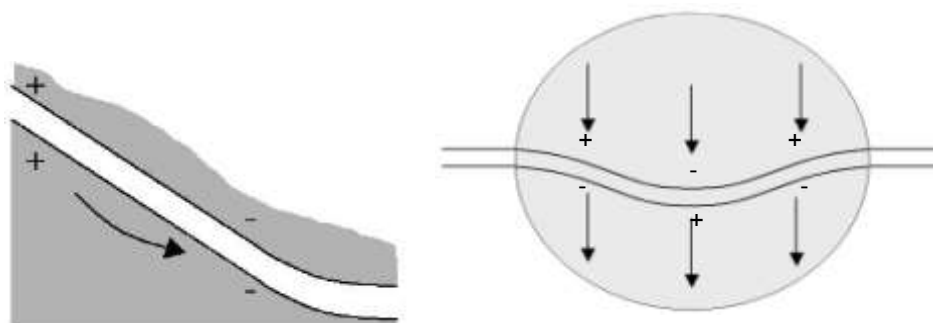
Face à ces phénomènes souvent imprévisibles dans l'état actuel des connaissances, il a été répertorié des zones à risque (base de données répertoriant les cavités souterraines, les mouvements de terrain, les territoires soumis au phénomène du retrait-gonflement des argiles en France, etc.) dans le cadre de l'établissement des Plan de Prévention Risques Naturels (PPRn).

Une canalisation prise dans un mouvement de terrain subit des efforts transmis par le sol. Deux cas de figure extrêmes sont alors possibles :

- mouvement de terrain perpendiculaire à l'axe de la canalisation : le mouvement peut avoir lieu soit dans le plan vertical (affaissement, effondrement), soit dans un plan légèrement incliné par rapport à l'horizontale (glissement).
- mouvement de terrain parallèle à l'axe de la canalisation.

Dans le cas où la canalisation est située le long de la ligne de plus grande pente d'une colline soumise à un glissement de terrain, le frottement du sol sur l'acier entraîne une mise en traction de la partie amont du gazoduc et une mise en compression de la partie aval du gazoduc.

Dans la plupart des scénarios, les efforts induits dans la canalisation sont une combinaison de ces deux cas de figure.



Zones en traction (+) et en compression (-) d'une canalisation prise dans un mouvement de terrain (représenté en grisé) – à gauche : parallèle à son axe, à droite : perpendiculaire à son axe

**Figure n° 22 : Effort sur une canalisation soumise à un mouvement de terrain**

Pour une meilleure maîtrise du risque relatif aux mouvements de terrain (mise en œuvre des solutions adaptées), il est nécessaire de connaître à la fois l'état de déformations / contraintes de la canalisation et les caractéristiques du mouvement de terrain. Il est à noter qu'une canalisation constituée de tubes en acier soudés bout à bout est à la fois résistante et flexible, ce qui autorise un certain déplacement. Cependant, si le déplacement est important, la canalisation peut être rompue entraînant une fuite de gaz à l'atmosphère. Pour donner un ordre d'idée, et sous réserve d'une analyse plus approfondie des caractéristiques du mouvement de terrain géo référencé, aucune mesure spécifique n'est à prendre au-delà d'une distance de 100 mètres.

### 3.5.7.a) Les phénomènes d'affaissements et d'effondrements de cavités

Les phénomènes d'affaissements et d'effondrements de cavités sont liés à la présence de cavités souterraines d'origine naturelle (phénomènes de dissolution) ou anthropique (exploitation souterraine, sape de guerre).

**Les affaissements** sont des dépressions topographiques en forme de cuvette dues au fléchissement lent et progressif des terrains de couverture. S'ils ne présentent en général pas de risque pour les personnes, ils peuvent avoir des conséquences sur les ouvrages en surface, allant de la simple fissuration jusqu'à la ruine complète.

**Les effondrements** résultent de la rupture des appuis ou du toit d'une cavité souterraine, rupture qui se propage jusqu'en surface de manière plus ou moins brutale, et qui détermine l'ouverture d'une excavation grossièrement cylindrique. Les dimensions de cette excavation dépendent des conditions géologiques, de la taille et de la profondeur de la cavité ainsi que du mode de rupture. Ce phénomène peut être ponctuel ou généralisé et dans ce cas concerner des superficies de plusieurs hectares. S'il est ponctuel, il se traduit par la création de fontis plus ou moins importants, dont le diamètre est généralement inférieur à cinquante mètres. Les effondrements ont un caractère soudain, augmentant ainsi la vulnérabilité des personnes. Les ouvrages sont également vulnérables et peuvent être détruits dans certains cas.

Les paramètres naturels influençant l'aléa sont :

- la géologie : la nature des terrains surmontant les cavités conditionne également le développement en surface du mouvement.
- l'hydrographie : la création de cavités naturelles dans le sous-sol est liée aux circulations souterraines d'eau qui entraîne des phénomènes d'érosion et d'altération dans les formations traversées. Dans les matériaux solubles tels que le calcaire et le gypse, les écoulements souterrains d'eau dissolvent et entraînent les matériaux, formant ainsi les cavités.

Les zones karstiques sont des zones où le sous-sol est constitué d'un substratum calcaire possédant des poches ou vides suite à une dissolution du carbonate de calcium par des eaux de lessivage acides. Elles sont matérialisées en surface par des effondrements locaux ou dolines n'évoluant que très lentement. Dans ces zones, la canalisation pourrait servir de drain aux eaux souterraines entraînant avec elles une partie des terrains en place dans les poches de dissolution sous-jacentes.

Les paramètres anthropiques influençant l'aléa sont les cavités souterraines. En effet, l'exploitation de matériaux de sous-sol dans des marnières, des carrières ou des mines, puis l'abandon de ces structures peuvent entraîner des affaissements ou des effondrements. Le creusement de sapes de guerre durant la Première Guerre Mondiale est également à l'origine de cavités mal localisées.

#### ☐ **Retour d'expérience global**

L'expérience acquise en exploitation par GRTgaz recense l'effondrement d'une carrière de gypse en 1988 découvrant une canalisation de DN 600 (épaisseur du tube 10,7 mm) sur une grande longueur (environ 30 mètres) sans que cela ne porte atteinte à l'intégrité de la canalisation en exploitation.



Figure n° 23 : Cratère consécutif à l'effondrement d'une carrière découvrant une canalisation

Un autre exemple d'affaissement minier en 1969 a conduit à la mise à découvert d'une canalisation de DN 450 griffant celle-ci sans provoquer de fuite.

#### ☐ Mesures spécifiques

##### ◆ Dispositions retenues à la conception

Lorsque le tracé de la canalisation est défini, une reconnaissance qualitative et quantitative des terrains est systématiquement effectuée et les problèmes liés à la nature du sous-sol sont alors évalués.

##### ◆ Dispositions constructives et d'exploitation

Lorsque le tracé de la canalisation emprunte une zone potentielle d'affaissement ou d'effondrement de cavités, diverses dispositions peuvent être mises en œuvre :

- protection active qui consiste à consolider les cavités en réduisant la portée des vides. Il s'agit d'aménager des appuis supplémentaires par la réalisation de piliers en maçonnerie, dans les cavités accessibles, ou l'injection de coulis (mélange béton/adjuvants) formant des plots. Si le vide considéré est proche de la surface, il est impératif de contrôler les infiltrations d'eau qui vont accentuer le phénomène.
- protection passive qui consiste à renforcer la canalisation généralement en choisissant une épaisseur plus importante pour la canalisation.
- mise en place de dispositif physique de surveillance des canalisations nécessitant un suivi et éventuellement des actions correctives en exploitation :
  - × lorsqu'une zone présente des risques potentiels d'affaissements de terrains, des dispositifs de surveillance tels que des jauges de déformation<sup>20</sup> peuvent être installés à proximité de ou sur la canalisation pour suivre régulièrement l'évolution des contraintes dans la structure.

<sup>20</sup> Au sujet des « jauges de déformation », il n'est pas utilisé de système télé-transmis. En effet, les phénomènes surveillés sont habituellement des phénomènes dits « lents », donc un contrôle périodique est suffisant. Par exemple, dans le cas d'une canalisation prise dans un terrain instable dans le sud de la France, les jauges sont relevées manuellement par l'exploitant tous les 15 jours. De plus l'exploitant réalise un contrôle systématique après les orages. Ainsi la fréquence de relevé doit être adaptée à la vitesse du phénomène redouté.

Au cas où un tel système serait mis en place, l'étude spécifique le précisera et son contrôle ainsi que la fréquence associée sera intégré dans le PSM.

La surveillance pédestre et aérienne, effectuée régulièrement, permet de détecter les mouvements anormaux de terrain.

- × dans la situation où la canalisation sous surveillance dépasse les seuils en contraintes, une intervention est nécessaire :
  - inspection de la canalisation pour détecter d'éventuels défauts,
  - relâchement des contraintes du tube si l'état de contraintes de la canalisation n'est pas admissible, par exemple par décaissement de la canalisation ou coupe(s).

### 3.5.7.b) Le phénomène de glissement de terrain

Il s'agit d'un déplacement lent d'une masse de terrain cohérente le long d'une surface de rupture. Cette surface a une profondeur qui varie de l'ordre du mètre à quelques centaines de mètres dans les cas exceptionnels. Les volumes de terrain mis en jeu sont alors considérables. Les vitesses d'avancement du terrain peuvent varier jusqu'à atteindre quelques décimètres par an.

Les paramètres naturels influençant l'aléa sont :

- la **géologie** : les caractéristiques mécaniques d'un matériau, sa perméabilité, son état d'altération sont autant de paramètres conditionnant la pente limite d'équilibre et l'occurrence du mouvement.
- la **géomorphologie** : l'importance de la pente de terrain va permettre le développement de certains types de glissement. La couverture végétale joue également un rôle important dans la stabilité, la propagation et le déclenchement des glissements de terrain. Ainsi, les racines des végétaux renforcent la cohésion des sols. A l'inverse, en cas de vent violent, l'effet de levier peut déraciner les arbres, ouvrant ainsi des brèches dans le sol favorisant les infiltrations d'eau.
- l'**hydrogéologie** : outre les phénomènes d'infiltration, les circulations d'eau en surface contribuent aux instabilités des masses de sol, par un phénomène d'entraînement des matériaux.
- les **séismes** : c'est la mise en vibration des éléments du sol et la modification des conditions de pesanteur qui peuvent être à l'origine de la déstabilisation des masses en place.

Les paramètres anthropiques influençant l'aléa sont :

- la **modification de l'hydrogéologie** : la modification de l'hydrogéologie par une activité humaine peut créer des zones à risques.
- la **modification du relief** : lors de chantiers de construction, les opérations de terrassement peuvent entraîner la suppression d'une butée de pied stabilisatrice d'une masse de terrain, ou bien augmenter la pente d'un versant composé de matériaux insuffisamment cohérents pour cette topographie. Par ailleurs, la surcharge de terrains par suite de remblaiements intempestifs peut déstabiliser les terrains et engendrer la réactivation d'un glissement, voire déclencher un glissement dans une zone initialement stable mais fragile.

Les glissements de terrain, qu'ils soient lents ou rapides, ont des conséquences sur les infrastructures (bâtiments, voies de communication, etc.) pouvant aller de la fissuration à la ruine totale. Même des mouvements lents et superficiels peuvent dégrader les canalisations enterrées si leur amplitude est importante.



### ☐ Retour d'expérience

Les données de GRTgaz enregistrent 3 cas de rupture depuis 1970 sans inflammation survenus sur des ouvrages de DN 200 (équivalent à une épaisseur de tube < 5 mm) : 2 dues à un glissement de terrain suite à de fortes pluies et une rupture au niveau d'un piquage en charge 80/400 avec selle de renfort suite à un tassement de terrain.

Aucune fuite à l'atmosphère due à ce phénomène n'a été constatée depuis 1988, sur les installations annexes du réseau de GRTgaz.

### ☐ Mesures spécifiques retenues à la conception

Lorsque le tracé de la canalisation est défini, une reconnaissance qualitative et quantitative des terrains est systématiquement effectuée et les problèmes liés à la nature du sous-sol sont alors évalués. D'une manière générale, la pose des tubes dans une zone de faible déclivité ou en zone sommitale est privilégiée.

De plus, lorsqu'une zone présentant des risques potentiels de glissement de terrain doit être traversée, différentes mesures sont prises :

- ancrage de l'ouvrage dans le sous-sol stable,
- cloutage<sup>(\*)</sup> de la zone de terrain instable pour éviter le mouvement d'ensemble,
- pose de la canalisation en surprofondeur,
- mise en place de dispositifs de surveillance :
- consultation régulière des PPR de la région concernée,
- instrumentation du glissement de terrain et un relevé a minima une fois par trimestre (inclinomètre type extensomètre de forage),
- instrumentation de la canalisation à surveiller et un relevé a minima une fois par trimestre (pige, extensomètre à corde vibrante).

Pour les installations annexes, la surépaisseur des canalisations utilisées sur le site réduit fortement la probabilité d'occurrence d'une rupture.

#### 3.5.7.c) Les retraits-gonflements

Le phénomène de retrait-gonflement se manifeste dans les sols argileux. Il est lié aux conditions météorologiques et notamment aux précipitations. Les périodes de sécheresse, caractérisées par des températures élevées et une très forte évapotranspiration, ont pour conséquence immédiate d'assécher les sols : on parle de retrait. La réhydratation des terrains, permise par un nouvel apport en eau produit un phénomène de *gonflement*.

L'alternance sécheresse-réhydratation des sols entraîne localement des tassements différentiels qui peuvent être d'autant plus importants entre les secteurs soumis à l'évaporation et ceux qui en sont protégés. Des maisons individuelles légères et qui ont des fondations superficielles résistent parfois mal à de tels mouvements de sol, ce qui entraîne notamment des fissurations en façade de bâtiment. De tels tassements différentiels peuvent aussi se produire en présence d'un espace « imperméable » comme une route, un parking...

Les paramètres naturels influençant l'aléa sont :

- **la géologie** : les retraits-gonflements se développent dans les argiles, de manière plus ou moins conséquente suivant le type d'argile.
- **l'hydrogéologie et la météorologie** : les variations de la teneur en eau des terrains sont un paramètre essentiel conditionnant l'intensité de ce phénomène.
- **la modification de l'hydrologie** : les variations de la teneur en eau dans les sols, suite à une activité humaine, peuvent accentuer l'intensité du phénomène de retrait-gonflement.

La lenteur et la faible amplitude du phénomène de retrait-gonflement le rendent sans danger pour l'homme. Néanmoins, l'apparition de tassements différentiels peut avoir des conséquences importantes sur les bâtiments à fondations superficielles.

#### ☐ Retour d'expérience

Sur plus de quarante années d'exploitation du réseau de transport de gaz (ce qui représente plus de 1 100 000 km.an), aucun incident lié à ce phénomène naturel n'a été relevé à ce jour.

#### ☐ Description du phénomène

Lors d'un phénomène de retrait-gonflement, une canalisation enterrée en plein champ ne devrait subir que des tassements uniformes, c'est-à-dire des déplacements verticaux imposés uniformes qui ne produiront donc pas de déformation de la canalisation.

En revanche, si une canalisation passe sous une route ou un autre espace imperméable, il est probable que des tassements différentiels se produiront : l'eau s'évaporerait du sol environnant alors qu'elle s'évaporerait beaucoup moins et beaucoup moins vite du volume de sol situé sous la route. Cette différence conduira à un tassement différentiel du sol, induisant un déplacement vertical des parties de canalisation en dehors de la route.

Les paramètres pour décrire ce phénomène sont :

- *Lroute* : longueur de l'espace « imperméable » On peut estimer *Lroute* à au moins 6 m (d'après les divers documents SETRA, LCPC, DDE qui fixent la largeur des voiries en fonction du nombre de voies et du trafic attendu).
- Profondeur initiale de la canalisation
- *hsol* : profondeur de tassement de la surface du sol
- *hcana* : profondeur de tassement de la canalisation
- *L* : longueur (à partir du centre de symétrie du problème) pour laquelle le tassement de la canalisation peut être considéré comme uniforme et ne varie plus dans l'espace

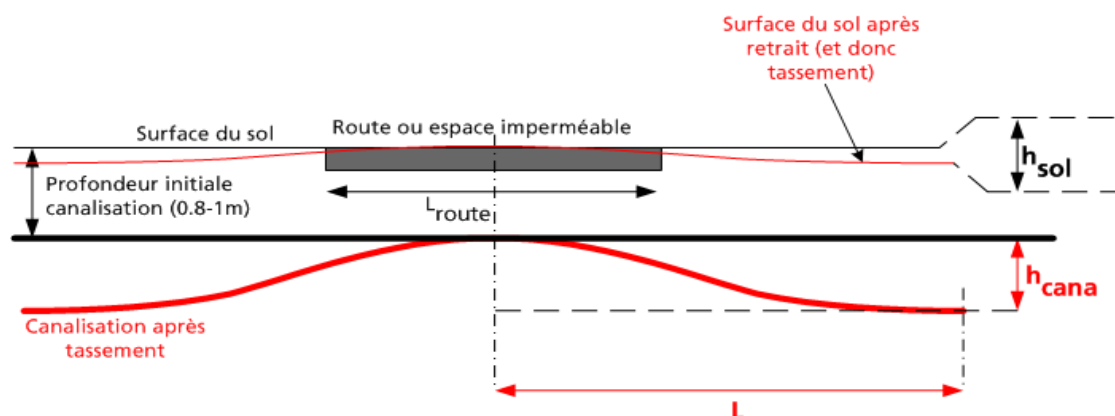


Figure n° 24 : Les différents paramètres du phénomène de retrait-gonflement

Pierre Habib, expert en mécanique des sols, propose d'utiliser comme données majorantes du phénomène de retrait-gonflement les paramètres  $h_{sol} = 14 \text{ cm}$  et  $L > 7 \text{ m}$  pour  $L_{route} = 6 \text{ m}$ <sup>21</sup>. De plus, le phénomène de dessiccation des argiles ne se produit pas de manière uniforme dans toute la couche d'argile. On peut donc estimer que le tassement se produisant au niveau de la canalisation sera bien plus faible que  $h_{sol}$  :  $h_{cana} = 10 \text{ cm}$  maximum.

Le modèle des fondations superficielles, utilisé couramment dans la littérature en géotechnique<sup>22,23</sup> et en particulier pour les guides français et américain de tenue des canalisations aux séismes<sup>24,25</sup>, montre qu'une canalisation entraînée dans un mouvement de sol se déplace au maximum de  $0.05 \times D$  (où  $D$  est le diamètre extérieur de la canalisation).

Quand cette limite est atteinte, le sol ne se déforme plus élastiquement sous l'action de la canalisation mais « rompt » autour d'elle : la canalisation se déforme de manière à minimiser les contraintes, en « cassant » localement le sol autour d'elle.

Deux types de calculs ont été menés :

- calcul type résistance des matériaux,
- calcul Éléments Finis avec le modèle d'interaction sol/structure utilisé pour les traversées de faille dans le guide sismique de l'AFPS.

Les deux types de calculs montrent qu'un affaissement de canalisation de  $0,05 \times D$  est acceptable pour une longueur  $L < 11 \text{ m}$ , pour toutes les canalisations de GRTgaz. Il y a donc une bonne corrélation entre la longueur de canalisation nécessaire pour ne pas causer de déformation plastique et l'ordre de grandeur des dimensions du phénomène de retrait-gonflement.

De plus, il faut rappeler que les calculs cités plus haut sont majorants par rapport à la réalité. Par exemple, le volume de sol situé sous la route ne reste pas complètement saturé d'eau alors que le volume contigu s'assèche. D'autre part, le volume de sol argileux ne s'assèche pas d'un seul tenant.

<sup>21</sup> P.HABIB, communications personnelles, 14/12/2007 et 14/05/2008.

<sup>22</sup> P. HABIB, Génie géotechnique, Applications de la mécanique des sols et des roches, 1997.

<sup>23</sup> F. SCHLOSSER, Éléments de mécanique des sols, 1988.

<sup>24</sup> ASSOCIATION FRANCAISE DU GENIE PARASISMIQUE (AFPS) « Guide méthodologique pour évaluer et assurer la tenue au séisme des canalisations de transport enterrées en acier » Cahier Technique AFPS 15-2013 (version novembre 2013)

<sup>25</sup> AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE), Guidelines for the seismic design of oil and gas pipelines, 1984.

Le tassement différentiel est donc plus faible et plus uniforme, ce qui signifie que le tassement et le déplacement imposé à la canalisation seront moins importants que les valeurs utilisées comme hypothèse des calculs.

#### □ **Conclusion**

Pour les tassements attendus, les déformations resteront dans la zone de comportement élastique de l'acier. Le phénomène de retrait-gonflement des argiles ne sera pas endommageant pour les canalisations de transport de gaz. En conséquence, le phénomène de retrait-gonflement des argiles n'est pas considéré comme cause de rupture dans l'étude de dangers.

### 3.5.8. Dangers liés aux séismes

Un séisme est susceptible de provoquer des mouvements du sol. Suivant leur amplitude, ces mouvements pourraient, comme pour les glissements de terrain, provoquer des effets sur les canalisations allant de la déformation à la rupture. Au cours d'un séisme, les conduites de transport enterrées sont soumises principalement à deux types de sollicitations :

- les ondes sismiques qui peuvent affecter des régions très étendues, et donc un grand nombre de conduites ;
- les déplacements permanents du sol (glissement de terrain, liquéfaction et mouvement de faille), qui affectent de façon ponctuelle à l'échelle des réseaux, un nombre limité de conduites.

Le niveau de risque sismique est fonction de la zone géographique où l'ouvrage est implanté. L'article D 563-8-1 du Code de l'Environnement répertorie pour chaque commune ou entité administrative le niveau du risque sismique applicable selon le zonage défini à l'article R. 563-4 du même code.

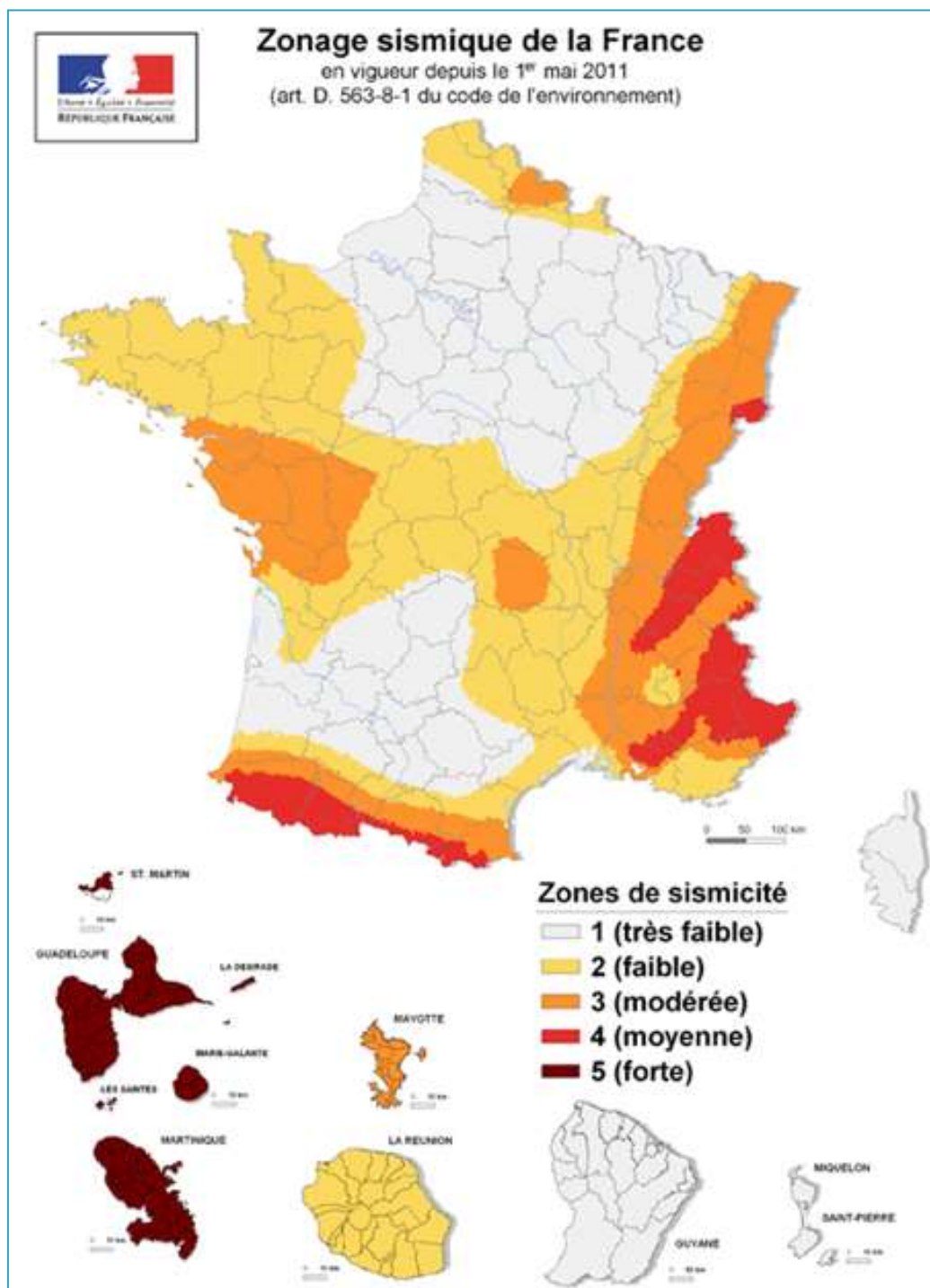


Figure n° 25 : Zonage sismique de la France

La France métropolitaine est divisée en quatre zones de sismicité, allant de 1 (zone d'aléa très faible) à 4 (zone d'aléa moyen). Le dernier séisme significatif, de magnitude 6,2 sur l'échelle de Richter, date du début du siècle (1906, Lambesc, Provence). L'aléa sismique est inégalement réparti suivant les régions : le Sud-Est, les Pyrénées, l'Alsace sont les régions les plus actives, où la sismicité est moyenne (4).

### 3.5.8.a) Retour d'expérience de GRTgaz

#### **Canalisations enterrées**

Le territoire de la métropole française ne comporte pas de zone de sismicité forte et relativement peu de zones de sismicité moyenne ou modérée.

Il est à noter qu'à ce jour, aucun accident dû à un séisme n'a été observé sur des réseaux de transport et de distribution en France métropolitaine depuis 1970. Lors du séisme de magnitude 5,1 d'Annecy Thorens-Glières en 1996, aucune dégradation n'a été observée sur les ouvrages de transport et de distribution de ce secteur, alors même que l'épicentre était proche d'une canalisation de transport de gaz.

#### **Installations annexes**

Aucune fuite à l'atmosphère due à ce phénomène n'a été constatée depuis 1988 sur les installations annexes du réseau de GRTgaz.

### 3.5.8.b) Retour d'expérience de l'AFPS

L'AFPS<sup>26</sup> propose dans son *Cahier Technique n°15-2013*<sup>27</sup> un retour d'expériences sur la tenue des canalisations enterrées en acier lors des principaux séismes :

#### **Ondes sismiques**

L'effet des ondes sismiques sur les réseaux de transport se limite à la rupture de soudures sur les réseaux très anciens, utilisant des techniques de soudage peu performantes (soudures oxyacétyléniques, soudures à l'arc non-protégées) et sur des canalisations dont l'état de corrosion est inacceptable en Europe. Les ondes sismiques ne causent aucun dommage aux réseaux de transport construits depuis l'abandon de ces techniques, après la seconde guerre mondiale.

#### **Déplacements permanents du sol**

Les déformations permanentes du sol dues aux zones liquéfiées ou aux mouvements de failles, peuvent endommager les réseaux de transport. Là encore, les soudures de mauvaise qualité sont les points faibles dans les réseaux anciens.

Par contre, on observe très peu de ruptures de canalisations posées récemment, même dans le cas de mouvements de sol particulièrement pénalisants pour les réseaux enterrés. Les exemples du séisme de Northridge (Californie, 1994) et de Tohoku (Japon, 2011) montrent bien l'excellente tenue mécanique des conduites récentes : alors qu'une conduite ancienne fut rompue par le mouvement d'une zone liquéfiée, une conduite de remplacement, ayant subi les mêmes déformations permanentes de sol a bien résisté à Northridge et une conduite de transport ayant subi des vibrations provoquées par des accélérations record supérieures à 2,0\_g (jusqu'à 3,0\_g dans la zone) n'a pas subi de dommage durant le séisme de Tohoku.

---

<sup>26</sup> Association Française de Génie Parasismique (AFPS)

<sup>27</sup> « Guide méthodologique pour évaluer et assurer la tenue au séisme des canalisations de transport enterrées en acier » Cahier Technique AFPS 15-2013.

3.5.8.c) Mesures spécifiques

L'article 9 de l'AMF donne les règles à appliquer pour déterminer l'appartenance d'un tronçon de canalisation à la classe dite à « risque spécial » au sens de l'article R.563-6 du code de l'environnement.

Cette détermination s'appuie sur une matrice qui prend en compte le nombre de personnes comptabilisées dans le cercle des ELS produit par le phénomène dangereux de rupture totale de la canalisation et la zone de sismicité dans laquelle la canalisation est implantée.

Nexp	Zone de sismicité	1	2	3	4
$300 < N_{exp}(\text{ELS})$					
$100 < N_{exp}(\text{ELS}) \leq 300$					
$30 < N_{exp}(\text{ELS}) \leq 100$					
$N_{exp}(\text{ELS}) \leq 30$					

Nexp.(ELS) : Nombre de personnes exposées dans la zone des effets létaux significatifs de la rupture de la canalisation

**Figure n° 26 : Matrice de détermination du risque sismique pour les canalisations de transport**

Les tronçons situés dans les cases noires sont dits « à risque spécial ».

Il en est de même pour les tronçons situés dans les cases grises, s'ils traversent une faille sismotectonique définie comme potentiellement active sismogène capable de générer une rupture jusqu'en surface du sol identifiée dans un PPRNp<sup>(\*)</sup> approuvé avant la date de sa première mise en service ou une étude technique portée à connaissance par le préfet en application de l'article L. 121-2 du code de l'urbanisme avant cette date.

Les tronçons situés dans les cases blanches ou grises s'ils ne traversent pas de faille « capable » sont dits à « risque normal ».

**Nota** : En France métropolitaine aucune faille sismotectonique potentiellement active sismogène capable de générer une rupture jusqu'en surface du sol n'a encore été définie dans un plan de prévention des risques naturels prévisibles ou une étude technique portée à connaissance par le préfet en application de l'article L.121-2 du code de l'urbanisme. **Par conséquent la traversée de faille n'est actuellement pas retenue comme un critère aggravant pour les canalisations en cas de séisme.**

L'article 9 de l'AMF impose la réalisation d'une étude parasismique pour les tronçons neufs à risque spécial, cette étude pouvant s'appuyer sur le Cahier Technique AFPS n° 15-2013.

Pour les canalisations existantes à risque spécial, l'article 32 stipule qu'elles doivent avoir fait l'objet d'une étude parasismique conformément à l'article 9 pour le 1<sup>er</sup> janvier 2017 au plus tard, délai porté au 1<sup>er</sup> janvier 2018 par l'arrêté modificatif du 15 décembre 2016.

Sur le réseau GRTgaz, les études de dangers ont permis d'identifier un total 208 km de tronçons en risque spécial qui ont fait l'objet d'une étude en deux temps :

- dans un premier temps, une analyse des cartes géologiques et de la géométrie des tronçons concernés a permis, en application directe des logigrammes présentés dans le Cahier Technique AFPS n° 15-2013, de vérifier a priori la tenue de 186 km situés en risque spécial, et d'identifier 22 km nécessitant des investigations complémentaires soit parce que situées dans des zones liquéfiables, ils présentaient des singularités (coudes à faible rayon de courbure, baïonnettes), soit parce qu'ils étaient situés à proximité de zones de mouvement de terrain ou de cavité.
- Dans un deuxième temps, la résistance de ces tronçons au séisme de référence a été vérifiée en utilisant un code aux éléments finis et en faisant des hypothèses majorantes sur les caractéristiques des sols et les singularités présentes.

Au final, la tenue de la totalité des tronçons en risque spécial du réseau GRTgaz a été vérifiée.

#### 3.5.8.d) Conclusion

Globalement, l'analyse du retour d'expérience mondial montre une très bonne tenue des ouvrages de transport exposés à des séismes qui ont été ravageurs pour les bâtiments.

Cette tenue a également été vérifiée à travers les études réalisées conformément à l'article 32 de l'AMF.

Pour la France métropolitaine, avec une sismicité plus faible que celle des zones évoquées dans le retour d'expérience, et un réseau qui a commencé son expansion dans les années soixante, la tenue au séisme des conduites de transport de gaz naturel n'est pas un enjeu d'intégrité des installations, mais plutôt un enjeu de maintien des fonctionnalités du réseau.

#### 3.5.9. Dangers liés à l'hydrographie / érosion du lit des rivières

L'érosion est la déstructuration de surface par arrachement et déplacement des particules d'un sol ou d'une roche sous l'action d'un agent extérieur naturel (eau, air, froid, chaleur, hygrométrie, gel, dessiccation... )<sup>28</sup>.

Cinq types d'érosion externe ont été identifiés :

- l'érosion pluviale ;
- l'érosion fluviale ;
- l'érosion maritime ;
- l'érosion éolienne ;
- les érosions anthropique et animale.

Seules les érosions **fluviales** sont abordées dans cette analyse. Il s'agit de dangers occasionnels et ponctuels liés aux phénomènes climatiques.

Dans le cas des cours d'eau naturels, l'érosion est due :

---

<sup>28</sup> Définition de l'érosion retenue dans le projet de guide du Comité Français des Géosynthétiques (CFG), 5<sup>es</sup> rencontres Géosynthétiques Francophones 2003/2004 : « *Géosynthétiques et érosion fluviale et maritime* »



- aux courants naturels,
- aux variations de niveau d'eau (crue-décruie),
- aux vagues de vents,
- à des interventions humaines (dragage, calibrage, endigage, rescindement de méandre, etc.).

La présence de singularités et d'ouvrages (courbes des rivières, piles et culées de ponts, seuils et barrages, ...) est susceptible d'accentuer ces phénomènes.

Dans le cas des voies navigables, la circulation des bateaux sollicite principalement les berges dans des zones localisées de part et d'autre du plan d'eau à travers les phénomènes suivants :

- l'abaissement instantané du plan d'eau ;
- la création de vagues ;
- la création d'un courant de retour.

Dans le cas des cours d'eau navigués, les phénomènes se superposent.

Sur les plans d'eau, qu'il s'agisse de retenues artificielles, de lacs ou d'étangs, l'érosion est essentiellement due :

- au marnage ;
- aux vagues de vent ;
- au batillage généré par la pratique des sports nautiques motorisés.

Le principal danger consiste en un affouillement de la souille<sup>(\*)</sup> et des berges lors de crues importantes. Cet affouillement tend à dégager la canalisation et l'expose ainsi aux dangers d'agression extérieure (éboulements, ancrages de bateaux,...) et de corrosion.

#### 3.5.9.a) Retour d'expérience

##### ☐ **Canalisations enterrées**

Ce phénomène a été à l'origine de trois ruptures depuis 1970, sur le réseau de GRTgaz. L'événement redouté à prendre en compte est la rupture de l'ouvrage.

Lors de la crue de l'Ainan (Isère) en 2002, le lit de rivière a vu sa largeur multipliée par 10 en passant de 4 à 40 mètres découvrant ainsi une canalisation de DN 150 à 50 bar sur plusieurs dizaines de mètres sans causer de rupture.



Figure n° 27 : Crue de l'Ainan (Isère) en 2002

**Installations annexes :**

Aucune fuite à l'atmosphère due à ce phénomène n'a été constatée depuis 1988, sur les installations annexes du réseau de GRTgaz.

3.5.9.b) Mesures spécifiques

**Dispositions prises à la conception**

Les traversées de cours d'eau sont généralement réalisées avec des tubes d'épaisseur supérieure à celle correspondant au tracé courant.

**Dispositions prises à la construction**

Les franchissements des cours d'eau sont en général réalisés selon deux grandes techniques : celle dite en souille<sup>(\*)</sup> (la plus utilisée) ou celle dite de passage en sous-œuvre (cf. Chapitre 3 - § 3.2.5.b). Lorsque le régime du cours d'eau traversé le nécessite, des enrochements sont mis en place dans le lit et sur les berges pour limiter les risques d'érosion ultérieure en cas de crue torrentielle par exemple.

**Dispositions prises en exploitation**

En complément de ces dispositions de conception et de construction qui visent à limiter le risque de rupture complète, des dispositions d'exploitation sont prises.

La surveillance des traversées sous fluviales (hors traversée posée en forage dirigé) est une tâche clairement identifiée et dédiée dans le Programme périodique de Surveillance et de Maintenance. Elle consiste en une visualisation périodique de l'état des berges (si le niveau le permet examen de la souille) et conditionnelle après une crue importante.

Elle est complétée par une inspection permettant :

- le contrôle de l'état de la souille,
- un relevé de la profondeur de la canalisation.

Si nécessaire, une inspection approfondie avec relevés bathymétriques<sup>(\*)</sup> est effectuée par des plongeurs.

À cette surveillance spécifique s'ajoute la surveillance effectuée au titre des travaux à proximité des ouvrages ; les traversées sous-fluviales sont survolées ou font l'objet d'une surveillance au sol (automobile et pedestre) comme l'ensemble du réseau de GRTgaz. Les fréquences de cette surveillance varient en fonction du taux d'urbanisation et du niveau de l'activité « travaux tiers ».

#### 3.5.9.c) Conclusion

Le phénomène d'érosion peut concerner les canalisations de transport de gaz traversant ou longeant les cours d'eau et des mesures constructives et d'exploitation sont prises pour tenir compte de ce phénomène.

En conséquence, le phénomène d'érosion est exclu de l'analyse quantitative dans la mesure où le risque est couvert par les modalités de surveillance des traversées sous fluviales décrites dans le plan de surveillance et de maintenance (PSM).

### 3.5.10. Dangers liés aux inondations

La canalisation, enterrée à une profondeur d'au moins un mètre, n'est pas soumise à ce danger. En revanche, en cas d'inondation à régime hydraulique dynamique, les installations annexes aériennes peuvent être exposées au danger d'agression par les matériaux charriés. Ces chocs mécaniques peuvent entraîner des contraintes excessives au niveau des brides voire casser des petites tuyauteries annexes et provoquer une fuite limitée de gaz à l'atmosphère.

#### 3.5.10.a) Retour d'expérience

##### **Canalisations enterrées :**

Aucune fuite due à ce phénomène n'a été constatée depuis 1970 sur le réseau de transport de GRTgaz.

##### **Installations annexes**

Des installations annexes du réseau de GRTgaz (postes de livraison) ont été concernées par des inondations depuis 1988. Les conséquences constatées ont été limitées à des pertes de système de télésurveillance ou d'alimentation électrique n'entraînant pas l'arrêt de l'exploitation de l'installation. Seules deux fuites dues au phénomène d'inondation dynamique ont été constatées depuis 1988 sur les installations annexes du réseau de GRTgaz. Ces fuites ont été limitées à des ruptures de piquage ou de prises d'impulsion. Les conséquences de ces incidents qui n'ont pas fait l'objet d'inflammation sont restées limitées à l'enceinte de l'installation.



Figure n° 28 : Poste de Brignon et d'Ales Saint-Hilaire lors des inondations de 2002

#### 3.5.10.b) Mesures spécifiques

Les emplacements des installations annexes doivent être choisis judicieusement en dehors de zones inondables connues. En cas d'impossibilité, les emplacements seront choisis, autant que faire se peut, en dehors des zones susceptibles de rencontrer des courants moyens ou forts.

#### 3.5.10.c) Conclusion

Le risque inondation n'est pas retenu comme cause de rupture pour les canalisations enterrées et les installations annexes (hors piquage de  $DN \leq 25$ ).

#### 3.5.10.d) Cas particulier des ruptures de digues et barrages

Comme indiqué dans un document de présentation édité en 2004 par le ministère de l'Écologie et du Développement Durable, le risque « rupture de barrage » entre dans la catégorie des risques technologiques. Cependant la conséquence redoutée est une inondation qui peut être catastrophique en fonction de l'importance de l'ouvrage hydraulique concerné.

En France, on recense deux accidents ayant eu des conséquences dramatiques pour les populations en aval :

- rupture en avril 1895 du barrage de Bouzey (Vosges) d'une hauteur de 18 m qui a provoqué le décès de 87 personnes,
- rupture en décembre 1959 du barrage de Malpasset (Var) d'une hauteur de 60 m qui a provoqué le décès de 453 personnes, la destruction de 455 habitations et des dégâts sur plus de 1 000 ha de terres agricoles.

Les causes ainsi que les mécanismes en jeu lors d'une rupture sont variables en fonction des caractéristiques propres au barrage.

Les décrets du 11 décembre 2007 et du 12 mai 2015 mettent en place quatre classes de barrages et de digues (A, B, C et D) en fonction de leur importance et précisent pour chacune les obligations d'entretien et de surveillance des exploitants. Les exploitants sont notamment tenus à des examens périodiques de leurs ouvrages et doivent en fournir les rapports à l'État.

En France, 105 barrages sont identifiés comme « grands barrages ». Ces barrages ont une hauteur de plus de 20 m au-dessus du terrain naturel (point le plus bas) et une capacité de retenue de plus de 15 000 000 m<sup>3</sup>.

Pour ces barrages, l'établissement d'un PPI et d'une carte du risque est obligatoire. Cette carte représente les zones menacées par l'onde de submersion qui résulterait d'une rupture totale de l'ouvrage et détermine, dès le projet de construction, quelles seront les caractéristiques de l'onde de submersion en tout point de la vallée : hauteur et vitesse de l'eau, délai de passage de l'onde, etc. Les enjeux et les points sensibles (hôpitaux, écoles, etc.) y figurent également.

En cas de rupture d'un tel barrage, il est probable que la vague de submersion et l'inondation résultante pourraient avoir des effets sur les canalisations (en cas de traversée de rivière) ou les installations annexes situées en aval mais les conséquences à redouter seraient sans commune mesure avec les effets directs de la rupture du barrage. Le PPI prévoit l'évacuation des habitants des communes « à risque » en cas de survenance d'un événement redouté et de ce fait, les conséquences sur l'ouvrage gaz ne seraient pas susceptibles d'aggraver le risque pour les personnes.

Dans le cas des autres ouvrages, non soumis à PPI, l'établissement d'une carte de risque n'est pas requis. La vague de submersion consécutive à leur rupture n'excéderait pas quelques dizaines de centimètres. L'inondation provoquée ne présente donc pas de risque particulier pour les canalisations enterrées et serait susceptible tout au plus de provoquer des ruptures de piquage ou de prises d'impulsion sur les installations annexes.

### **3.6. Dangers liés à l'environnement humain ou aux activités extérieures à l'ouvrage**

#### **3.6.1. Dangers liés aux travaux au voisinage de l'ouvrage**

Le réseau de transport de gaz naturel, implanté à la fois dans le domaine public et dans le domaine privé, est directement exposé à toutes les activités humaines modifiant le sous-sol : terrassements de toute nature, forages, enfoncements de pieux ou assimilés, travaux de génie agricole tels que drainages et sous-solages.

Ces activités présentent les dangers suivants pour l'intégrité des ouvrages enterrés :

- détérioration de l'enrobage avec diminution voire annulation ponctuelle de l'effet de la protection cathodique de l'acier pouvant conduire à une corrosion,
- atteinte de l'acier par rayures ou enfoncements qui ne portent pas initialement atteinte à l'intégrité de l'ouvrage mais qui peuvent se développer par phénomène de fatigue jusqu'à provoquer une fuite,
- percement limité de la canalisation entraînant une fuite de gaz susceptible de mettre directement en danger l'auteur de ce percement et son environnement par simple effet mécanique de pression du gaz échappé puis éventuellement par rayonnement thermique s'il y a inflammation,
- rupture complète conduisant à une fuite de débit maximal susceptible de provoquer un rayonnement thermique plus important.

Les installations annexes (postes de ligne et postes de livraison), toutes implantées dans des sites clôturés, sont peu exposées aux activités humaines hormis celles réalisées sous la responsabilité de GRTgaz.

#### 3.6.1.a) Retour d'expérience

##### **Canalisations enterrées**

Les travaux de tiers à proximité des canalisations de GRTgaz ont provoqué, depuis 1970, 47 ruptures, 91 brèches moyennes (diamètre inférieur à 70 mm) et 71 petites brèches (diamètre inférieur à 12 mm). Les statistiques de GRTgaz montrent que les travaux à proximité des ouvrages sont responsables d'environ 58% des incidents avec fuite, toutes tailles de brèches confondues, recensés sur le réseau de transport de gaz.

##### **Installations annexes**

Une fuite à l'atmosphère non enflammée et limitée à la rupture d'une petite tuyauterie accessoire a été constatée depuis 1988 sur les installations annexes du réseau de GRTgaz.

#### 3.6.1.b) Principales mesures associées

##### **Dispositions prises à la conception**

La conception de la canalisation est conforme au règlement de sécurité en vigueur qui définit en particulier les coefficients de sécurité à respecter pour déterminer l'épaisseur des tubes.

Sur tout le tracé, un grillage avertisseur de couleur jaune est posé à 30 cm au-dessus de la canalisation pour permettre sa localisation immédiate lors de travaux de creusement. Lorsque la mise en place d'un grillage avertisseur n'est pas réalisable, par exemple lors de la pose de canalisation sans tranchée (forage, fonçage, etc.), une ou plusieurs mesures de substitution sont à mettre en œuvre dans les zones où des travaux de tiers sont possibles, et ce conformément au guide GESIP n°2007/02 « Condition de pose du dispositif avertisseur et mesures de substitution applicables » Edition de juillet 2016.

##### **Dispositions prises à la construction**

Pour faciliter le repérage des canalisations enterrées, des bornes sont régulièrement réparties en tenant compte des particularités locales. Ces bornes de couleur jaune indiquent la présence des canalisations de transport de gaz et le numéro de téléphone d'alerte en cas d'accident.

La profondeur d'enfouissement minimale spécifiée par le règlement de sécurité est de 1 mètre. De plus, dans les secteurs où le sous-solage<sup>(\*)</sup> ou le drainage sont pratiqués, la profondeur d'enfouissement pourra être augmentée, en accord avec les Chambres d'Agriculture ou les Directions Départementales des Territoires concernées.

De manière générale, afin de garantir au cours du temps la profondeur d'enfouissement réglementaire, notamment pour des raisons de travaux systématiques connus (curage de certains fossés par exemple) ou pour l'érosion des sols induite par les activités agricoles (érosion anthropique), GRTgaz pose ses canalisations à une profondeur plus importante. Pour les canalisations nouvelles cette profondeur est de 1,2 m, sauf en cas d'impossibilité technique.

De plus, des mesures de protections complémentaires peuvent être mises en place lors de la conception pour mieux protéger les canalisations lors des agressions externes soit :

- l'augmentation significative de l'épaisseur de la canalisation (épaisseur travaux tiers). Il existe en effet, suivant la nuance d'acier utilisée, une épaisseur minimale d'acier à partir de laquelle l'agression éventuelle d'une pelle mécanique de 32 tonnes ne perforerait pas la canalisation au moment de l'impact. Ce type de pelle mécanique correspond à l'un des modèles les plus puissants susceptible d'évoluer dans un tel environnement,
- l'utilisation de barrière protectrice (dalle...) couplée à un dispositif avertisseur,
- l'augmentation significative de la profondeur d'enfouissement.

#### ❑ **Dispositions prises en exploitation**

Les dispositions précédentes n'étant pas suffisantes pour prévenir tous les accidents, des dispositions complémentaires sont prises pour en diminuer les probabilités d'occurrence. Elles concernent essentiellement :

- la sensibilisation des entreprises et des particuliers à la réglementation concernant les travaux à proximité d'ouvrages de GRTgaz, enterrés, aériens ou subaquatiques (cf. Chapitre 3 - § 5.2),
- la protection des ouvrages pendant les travaux. Dans ce domaine GRTgaz veille à ce que chaque chantier déclaré soit suivi sur le terrain par l'application de consignes strictes pour ses agents et de recommandations précises pour les réalisateurs de travaux.

En outre, il convient de rappeler que des surveillances aériennes systématiques sont pratiquées afin de déceler des travaux effectués à proximité des canalisations, qu'ils soient déclarés ou non. Cette surveillance est renforcée par une surveillance terrestre par voiture pour les tronçons implantés en zones urbanisées ou à proximité des routes. De plus, une surveillance pédestre et par hélicoptère vise à repérer toute modification de l'environnement.

### 3.6.2. Dangers liés aux activités industrielles

Les diverses activités industrielles envisagées ici concernent principalement les usines de fabrication, de transformation ou de conditionnement qui pourraient se trouver à proximité de l'ouvrage projeté.

Les risques encourus sont ceux susceptibles d'être provoqués par ces activités, c'est-à-dire essentiellement : l'explosion, l'inflammation et l'envoi de projectiles pouvant conduire à des effets domino.

#### 3.6.2.a) Retour d'expérience

##### ❑ **Canalisations enterrées**

Aucune fuite sur les canalisations due aux activités industrielles environnantes n'a été enregistrée depuis 1970 sur le réseau de GRTgaz.

##### ❑ **Installations annexes**

Aucun incident n'est recensé pour cette cause sur les installations annexes.

### 3.6.2.b) Principales mesures associées aux canalisations enterrées

De par sa conception, l'ensemble de la canalisation étant enterré avec une hauteur de recouvrement de 1 mètre, cette couverture de terre assure la protection de l'ouvrage contre les effets d'un accident vis-à-vis de la surpression, la projection d'éléments ou le rayonnement thermique. Aucune disposition particulière n'est donc prise vis-à-vis de ce type de dangers pour les parties enterrées.

### 3.6.2.c) Principales mesures associées aux installations annexes

En revanche pour les parties aériennes, l'éloignement des postes des emplacements susceptibles d'être concernés par ces activités industrielles est recherché, sauf dans le cas de raccordement d'installations industrielles utilisatrices du gaz. Dans ce cas des mesures spécifiques proposées par GRTgaz peuvent être étudiées en concertation avec l'industriel concerné.

#### **Dispositions prises à la conception**

Le choix de l'implantation de l'installation est réalisé en tenant compte des sites industriels voisins (ICPE, SEVESO ,...).

#### **Dispositions prises à la construction**

L'enfouissement des ouvrages qui peuvent être enterrés est privilégié au maximum.

### 3.6.3. Dangers liés aux voies de circulation et accidents de circulation

Un des dangers provoqués par les traversées de voies de circulation est l'écrasement de la canalisation et donc la réduction de sa capacité de transit.

À terme, un enfoncement de cette nature pourrait, par phénomène de fatigue, provoquer une fuite. Les paramètres essentiels pour provoquer cette situation sont :

- la pression exercée au sol par le roulement des véhicules ou engins,
- la hauteur de recouvrement de la canalisation,
- la dureté des sols.

Le deuxième danger est celui d'un accident de la circulation d'un véhicule percutant une installation aérienne. La structure en acier de la canalisation est susceptible de bien résister aux chocs. Cependant, selon la violence du choc, un arrachage des accessoires annexes ou une sollicitation excessive au niveau de certaines brides pourraient se produire et provoquer ainsi une fuite de gaz.

#### 3.6.3.a) Retour d'expérience

##### **Canalisations enterrées et traversées aériennes<sup>(\*)</sup>**

Deux fuites dont une rupture de canalisation aérienne et une brèche moyenne de diamètre inférieur à 40 mm, dues à des accidents routiers ont été constatées depuis 1970, sur le réseau de GRTgaz.

##### **Installations annexes**

Huit fuites dues à des accidents de la circulation ont été constatées depuis 1988 sur les installations annexes du réseau de GRTgaz. Les fuites étaient limitées à des ruptures de piquage ou de prises



d'impulsion. Les conséquences de ces incidents qui n'ont pas fait l'objet d'inflammation sont restées limitées à l'enceinte de l'installation.

#### 3.6.3.b) Principales mesures associées

##### **Dispositions prises à la construction**

La conformité de la canalisation à l'AMF (respect du coefficient de sécurité) permet de s'affranchir en grande partie du danger d'écrasement de la canalisation.

La profondeur d'enfouissement d'un mètre permet de diminuer notablement l'effort dû aux surcharges roulantes.

De plus, une note de calcul peut être réalisée qui permet de déterminer si des dalles de répartition de charge sont nécessaires et, le cas échéant, les caractéristiques dimensionnelles de celles-ci.

En outre, pour les traversées du domaine ferroviaire et pour les traversées des routes importantes (autoroutes, routes à grande circulation), la canalisation est protégée de ces phénomènes par son passage en gaine ou en fourreau selon les spécifications du gestionnaire de l'ouvrage concerné.

Pour les installations annexes aériennes, lors de la recherche des emplacements, GRTgaz s'efforce d'acquérir des terrains faciles d'accès mais néanmoins situés de façon à éviter les conséquences d'un accident automobile. De plus, l'enceinte des postes de coupure, de sectionnement, d'interconnexion ou de livraison est clôturée, et pour ceux qui pourraient se trouver exposés aux conséquences d'un accident de la circulation, des dispositifs de protection de l'ouvrage tels que des glissières de sécurité métalliques ou en béton peuvent être mis en place.

##### **Dispositions prises en exploitation**

Le roulement ou le stationnement des charges étant souvent associés à un ensemble de travaux, ceux-ci sont déclarés et font donc l'objet d'un examen spécifique en vue de diminuer ou d'éviter ces surcharges.

Ces mesures sont complétées par des surveillances régulières détectant des travaux qui ne seraient pas déclarés et vérifiant si, au cours de modifications d'environnement, la hauteur de recouvrement n'a pas diminué.

#### 3.6.4. Dangers liés aux lignes électriques haute tension (> 63 kV)

La proximité des installations électriques haute tension est parfois inévitable du fait de l'encombrement du sol et du sous-sol.

Le voisinage entre une ligne électrique haute tension et une canalisation de gaz en acier revêtu peut entraîner des montées en tension de la canalisation suite à trois effets :

- par induction de courants de haute tension dans la canalisation de transport de gaz en parallèle avec une ligne électrique, par déséquilibre des phases suite à un défaut véhiculé par les conducteurs électriques (en régime normal d'exploitation de la ligne électrique ou en régime de défaut). Cette induction peut entraîner le claquage du revêtement de la canalisation (voire dans certains cas le percement de la conduite) et l'électrocution de personnes en contact avec les ouvrages au moment où le défaut se produit.

- par conduction de courants de haute tension par le sol jusqu'à la canalisation suite à un défaut d'isolement du pylône situé à proximité ou suite à la chute d'un câble à haute tension sur les installations aériennes ou à proximité d'une canalisation enterrée. Celui-ci risque d'entraîner l'amorçage d'un arc électrique avec la masse métallique des ouvrages de transport de gaz et, dans les cas extrêmes, provoquer une perforation de la canalisation (par fusion du métal). La fuite de gaz qui en résulte peut s'enflammer du fait de la présence d'un arc électrique.
- par couplage capacitif quand la canalisation en cours de pose est isolée du sol. Ce couplage est influant aussi bien en régime normal d'exploitation de la ligne électrique que lors d'un incident électrique.

Par ailleurs la proximité de ligne électrique pourrait être un facteur aggravant au regard de l'inflammation d'un panache de gaz venant à toucher ces lignes.

La rigidité diélectrique du méthane est très proche de celle de l'air (10 à 30 kV/cm) et est donc peu sensible à la concentration. La présence de gaz naturel n'induit pas de sensibilité particulière à l'amorçage entre lignes électriques.

GRTgaz a contacté l'opérateur concerné (RTE) afin de connaître la valeur corrective de la probabilité d'inflammation dans les zones de surplomb de canalisations de gaz par des conducteurs électriques nus en croisement avec le tracé de la canalisation.

Le risque d'inflammation induit par les ouvrages électriques haute tension n'est envisageable qu'à proximité d'un pylône siège d'un défaut principalement dû à la foudre (source : RTE). La foudre faisant déjà partie des causes d'inflammation dans la base EGIG, et la probabilité d'avoir simultanément une fuite et un défaut sur la ligne étant extrêmement faible, il n'y a donc pas lieu de modifier la probabilité d'inflammation près des lignes à haute tension.

#### 3.6.4.a) Retour d'expérience

##### **Canalisations enterrées**

Quatre fuites (trois de type petite brèche, de diamètre 5 mm au plus et une de type brèche moyenne de moins de 30 mm) ont été constatées depuis 1970 sur le réseau de GRTgaz.

##### **Installations annexes**

Aucune fuite à l'atmosphère due à la chute d'un câble électrique n'a été constatée depuis 1988 sur les installations annexes du réseau de GRTgaz.

#### 3.6.4.b) Principales mesures associées

##### **Dispositions prises à la conception**

Les ouvrages de transport de gaz réalisés en acier conformément au règlement de sécurité (AMF) sont par nature conducteurs de charges électriques. Pour éviter les conséquences d'une induction ou d'une conduction électrique, des raccords isolants<sup>(\*)</sup> sont installés lorsque l'ouvrage passe d'une configuration enterrée à une configuration aérienne et les parties aériennes sont raccordées à la terre. Ces dispositions permettent d'éviter la montée en potentiel des parties aériennes de l'ouvrage et donc d'éviter l'électrocution des personnes susceptibles d'intervenir sur ces parties de l'ouvrage. Les raccords isolants assurent une protection jusqu'à 5 000 V et sont éprouvés à 11 000 V.

### ☐ Dispositions prises à l'équipement

L'étude du tracé est effectuée en coordination avec le R.T.E. qui définit, en fonction de la tension de la ligne électrique et de la présence ou non d'un câble de garde<sup>(\*)</sup>, les distances minimales à respecter entre les pylônes et la canalisation. Ces dispositions limitent notablement les probabilités d'occurrence des dangers. Cependant, elles n'empêchent pas, dans le cas d'un croisement de lignes à haute tension, l'éventuel risque de chute d'un câble de haute tension au droit d'une canalisation.

Les emplacements des installations annexes sont choisis judicieusement de façon à éviter la présence de ligne à haute tension dans la zone d'inflammabilité en cas de mise à l'évent ou de déclenchement de soupape conformément à la directive ATEX.

### ☐ Dispositions prises en exploitation :

Les dispositions prises sont de deux ordres :

- surveillance de l'implantation de nouvelles lignes électriques en veillant au respect des règles établies entre RTE et GRTgaz,
- contrôle régulier du bon état des raccords isolants.

### 3.6.5. Incendie à proximité

Les canalisations peuvent être soumises au rayonnement thermique dû à un incendie de végétation ou de bâtiment à proximité.

Le risque encouru est l'élévation de la température de l'acier de l'ouvrage sous l'effet du rayonnement thermique provoqué par l'incendie, de telle sorte que l'acier puisse perdre ses caractéristiques mécaniques et ne plus résister à la pression du gaz, générant ainsi un rejet enflammé à l'atmosphère ayant des conséquences sur l'environnement.

#### 3.6.5.a) Retour d'expérience

### ☐ Canalisations enterrées

Aucune fuite due à un incendie de ce type n'a été constatée depuis 1970 sur le réseau de GRTgaz.

### ☐ Installations annexes

Quelques cas d'incendie de végétation se sont produits à proximité d'installations annexes. Cependant aucune perte de confinement n'est recensée pour cette cause, au plus quelques endommagements de câbles et/ou boîtiers.

#### 3.6.5.b) Principales mesures associées

Concernant les parties enterrées de l'ouvrage, la couverture de terre qui recouvre la canalisation la protège très efficacement contre les effets du rayonnement.

Dans le cas d'installation en bâtiment, celui-ci confère une bonne protection contre un éventuel incendie.

Pour les installations aériennes, des mesures spécifiques (calorifugeage, écran thermique...) peuvent être proposées afin que les canalisations puissent supporter des flux thermiques importants.

### 3.6.6. Dangers liés à la proximité des éoliennes

Les principaux risques associés à la proximité d'une éolienne sont liés à la présence d'éléments mécaniques de masse importante en mouvement, et à la proximité de tensions électriques élevées ( $\geq 20$  kV).

Les risques considérés sont les suivants :

- risque de chute de l'éolienne,
- risque vibratoire,
- risque « ATEX »,
- risque électrique.

#### 3.6.6.a) Retour d'expérience

##### **Canalisations enterrées**

Aucun accident de ce type n'a été constaté jusqu'ici sur le réseau de GRTgaz.

##### **Installations annexes**

Aucun incident n'est recensé pour cette cause sur les installations annexes depuis 1988.

#### 3.6.6.b) Principales mesures associées

Des distances minimales d'écartement entre l'ouvrage et l'éolienne sont préconisées.

### 3.6.7. Dangers liés à l'épandage de produits chimiques

Les activités humaines produisent régulièrement des épandages accidentels ou volontaires de produits chimiques les plus divers. Les canalisations de transport de gaz peuvent donc être soumises à cette agression d'ordre chimique.

Le risque envisagé est la destruction du revêtement des tubes par action chimique. La disparition de ce revêtement crée des conditions favorisant la corrosion qui peut aboutir à une fuite.

#### 3.6.7.a) Retour d'expérience

##### **Canalisations enterrées**

Trois fuites de faible importance (inférieures à 12 mm) ont été enregistrées depuis 1970 sur le réseau de GRTgaz : deux dues à un stockage de sel de déneigement au-dessus des canalisations, et une liée à un terrain pollué par des effluents d'une usine Seveso (hydrocarbures et sulfates).

##### **Installations annexes**

Aucun incident n'est recensé pour cette cause sur les installations annexes depuis 1988.

#### 3.6.7.b) Principales mesures associées

Les principales dispositions conservatoires sont prises au moment de la qualification des revêtements susceptibles d'être employés sur le réseau. Pour être agréés par GRTgaz, ces revêtements

subissent des essais en conformité avec les normes AFNOR (par exemple NF A 49-710 pour les revêtements polyéthylène). Ils sont notamment soumis à la vérification de leur tenue et de leur résistance à la fissuration en milieu hostile (présence de micro-organismes et de produits chimiques).

### 3.6.8. Dangers liés aux chutes d'avion

La chute d'avion est un événement susceptible de se produire en tout point du territoire et donc par définition également sur les emplacements des ouvrages et canalisations.

Si cette éventualité se produit, il est fort probable que les installations de transport de gaz (aériennes ou enterrées) soient détruites ou fortement endommagées : destruction des tuyauteries, suivie de fuite et inflammation.

A titre indicatif, la probabilité d'observer une rupture de canalisation suite à une chute d'avion est estimée à  $10^{-7}$  /an (source : *Méthode d'évaluation du risque aérien pour les centrales nucléaires – EDF – Note EN-SN-94-55 du 14 avril 1995*). Si cette éventualité se produit, il est fort probable que les conséquences soient les suivantes :

- destruction du poste suivie de fuite et inflammation,
- percement de la canalisation suivi de fuite et inflammation.

#### 3.6.8.a) Retour d'expérience

##### **Canalisations enterrées**

Aucune fuite à l'atmosphère due à ce phénomène n'a été constatée depuis 1970 sur le réseau de GRTgaz.

##### **Installations annexes**

Aucun incident n'est recensé pour cette cause sur les installations annexes depuis 1988.

#### 3.6.8.b) Principales mesures associées

Aucune disposition spécifique, hormis un éloignement des aérodromes, n'est réalisée. Pour les ouvrages aériens, lors de la recherche des emplacements, GRTgaz s'est efforcé d'acquérir des terrains situés en dehors des trouées d'envol ou d'atterrissage des aérodromes dans les régions traversées.

### 3.6.9. Dangers liés aux autres réseaux enterrés

Une canalisation de transport de gaz peut être amenée à croiser ou à longer d'autres canalisations transportant des produits liquides ou gazeux (eau, pétrole, éthylène, oxygène, hydrogène,...). Les dangers occasionnés par la proximité de ces ouvrages sont les suivants :

- danger d'influence électrique des masses métalliques en présence qui peut perturber la protection cathodique de l'un ou de l'autre ouvrage ; cette perturbation peut entraîner une corrosion externe locale,
- danger de fuite ou de rupture de l'ouvrage voisin qui pourrait d'une part détériorer le revêtement de la canalisation, d'autre part endommager la canalisation par projection, abrasion ou le cas échéant par convection ou rayonnement thermique.

La « corrosivité » d'un produit sur le revêtement de la canalisation, dépend de la nature du produit, de sa concentration et de la durée d'exposition du revêtement à ce produit. La présence de remblai entre ouvrages voisins dilue « naturellement » le produit « corrosif » avant que celui-ci n'entre en contact avec l'ouvrage. Le Tableau n° 12 fournit des indications sur la corrosivité des produits transportés dans les canalisations pouvant se situer au voisinage d'ouvrages de GRTgaz.

Produit	Revêtement de la canalisation GRTgaz		
	Polyéthylène	Polypropylène	Polyéthylène réticulé
Chlorure de vinyle monomère	A priori NC	A priori NC	NC
Éthylène	NC	NC	NC
Propylène	NC	C	NC
Hydrogène	NC	NC	NC
Butane	NC	NC	NC
MTBE (Éther de Méthyl et de TertioButyle)	A priori NC	A priori NC	NC
ETBE (Éther d'éthyl et de TertioButyle)	A priori NC	A priori NC	NC
Azote	NC	NC	NC
Gaz naturel	NC	NC	NC
Saumure	NC	NC	NC

NC : Non Corrosif – C : Corrosif

Sources d'informations : Pôle d'expertise GRTgaz pour le polyéthylène et le polypropylène ; fabricant Polytec pour le polyéthylène réticulé.

#### Tableau n° 12 : Corrosivité des produits transportés dans les canalisations voisines dans le cas d'une fuite localisée sans inflammation

L'impact d'un produit « corrosif » sur le revêtement de la canalisation peut se traduire par une perte plus ou moins marquée des performances de résistance mécanique pouvant entraîner ainsi un risque de poinçonnement du revêtement à long terme.

#### 3.6.9.a) Retour d'expérience de GRTgaz

##### Canalisations enterrées

Quatre fuites de type petite brèche (diamètre maximum 5 mm) et une fuite de type brèche moyenne (diamètre inférieur à 14 mm) dues à la rupture d'une canalisation d'eau voisine ont été constatées depuis 1970 sur le réseau de GRTgaz. Le percement a été provoqué par un phénomène d'érosion.

### ☐ Installations annexes

Aucune fuite à l'atmosphère due à ce phénomène n'a été constatée depuis 1988 sur les installations annexes du réseau de GRTgaz.

#### 3.6.9.b) Retour d'expérience international

Au titre du retour d'expérience international, il faut noter l'accident survenu à Rapid City le 29 juillet 1995, au sud du Canada. La rupture d'une canalisation de DN 1050 suite à une fissuration par corrosion sous tension, suivie de l'inflammation du rejet de gaz, a entraîné par effet domino, 52 minutes plus tard, la rupture d'une canalisation en DN 900 hors transit posée en parallèle à 7 m. Une troisième canalisation, de DN 1200 en transit, implantée à 1 m sous les deux canalisations accidentées, a été exposée au feu mais n'a subi que des dommages superficiels.

#### 3.6.9.c) Mesures spécifiques

### ☐ Dispositions constructives

Lorsque le tracé retenu conduit à un **parallélisme** avec d'autres canalisations, les distances préconisées (d'un point de vue constructif et d'exploitation des ouvrages) dans la norme NF P 98-332 « Chaussées et dépendances - Règles de distance entre les réseaux enterrés et règles de voisinage entre les réseaux et les végétaux » (février 2005) (cf. Chapitre 3 - § 3.2.5.b) sont respectées a minima. Si la configuration et la réglementation applicable (dans les secteurs gérés par des opérateurs privés par exemple) le permettent, des dispositions de distance d'écartement suffisantes pour éviter les conséquences d'une rupture éventuelle sont respectées en fonction du diamètre et de la nature des canalisations.

En effet, un écartement suffisant entre canalisations permet de se prémunir d'effets domino en cas d'agression de l'une des deux canalisations, et en particulier d'effets domino thermiques si la distance entre canalisations permet de maintenir la canalisation non agressée en-dehors du cratère formé lors de la rupture de la première.

L'analyse des accidents survenus sur les différents réseaux de transport de gaz (France, Europe, monde) permet de déterminer des dimensions moyennes du cratère se formant lors de la rupture d'une canalisation de transport de gaz.

Les conditions de proximité avec une canalisation d'eau potable sont déterminées avec le gestionnaire de ce réseau.

Les **croisements** des différents réseaux (eau, électricité, télédiffusion, téléphone, assainissement, incendie) sont réalisés conformément aux prescriptions de GRTgaz et à la norme NF P 98-332 précitée.

Lors d'un croisement, des prises de potentiel sont installées afin de vérifier et de remédier ainsi à une perturbation éventuelle de la protection cathodique.

Lors du croisement de deux canalisations de transport de gaz naturel sous pression, la pose se fait par cintrage de la canalisation inférieure.

#### **Dispositions prises en exploitation**

Les valeurs des potentiels sont relevées régulièrement par les équipes de secteur et font l'objet de rapports. La moindre anomalie est signalée aux équipes spécialisées de GRTgaz chargées de déterminer la cause du problème et de trouver une solution.

Le cas échéant, des mesures visant à rétablir l'intégrité de la protection « passive » des canalisations sont mises en œuvre : remplacement du remblai « imbibé » de produit corrosif et/ou réfection du revêtement de la canalisation concernée.

#### 3.6.9.d) Conclusion

En cas de passage au voisinage d'une canalisation transportant un produit corrosif, la partie spécifique précisera les mesures à retenir pour garantir le maintien de l'intégrité dans le temps de la canalisation de transport de gaz naturel.

### **3.7. Dangers liés à l'exploitation**

#### 3.7.1. Défaut d'étanchéité des appareils

Les appareils concernés sont ceux implantés sur les installations annexes (postes de sectionnement, postes de coupure, postes d'interconnexion, postes de livraison ou de pré-détente).

Les défauts d'étanchéité des appareils regroupent essentiellement ceux liés à des opérations de maintenance (type changements de joints, démontage et remontage des appareils....) et ceux liés à des dysfonctionnements d'appareils.

Le danger encouru est la fuite de gaz incontrôlée à l'atmosphère avec inflammation.

#### 3.7.1.a) Retour d'expérience

##### **Canalisations enterrées**

Aucun incident de ce type n'a été constaté sur le réseau GRTgaz.

##### **Installations annexes**

Ces défauts localisés au niveau des équipements (brides, joint, raccord, presse-étoupe) représentent le tiers des occurrences de fuites sur les installations annexes. Ils conduisent majoritairement à des fuites mineures couvertes en termes d'évaluation du risque par le zonage ATEX.

#### 3.7.1.b) Mesures spécifiques

##### **Dispositions prises en conception / construction**

Les assemblages boulonnés / vissés sont limités au strict besoin de maintenance des équipements. Pour les assemblages à brides, les ring joints ou les joints spiralés métalliques sont privilégiés pour leur taux de fuite moindre.

##### **Dispositions prises en exploitation**

Ces fuites sont détectées lors des passages sur le site et des inspections programmées.



Par ailleurs, le plan de zonage ATEX traite en partie les fuites du type défaut d'étanchéité pouvant se produire en exploitation. Le matériel est donc adapté pour fonctionner en atmosphère explosible et limiter ainsi les risques d'inflammation.

Les principales dispositions prises sont :

- l'exigence d'un haut niveau de qualité pour tous les équipements constituant les installations, basée sur une politique d'autorisation d'emploi,
- une politique de maintenance appropriée basée sur un long retour d'expérience et formalisée par des procédures internes.

### 3.7.2. Suppression

L'apparition dans la canalisation d'une pression supérieure à la PMS<sup>(\*)</sup> peut théoriquement survenir si l'ouvrage est relié à un autre ouvrage de PMS supérieure ou si le gaz est comprimé par une station de compression et que le dispositif de sécurité pression est défaillant. Dans ce cas, le dépassement de la PMS ne peut être maîtrisé ce qui peut entraîner une rupture de la canalisation.

#### 3.7.2.a) Retour d'expérience

##### **Canalisations enterrées**

Quelques dépassements de PMS dus à un dysfonctionnement des organes de sécurité ont été enregistrés dans le passé. Ces dépassements ont cependant toujours été limités dans la durée (quelques heures au maximum) comme dans l'espace (quelques dizaines de km de canalisation).

Aucune brèche de canalisation due à un phénomène de surpression n'a été constatée depuis 1970, sur le réseau de GRTgaz.

##### **Installations annexes**

Quelques détériorations mineures d'appareils accessoires (1 soit 0,6% des occurrences) ont pu être identifiées mais aucune brèche notable n'a été constatée depuis 1988, sur les installations annexes du réseau de GRTgaz.

#### 3.7.2.b) Mesures spécifiques

##### **Dispositions à la conception**

Les installations de type interconnexion et station de compression font l'objet d'une revue HAZOP (HAZard and OPerability study) en phase projet. Cette revue, travail d'équipe de spécialistes pluridisciplinaires, permet une analyse critique du procédé et des fonctionnalités des installations afin de quantifier les risques potentiels d'un dysfonctionnement et de trouver les actions correctives pour réduire voire supprimer le risque. Sont étudiées en particulier les conséquences d'une dérive des paramètres du procédé (pression, température, débit). Les installations sont modifiées selon les résultats de ces analyses.

### ❑ Dispositions constructives

Au point de séparation de deux ouvrages de PMS différentes, un dispositif de régulation de pression permet de limiter la pression dans l'ouvrage ayant la PMS la plus faible. En complément, des dispositifs de sécurité sont mis en place (vanne de sécurité ou soupape des installations existantes du réseau).

Sur les stations de compression, la pression de refoulement des machines est contrôlée par des capteurs de pression, placés au plus près des compresseurs. Des actions sont engagées sur atteinte de seuils prédéfinis.

L'ensemble de ces dispositifs empêche que la pression ne dépasse 110 % de la P.M.S du réseau aval.

### ❑ Dispositions prises en exploitation

Le système de conduite du réseau permet :

- de suivre en permanence à l'aide de télémesures les paramètres physiques du gaz transporté (pression, débit, qualité du gaz),
- de piloter à distance à l'aide de télécommandes des dispositifs de régulation de pression.

Les dispositions complémentaires consistent à réaliser périodiquement des essais de fonctionnement des organes de régulation et de sécurité pression.

### 3.7.3. Inflammation intérieure

Le fluide transporté (gaz naturel à l'état gazeux) est un gaz inflammable lorsque les conditions suivantes sont simultanément présentes :

- proportion en volume du gaz naturel dans l'air comprise entre 5 % et 15 %,
- élévation locale de température provoquée par un élément extérieur (étincelle, point chaud,...) ou bien, sans le concours d'un élément extérieur, dès que la température du mélange dépasse 600°C (température d'auto-inflammation du méthane).

Si une entrée d'air se produisait, un mélange air-gaz serait susceptible d'atteindre des conditions propices à une inflammation en milieu confiné.

#### 3.7.3.a) Retour d'expérience

Ce phénomène n'a jamais été observé depuis 1970 sur le réseau de GRTgaz ainsi que depuis 1988 sur les installations annexes du réseau de GRTgaz.

#### 3.7.3.b) Mesures spécifiques

Les mesures préventives sont du domaine de l'exploitation. En fonctionnement normal, l'air ne peut pénétrer à l'intérieur de la canalisation car la pression de gaz est très nettement supérieure à la pression de l'air. Cependant, dans le cas de certaines manœuvres qui exigent l'abaissement de la pression de gaz (pour effectuer des réparations par exemple), des techniques sont employées afin de garantir l'absence de mélange air-gaz à l'intérieur de la canalisation.

### 3.7.4. Circulation sur les sites GRTgaz (hors travaux)

Un des risques induits par les traversées de voies de circulation est d'écraser la canalisation et donc de réduire sa capacité de transit. A terme, un enfoncement de cette nature pourrait favoriser une fuite.

Les paramètres essentiels de cette configuration sont :

- la pression exercée au sol due au roulage,
- la hauteur de recouvrement de la canalisation,
- la dureté des sols.

L'autre risque est le choc lié à un véhicule sortant de la voirie.

#### 3.7.4.a) Retour d'expérience sur les installations annexes

Aucune fuite n'est recensée pour ces causes (écrasement ou choc) sur les interconnexions ou stations de compression.

#### 3.7.4.b) Mesures spécifiques

##### **Dispositions prises à la conception**

La conformité de la canalisation à l'AMF (respect du coefficient de sécurité) permet de s'affranchir en grande partie du danger d'écrasement de la canalisation. Le cas échéant, une étude de charge est réalisée.

##### **Dispositions prises en construction**

Les traversées des voies de circulation internes au site sont généralement réalisées à l'intérieur de fourreaux qui protègent la canalisation contre les risques d'écrasement ou bien protégées par des dalles bétonnées.

##### **Dispositions prises en exploitation**

Le roulement ou le stationnement des charges étant souvent associés à un ensemble de travaux, ceux-ci sont déclarés et font donc l'objet d'un examen spécifique en vue de diminuer ou d'éviter ces surcharges.

### 3.7.5. Travaux sur site GRTgaz

Les installations annexes, implantées dans des sites clôturés, sont peu exposées à toutes les activités humaines non contrôlées.

Pour les canalisations enterrées, il existe toutefois un risque d'agression lors des opérations d'excavation réalisées en période de travaux importants (modification des ouvrages essentiellement) réalisés sous maîtrise d'ouvrage GRTgaz.

Ces activités présentent les risques suivants pour l'intégrité des ouvrages enterrés :

- détérioration du revêtement des tronçons acier,
- atteinte de l'acier par griffures ou enfoncements qui peuvent ensuite se développer par phénomène de fatigue jusqu'à provoquer une fuite de gaz.

### 3.7.5.a) Retour d'expérience sur les sites

#### ☐ **Canalisations enterrées**

Aucune agression n'a été recensée pour les installations annexes simples.

#### ☐ **Ouvrages aériens sur site**

Le retour d'expérience, montre que les rares chocs avec des engins de travaux ont conduit à quelques déformations d'ouvrage sans pour autant engendrer de fuite importante.

### 3.7.5.b) Mesures spécifiques

Lors des travaux sur site, un ensemble de dispositions préventives est pris pour maîtriser les chantiers et les risques d'agression mécanique par des entreprises tierces :

- profondeur d'enfouissement des canalisations et grillage avertisseur de couleur jaune posé à 30 cm au-dessus de la canalisation pour permettre sa localisation immédiate lors de travaux de creusement ;
- relevé des canalisations par un géomètre et plan mis à jour ;
- site clos avec accès réglementé ;
- plans de préventions réalisés par l'exploitant au titre du décret n° 92-158 du 20 février 1992 ;
- tout travail par une entreprise tierce à l'intérieur du site est soumis à la délivrance d'une autorisation préalable et d'une sensibilisation au risque gaz ;
- tout travail avec excavation est soumis à la délivrance d'un permis de fouille qui présuppose :
  - × investigation préalable du sous-sol avec repérage et piquetage des canalisations permettant de garantir la connaissance du sous-sol du site en plus des plans disponibles,
  - × préconisation d'utilisation de pelle à godet plat, excavation jusqu'à 20 cm au-dessus de la canalisation, le reste de la « décache » se faisant manuellement à la pelle ou par aspiration,
  - × surveillance assurée par GRTgaz (autorisation de travail, attestation de consignation électrique, permis de feu, permis de fouille, attestation de consignation mécanique).

Ces dispositions permettent d'éviter qu'un accrochage éventuel lors de travaux ne conduise à une perte de confinement. En cas d'endommagement de la canalisation, les réparations, selon les procédures en vigueur, sont effectuées avant le comblement de la fouille ou la remise en service de l'équipement touché.

**Compte tenu des éléments présentés précédemment et du retour d'expérience sur les installations annexes, aucun événement initiateur lié à l'exploitation n'est retenu comme cause de rupture des canalisations principales aériennes sur site. Ils sont retenus uniquement comme cause de fuite limitée sur les équipements. Les agressions mécaniques sont majoritairement à l'origine de fuite de taille limitée en particulier au niveau des équipements sur les installations annexes simples.**

## 4. QUANTIFICATION DES RISQUES

### 4.1. Identification des phénomènes dangereux

#### 4.1.1. Que se passe-t-il en cas de rejet accidentel de gaz ?

En cas de rejet accidentel de gaz à l'atmosphère depuis un ouvrage de transport de gaz naturel, plusieurs phénomènes peuvent avoir lieu :

- sous l'effet de la pression, un jet de gaz naturel va être émis à l'atmosphère et la perte de confinement du gaz peut être accompagnée de projection de terre ou de pierres dans le cas d'une canalisation enterrée,
- la mise à l'atmosphère d'une forte quantité de gaz s'accompagne d'un bruit intense perceptible à une très grande distance et d'une légère onde de surpression associée à la détente du gaz à l'atmosphère,
- un panache de gaz naturel va se former dans l'atmosphère et peut s'enflammer s'il rencontre une source d'énergie d'intensité suffisante (engin agresseur, foudre,...) provoquant au moment de son inflammation une brève onde de surpression,
- enfin une inflammation peut s'établir et générer une flamme qui va émettre un rayonnement thermique intense à même d'engendrer des blessures et des dommages aux structures (bâtiment, autres installations dans le voisinage, ...).

L'amplitude de ces phénomènes sera plus ou moins importante en fonction de la taille de la fuite. L'étude de dangers s'attache donc, dans ce chapitre, à quantifier chacune des fuites de référence retenues, en évaluant les effets associés ainsi que la probabilité à laquelle serait exposée la population au voisinage de l'ouvrage.

#### 4.1.2. Lien entre les facteurs de risque et les scénarios de fuite représentatifs

Le tableau ci-après présente le lien entre les facteurs de risques identifiés dans l'analyse qualitative du Chapitre 4 et les scénarios de fuite avec inflammation à retenir pour l'analyse quantitative.

Type	Facteur de risque	Scénario de fuite associé
<b>Sources de dangers d'origine externe</b>		
<b>Dangers liés à l'environnement naturel</b>	Nature du sous-sol Cf. § 3.5.1	Compte tenu des mesures prises à la construction et durant l'exploitation des ouvrages, ce facteur de risque n'est pas à même de générer des endommagements conduisant à des rejets de gaz à l'atmosphère.
	Végétation Cf. § 3.5.2	
	Vents violents, tempêtes Cf. § 3.5.5	Compte tenu des mesures prises à la construction et durant l'exploitation des ouvrages, ce facteur de risque conduit au plus à des ruptures de piquages sur les installations annexes ( $\leq$ DN25).

Type	Facteur de risque	Scénario de fuite associé
	Autres phénomènes climatiques Cf. § 3.5.6	Compte tenu des mesures prises à la construction et durant l'exploitation des ouvrages, ce facteur de risque n'est pas à même de générer des endommagements conduisant à des rejets de gaz à l'atmosphère
	Corrosion externe Cf. § 3.5.3	Compte tenu des mesures prises en conception, construction et en exploitation, ce facteur de risque conduit au plus à des fuites de taille limitée (petite brèche de 12 mm sur le tracé courant enterré et les canalisations à l'air libre et perforation limitée de 5 mm sur les installations annexes).
	Mouvement de terrain	Compte tenu des éléments détaillés dans la partie spécifique pour les ouvrages neufs, en § 3 et 6 de chaque fiche communale des études de dangers départementales, et des éléments figurant en § 3.5.7, 3.5.8 et 3.5.9 du présent chapitre, ces facteurs de risque ne sont, en pratique, pas retenus dans la quantification probabiliste du phénomène dangereux. Il reste examiné au cas par cas dans l'analyse qualitative de la partie spécifique afin de définir les mesures de surveillance à mettre en œuvre.
	Séisme	
	Hydrographie, Erosion des lits de rivière	
	Inondation Cf. § 3.5.10	Compte tenu des mesures prises en conception, construction et en exploitation, ce facteur de risque n'est pas retenu en tant qu'évènement initiateur d'une fuite de gaz sur le tracé courant enterré.  Pour les installations annexes ce facteur de risque conduit au plus à des ruptures de piquages ( $\leq$ DN25).
	Foudre Cf. § 3.5.4	Compte tenu des mesures prises en conception, construction et en exploitation, ce facteur de risque conduit au plus à des fuites de taille limitée (petite brèche de 12 mm sur le tracé courant enterré) et est intégré à la probabilité d'inflammation du scénario de mise à l'évent sur les installations annexes.

Type	Facteur de risque	Scénario de fuite associé
<b>Dangers liés à l'environnement humain ou activités extérieures à l'ouvrage</b>	Incendie à proximité Cf. § 3.6.5	Compte tenu des mesures prises en conception, construction et en exploitation, ce facteur de risque n'est pas retenu en tant qu'évènement initiateur d'une fuite de gaz pour les ouvrages enterrés. Pour les ouvrages aériens (canalisation à l'air libre, installations annexes) une étude au cas par cas est à réaliser.
	Travaux de tiers à proximité Cf. § 3.6.1	<p>Pour le tracé courant, ce facteur de risque a été, par le passé, à l'origine de nombreuses ruptures et de brèches plus ou moins importantes. Afin de se prémunir de ce risque, depuis les années 1990, les dispositions constructives ont évolué (profondeur d'enfouissement, épaisseur des canalisations), des mesures compensatoires ont été mises en place (dalles de protection, surveillance renforcée, ...); néanmoins les 3 scénarios (petite brèche, brèche moyenne et rupture) sont toujours étudiés dans les études de dangers.</p> <p>En cas de proximité d'une installations annexe complexe, ce facteur de risque est retenu en tant qu'évènement initiateur d'une fuite de gaz par d'effet domino.</p> <p>En revanche pour les installations annexes, il n'est pas retenu comme évènement initiateur direct de fuite, celles-ci étant implantées sur un site clos à l'intérieur duquel les travaux sont effectués sous la surveillance de GRTgaz.</p>
	Voies de circulation Accidents de circulation Cf. § 3.6.3	<p>Ce facteur de risque est retenu pour les traversées aériennes<sup>(*)</sup> constituées de canalisations à l'air libre, ainsi que pour les installations annexes.</p> <p>Pour les traversées aériennes<sup>(*)</sup>, ce facteur de risque est retenu en tant qu'évènement initiateur d'une rupture si la configuration de la canalisation lui confère une exposition à risque de choc par un véhicule et qu'elle ne fait pas l'objet de protections adaptées.</p> <p>Pour les installations annexes, leur situation géographique ainsi que la rareté des opérations de manutention mécanique sur de telles installations, permettent d'exclure a priori la rupture des tuyauteries principales pour cause mécanique. Néanmoins, la rupture de petites tuyauteries (prises d'impulsion notamment) dans le cadre des travaux périodiques ou d'accident d'un véhicule extérieur reste possible. De façon conservatoire la rupture de piquages (DN ≤ 25) est retenue.</p>
	Autres réseaux enterrés Cf. § 3.6.9	Compte tenu des mesures prises en conception, construction et en exploitation, ce facteur de risque conduit au plus à des fuites de taille limitée (petite brèche de 12 mm sur le tracé courant enterré).
Lignes électriques Haute Tension cf. § 3.6.4		

Type	Facteur de risque	Scénario de fuite associé
	Activité industrielle	Compte tenu de l'analyse des sites ICPE à proximité des ouvrages de GRTgaz présentée dans la partie spécifique pour les ouvrages neufs, en § 6 de chaque fiche communale des études de dangers départementales, et des éléments figurant en § 3.6.2 du présent chapitre, ce facteur de risque n'est pas retenu en tant qu'évènement initiateur d'une fuite de gaz pour le tracé courant enterré.  En revanche, pour les installations annexes et les canalisations à l'air libre, ce facteur de risque peut être retenu en tant qu'évènement initiateur d'une fuite de gaz, au regard des éléments issus de l'analyse de risque de l'industriel concerné.  A l'inverse les effets des scénarios des ouvrages GRTgaz sur ces installations sont examinés et les mesures à mettre en œuvre, si nécessaire, sont étudiées en concertation avec l'industriel concerné.
	Chute d'avion Cf. § 3.6.6	Ces facteurs de risque ne sont en général pas retenus en tant qu'évènements initiateurs d'une fuite de gaz.
	Eoliennes cf. § 3.6.8	
	Epanchage de produits chimiques Cf. § 3.6.7	Compte tenu des mesures prises en conception, construction et en exploitation, ce facteur de risque conduit au plus à des fuites de taille limitée (petite brèche de 12 mm sur le tracé courant enterré).
Sources de dangers d'origine interne		
<b>Dangers liés à la qualité de l'ouvrage</b> Cf. § 3.3	Fragilité des aciers	Compte tenu du retour d'expérience et de l'ensemble des mesures prises en conception, construction et en exploitation, ces facteurs de risque conduisent au plus à des fuites de taille limitée (petite brèche de 12 mm sur le tracé courant enterré, les canalisations à l'air libre et perforation limitée de 5 mm sur les installations annexes).
	Défauts de matériaux	
	Défauts de construction	
	Résistance à la pression	
	Fatigue des matériaux	
<b>Dangers liés au transport du fluide</b> Cf. § 3.4	Abrasion	
	Corrosion interne	
<b>Dangers liés à l'exploitation et maintenance de l'ouvrage</b>	Défaut d'étanchéité Cf. § 3.7.1	Compte tenu du retour d'expérience et de l'ensemble des mesures prises en conception, construction et en exploitation, ces facteurs de risque conduisent au plus à des fuites de taille limitée (perforation limitée de 5 mm sur les installations annexes).
	Suppression Cf. § 3.7.2	



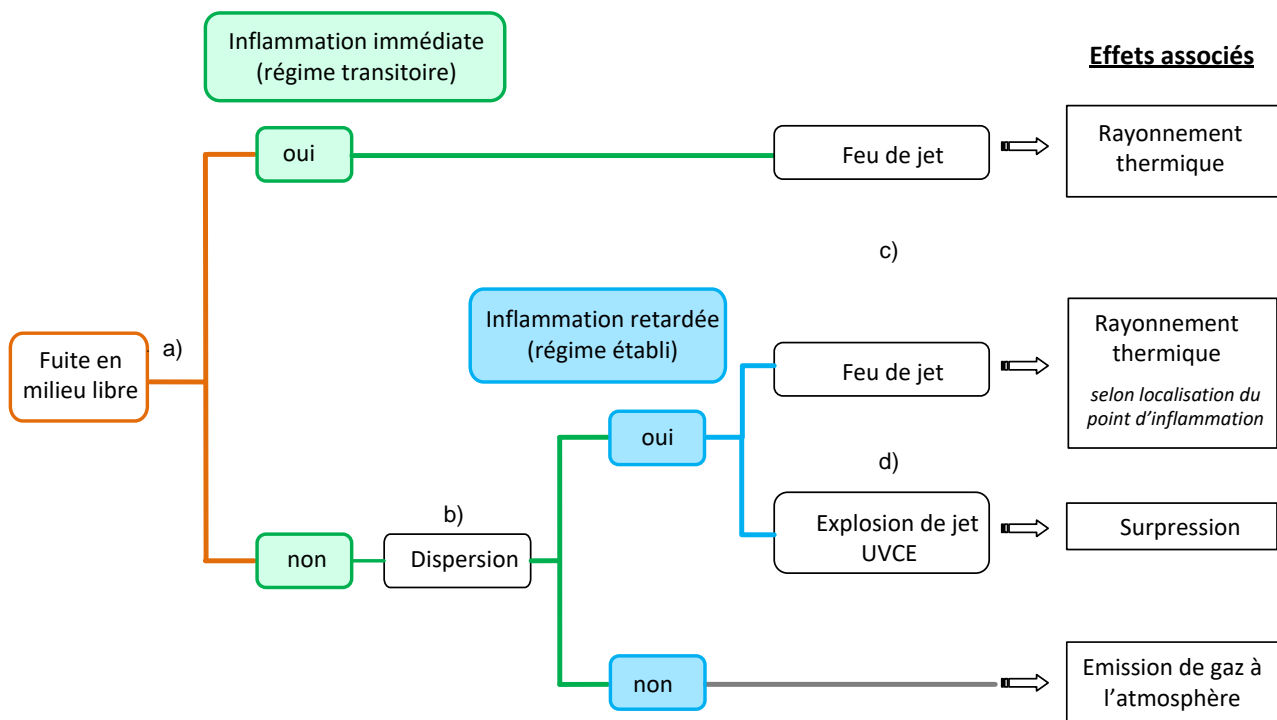
Type	Facteur de risque	Scénario de fuite associé
	Effets domino internes	La configuration des installations annexes simples, essentiellement linéaires et hors zones confinées, justifie la non prise en compte d'un effet domino de l'installation sur elle-même. Elle permet donc d'exclure la rupture des tuyauteries principales pour cause d'effets domino thermiques.  Pour les installations annexes complexes, (de type interconnexion) l'analyse de risques peut conduire à retenir des scénarios effets domino internes potentiels initiés par les scénarios retenus en Chapitre 6 - § 1.3.

**Tableau n° 13 :** Lien entre les facteurs de risques identifiés dans l'analyse qualitative et les scénarios de fuite avec inflammation retenus dans l'analyse quantitative.

Remarque : bien que les ouvrages en polyéthylène ne soient concernés que par le facteur de risque travaux tiers (cf. § 3.6.1), les scénarios de fuites et leurs fréquences retenus dans l'analyse quantitative de risque pour ces canalisations sont, de façon conservatoire, identiques à ceux des canalisations enterrées en acier.

#### 4.1.3. Les phénomènes dangereux potentiels

L'arbre des évènements suivant regroupe l'ensemble des phénomènes dangereux susceptibles d'être associés à une **fuite de gaz haute pression** en milieu libre.



**Figure n° 29 :** Arbre d'évènements associé à une perte de confinement (fuite) de gaz en milieu libre

#### 4.1.3.a) La surpression à la rupture

A l'instant de la rupture de la canalisation, la détente du gaz passant de la pression du réseau à la pression atmosphérique provoque une libération brutale d'énergie. Ce phénomène se matérialise par une onde sonore souvent perçue comme une « explosion » et une onde de surpression. Seule une partie de l'énergie contribue à l'onde de pression, le reste est absorbé lors de la rupture et éventuellement par la projection de terre conduisant à la formation du cratère qui va découvrir la canalisation. Ce phénomène est très bref et conduit à des surpressions (au maximum d'une centaine de millibar) dans un environnement limité autour du point de rupture (quelques dizaines de mètres au maximum pour les canalisations de gros diamètre).

#### 4.1.3.b) La dispersion

Très rapidement, le gaz est évacué à l'atmosphère sous forme d'un jet compte tenu de la pression présente dans la canalisation. Le gaz se mélange à l'air ambiant pour former un panache. La dispersion d'un jet de gaz naturel en milieu libre met en évidence plusieurs éléments :

- la taille du jet est liée à la taille de la brèche,
- un jet de gaz naturel ne dérive pas au sol même dans le cas de rejet horizontaux ; le gaz naturel étant plus léger que l'air, le gaz s'élève naturellement en hauteur lors de la phase de dilution,
- le vent réduit la taille du panache, en revanche la stabilité atmosphérique a peu d'influence sur les dimensions de celui-ci,
- le panache décroît en fonction du temps tant que le régime stabilisé n'est pas atteint,
- une très faible proportion des quantités rejetées contribue à la partie inflammable du jet, c'est-à-dire la zone dans le panache comprise entre la limite inférieure d'inflammabilité (LII/LIE) et la limite supérieure d'inflammabilité (LSI/LSE).

#### 4.1.3.c) L'inflammation périphérique du jet (feu de jet)

Si une source d'inflammation est présente dans l'environnement immédiat de la brèche (par exemple engin à l'origine de l'agression), le panache de gaz s'enflammera quasi instantanément et laissera place à un feu torche dégageant dans l'atmosphère une quantité importante de chaleur et produisant un rayonnement thermique intense jusqu'à la maîtrise de l'accident (isolement du tronçon considéré et mise à l'évent de celui-ci). Dans ce cas, la propagation de la flamme se faisant de l'extérieur vers l'intérieur du panache, les effets de pression associés à ce type d'inflammation ne sont pas significatifs (< 20 mbar). Il en sera de même si cette inflammation périphérique intervient dans un certain laps de temps après la perte de confinement.

#### 4.1.3.d) L'inflammation au cœur du jet (UVCE)

Si l'inflammation est initiée par une source au cœur du jet, les premiers effets associés seront d'ordre mécanique par la surpression associée au développement de la flamme depuis le cœur du panache jusqu'à sa périphérie. Ce phénomène est relativement rapide. A la suite prend place un jet enflammé comme explicité ci-dessus.

### ☐ Analyse du phénomène d'UVCE

D'une manière générale, il est admis par la communauté scientifique que le phénomène d'UVCE\* « Unconfined Vapor Cloud Explosion », générant des surpressions notables, comprend plusieurs étapes :

- le rejet à l'atmosphère d'un gaz plus lourd que l'air ou d'un liquide volatil dont les vapeurs sont plus lourdes que l'air, qui se répand et s'accumule au niveau du sol,
- des conditions météorologiques très calmes, conduisant à un mélange inflammable avec l'oxygène de l'air, le nuage formé est susceptible de se déplacer par rapport au point d'émission,
- un allumage différé au cœur du nuage ainsi formé,
- et enfin le nuage doit être suffisamment volumineux lors de l'inflammation pour permettre une accélération significative de la flamme, accélération proportionnelle aux effets de surpression générés. Ceux-ci sont prépondérants aux effets thermiques.

### ☐ Evaluation des conditions de formation d'un « nuage » pour un rejet de gaz naturel sous pression

La possibilité pour qu'un rejet de gaz naturel puisse conduire lors de son inflammation à un UVCE, nécessite de réunir les conditions ci-dessus. Leurs pertinences pour les différentes conditions de rejets étudiés dans les études de dangers des installations du réseau de transport de GRTgaz sont examinées ci-après.

Les différentes conditions de rejet et en particulier l'orientation du rejet est le facteur prépondérant à examiner.

Dans le cas des rejets verticaux associés aux pertes de confinement accidentelles se produisant sur les installations de transport de gaz, tant enterrées qu'aériennes, il y a formation d'un panache s'élevant rapidement en altitude sous l'effet de la vitesse.

Par ailleurs l'autre paramètre clé à prendre en compte est la densité du gaz naturel. Il contient en majorité du méthane (densité 0,55 dans les conditions standard de température et pression) et sa densité varie de 0,55 à 0,65 en fonction des gaz qui le composent. Au même titre que le méthane, le gaz naturel est un gaz plus léger que l'air, qui en cas de rejet vertical, en milieu libre, s'élèvera naturellement.

- ➔ Il n'y a donc pas formation de nuage comme dans le cas des gaz lourds qui restent à proximité du sol en cas de perte de confinement.

En cas de rejets horizontaux, même s'il existe une zone d'interaction avec le sol, le panache se relève à l'extrémité. Ainsi la part de mélange inflammable présente à un instant t au niveau du sol sera relativement limitée dans le cas des rejets horizontaux. Il n'y a ni accumulation de gaz au sol, ni évolution spatiale du panache (extension) après la phase d'établissement du jet.

Sous l'effet de la pression, le rejet de gaz naturel se matérialise par un panache pour lequel les vitesses restent relativement importantes (de l'ordre d'une vingtaine de m/s pour une brèche de 50 mm pour les rejets en interaction avec le sol) devant la vitesse du vent dans toute la zone inflammable. La vitesse importante du gaz permet d'éviter une dispersion passive pouvant causer une dilution lente et la formation d'un nuage stable et de grande taille.

- ➔ Il n'y a donc pas formation d'un nuage au sens strict du terme. Toutefois la partie inflammable du panache présente au sol est souvent assimilée à un nuage.

### ☐ Critères relatifs à l'inflammation

Pour considérer un phénomène d'UVCE, l'inflammation au cœur du panache inflammable d'un jet établi doit être une inflammation retardée ; cela suppose donc que :

- en cas de source d'inflammation préexistante, d'une part celle-ci n'ait pas enflammé le jet lors de son établissement et d'autre part elle soit suffisamment résistante pour ne pas être chassée par le jet compte tenu de la vitesse d'écoulement dans celui-ci,
- si elle apparaît après l'établissement du jet, elle doit réunir les critères suivants à savoir une taille au moins égale à la taille des tourbillons présents au cœur du panache ( $\varnothing \sim 10$  cm) pour que la flamme puisse s'établir et se développer au cœur du panache et une énergie suffisante ( $T > 1000^\circ\text{C}$ )<sup>29</sup>.

Pour les rejets verticaux, au regard de ces conditions, il est admis que le critère d'inflammation est physiquement impossible. En effet la partie inflammable du jet se trouve à plusieurs dizaines voire quelques centaines de mètres de hauteur par rapport au sol.

Pour les rejets horizontaux, l'INERIS note dans son rapport<sup>25</sup>, les sources potentielles suivantes :

- soit un équipement non ATEX,
- soit un bâtiment avec des sources d'inflammation pouvant être le siège d'une explosion primaire suite à la pénétration du gaz dans celui-ci, la flamme liée à cette explosion étant alors la source d'inflammation du panache, se trouvant à l'extérieur autour dudit rejet.

En cas de perte de confinement liée à un effet domino thermique et quelle que soit l'orientation du rejet, il est admis que l'UVCE n'est pas à retenir compte tenu que l'évènement initiateur de la rupture apporte également la source d'inflammation et que le jet s'enflammera dans les premiers instants.

### ☐ Critères de confinement

Le critère de confinement dans la zone d'expansion du jet est à examiner uniquement dans le cas des rejets horizontaux.

Pour les rejets horizontaux, la présence du sol et éventuellement des obstacles dans le panache, confèrent un niveau d'encombrement qui peut conduire respectivement à une augmentation locale de la surpression du fait de la limitation de l'expansion des gaz brûlés, à une accélération de flamme induite par la turbulence générée au voisinage des obstacles et donc à des surpressions plus élevées qu'en l'absence d'obstacles.

De manière générale, les sites industriels de GRTgaz (stations de compression, stations d'interconnexion) ne présentent pas de zone confinée (en extérieur) de nature à générer des turbulences importantes lors du développement de la flamme en cas de rejet horizontal. De même, l'environnement des installations annexes simples est en général dégagé.

Par contre si le jet horizontal venait en interface avec une zone à fort encombrement (par exemple : bois dense, installations industrielles voisines) alors les effets liés au confinement sont à intégrer dans l'évaluation de la surpression générée.

---

<sup>29</sup> Rapport INERIS DRA -11-121908-13993A Décembre 2011 – Etude des sources d'inflammation physiquement possible d'un jet turbulent

Par ailleurs, en cas de perte de confinement (rejet horizontal ou impactant) dans une fosse ouverte, très rapidement la fosse sera saturée en gaz (100% gaz à l'intérieur de celle-ci), la zone inflammable se développe alors au-dessus de la fosse dans un environnement libre et dépourvue de source d'inflammation au cœur de la zone inflammable. Il n'y a donc pas lieu de retenir le phénomène d'UVCE dans ce cas.

**Pour les rejets verticaux, les effets de surpression liés à au phénomène d'UVCE ne sont donc pas quantifiés.**

**Pour les rejets horizontaux, les effets de surpression sont quantifiés au cas par cas selon les configurations rencontrées localement.**

#### 4.1.3.e) Le Flash-fire

Le terme anglo-saxon flash-fire est traduit par feu de nuage dans les documents de référence relatifs aux études de dangers. Il s'agit plus précisément de feu « éclair » surtout rencontré dans les espaces confinés (*bâtiment*), issu de l'inflammation spontanée d'un volume limité de gaz chauds lors d'un incendie préalable.

Dans le cas des "nuages", ce phénomène est apparenté à une combustion lente et "non-accélérée" d'un nuage de gaz inflammable à l'air libre dont l'inflammation est retardée, c'est-à-dire en considérant l'extension maximale du nuage et une inflammation en périphérie contrairement à l'UVCE où l'inflammation est centrale.

Pour le cas d'un gaz léger, en cas d'inflammation périphérique du jet soit dans les premiers instants soit sur un jet établi, le phénomène de propagation de la flamme est quasi instantané et le feu s'établit. Le front de flamme s'étend dans l'ensemble du panache inflammable pour constituer le feu de jet. La longueur du panache inflammable est très proche de la longueur du feu jet. Dans le cas d'un rejet en régime stabilisé, la flamme n'évolue pas spatialement tant que la source n'est pas coupée, contrairement au nuage de gaz lourd qui diminue au fur et à mesure de sa consommation par l'incendie.

Il est important de distinguer l'inflammation d'un jet de gaz léger comme le gaz naturel de l'inflammation d'un nuage de gaz lourd. Pour un gaz lourd, la flamme a une extension plus importante au moment de l'inflammation car elle se développe dans une zone où le gaz, plus lourd que l'air, s'est accumulé. Une fois cette accumulation consommée, la flamme se limite à un feu de jet ou de nappe de plus petite taille.

Ces deux types de rejet mettent en avant des différences au niveau des zones affectées par les effets en fonction du type d'inflammation immédiate ou retardée :

- pour l'inflammation immédiate :
  - × dans le cas du feu de nappe, les effets du rayonnement sont limités au champ proche de la nappe,
  - × alors que dans le cas du rejet sous pression les effets du rayonnement atteignent très rapidement le champ lointain.

- pour l'inflammation retardée :
  - × dans le cas de la nappe, un nuage a pu se former dépassant largement le périmètre de la nappe initiale et s'enflammer en périphérie dans un périmètre éloigné de la source,
  - × dans le cas du rejet sous pression, le jet est établi et n'évolue pas spatialement, l'inflammation en périphérie n'affecte pas la taille du panache enflammé par rapport à la configuration initiale.

D'où pour le flash-fire de nuage de gaz lourd, posé au sol, la distance des effets létaux est assimilée à la distance à la LIE car il est considéré que si une personne se trouve sur le parcours des gaz brûlés, elle est susceptible de subir l'effet léthal avec une probabilité élevée et toute personne en dehors du nuage ne subira pas d'effet thermique léthal puisque l'inflammation de la partie de gaz est relativement brève par rapport à un jet établi enflammé (*qui nécessite la coupure de la source pour décroître*).

Pour les rejets de gaz naturel sous pression, le gaz plus léger que l'air ne s'accumule pas au sol, la longueur de flamme est du même ordre de grandeur que la LIE (*voire supérieure*), cela confirme que les effets thermiques dus à un rejet de gaz naturel sont déterminés par le phénomène feu de jet et non par celle de flash fire appliquée par similitude.

**<sup>30</sup>Pour les rejets verticaux, la dispersion du gaz s'effectue de manière ascendante selon un axe proche de la verticale au droit du rejet, la partie inflammable du panache est donc située en altitude. Les effets du flash-fire pour une personne située au niveau du sol sont donc négligeables, devant les effets radiatifs du feu torche.**

**Pour les rejets horizontaux, lorsque les effets radiatifs du feu torche conduisent à ne pas calculer de distances d'effets pour une personne située au niveau du sol, la distance d'effets indiquée dans l'étude de dangers correspond à la longueur de flamme, représentative des effets létaux du flash-fire.**

#### 4.1.4. Intensité des phénomènes dangereux

La quantification des phénomènes dangereux – en particulier l'intensité – mettant en œuvre le gaz naturel est réalisée à partir de modèles permettant de simuler les phénomènes physiques associés au rejet de gaz naturel sous pression enflammé ou non. Pour chacun de ces phénomènes physiques, les modèles développés par Gaz de France puis Engie ont fait l'objet de validation à travers des essais réalisés en partenariat avec d'autres sociétés gazières internationales afin de vérifier que les résultats obtenus par le calcul étaient proches (voire plus pénalisants) que les phénomènes observés en réalité. L'ensemble de ces modèles est regroupé dans la plate-forme logicielle PERSEE<sup>© Engie</sup>, développée par Gaz de France puis le groupe Engie. Ces modèles permettent de prédire les distances d'effets liées aux scénarios de rejet de gaz sous pression. Ils sont présentés en Annexe 4 « Présentation des phénomènes physiques, des modèles utilisés et de leur validation ». La Figure n° 30 présente l'enchaînement retenu pour les calculs des effets sur les personnes et les structures.

<sup>30</sup> INERIS-DRA-10-111642-01486D « DRA-51 Distances d'effets de scénarios accidentels impliquant des canalisations de transport et de distribution de gaz naturel. Rapport final »

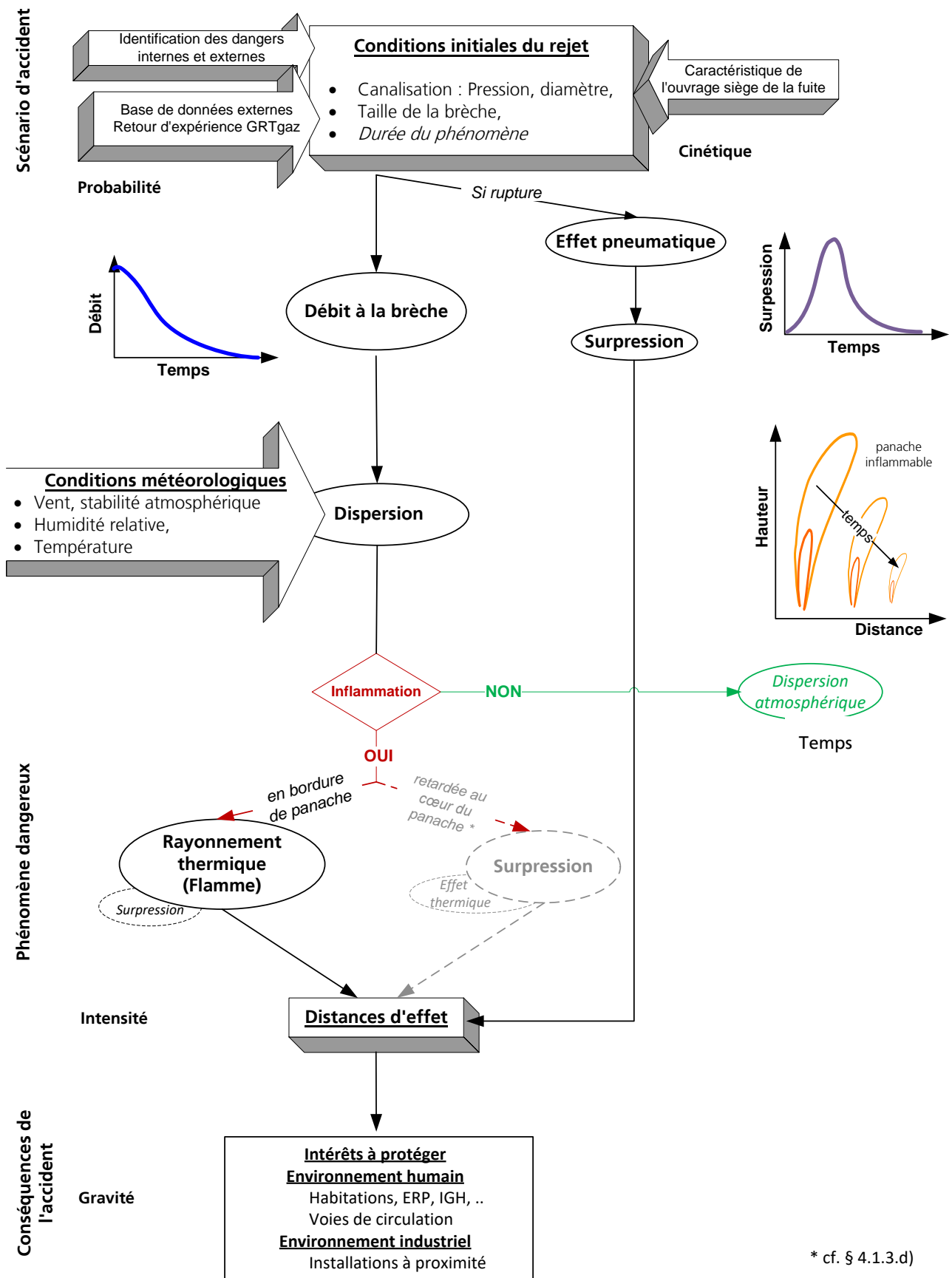


Figure n° 30 : Méthodologie retenue pour la quantification des effets des scénarios

## 4.2. Modélisation

### 4.2.1. Calcul du débit de gaz émis à l'atmosphère

Les effets d'un phénomène dangereux (rayonnement thermique et surpression) sont estimés en fonction de l'évolution du débit de gaz à la brèche du scénario d'accident considéré :

- pour les scénarios de brèche (petite ou moyenne), le débit n'évolue pas ou très peu au cours du temps tant que la fuite n'est pas isolée ;
- pour les scénarios de rupture de canalisation, le débit de gaz va décroître depuis une valeur initiale élevée jusqu'à se stabiliser après quelques minutes. L'évolution du débit dépend également des éventuelles coupures d'alimentation (isolement de fuite) ;

L'ensemble des lois et des hypothèses prises permet de calculer le débit de gaz s'échappant en cas de fuite en fonction notamment de la pression initiale, de la taille de la brèche, du diamètre et de la longueur de la canalisation concernée et des conditions d'alimentation.

La pression initiale est supposée égale à la Pression Maximale en Service (P.M.S) de l'ouvrage, ce qui est majorant puisque la pression réelle dans la canalisation est généralement inférieure à la P.M.S.<sup>(\*)</sup>. Le détail des hypothèses de calcul, pour le tracé courant, est présenté en annexe n° 5.

### 4.2.2. Étude de la dispersion du jet de gaz naturel

Le gaz naturel est inflammable lorsque sa concentration volumique dans l'air est comprise entre 5% et 15%. L'étude de la dispersion du jet de gaz naturel dans l'atmosphère a pour objectif de définir les contours de la partie inflammable du panache de gaz en fonction de différents paramètres qui peuvent l'influencer (vitesse du vent, inclinaison du jet), et de pouvoir ainsi déterminer la zone d'inflammabilité du gaz naturel.

Pour les canalisations enterrées, les panaches de dispersion sont étudiés dans les conditions suivantes :

- rejet vertical qui correspond vraisemblablement au rejet produit suite à une rupture ou à une perforation de la canalisation enterrée ; les bords du cratère formé orientant alors le jet à peu près verticalement,
- vitesse de vent : 5 m/s, ce qui correspond à un vent représentatif pour la France sauf dans quelques départements du sud de la France pour lesquels un vent de 10m/s est retenu.

Les études expérimentales de la dispersion d'un jet de gaz naturel en milieu libre mettent en évidence les conclusions suivantes, considérées comme hypothèses de calcul :

- une très faible proportion des quantités rejetées est inflammable,
- un jet inflammable de gaz naturel ne dérive pas,
- le volume inflammable décroît en fonction du temps pour les rejets associés à la rupture,
- une inflammation différée a des effets plus faibles qu'une inflammation dans les premiers instants.



### 4.2.3. Étude de la surpression en cas d'inflammation

La surpression associée à l'inflammation d'un panache de gaz sous pression est fortement liée à la localisation du point d'inflammation.

En cas d'inflammation en périphérie du panache inflammable, une légère onde de surpression est engendrée au moment de cette inflammation. Il est admis que cette surpression est inférieure aux surpressions significatives retenues pour l'évaluation des effets sur les personnes et les structures.

En cas d'inflammation au cœur du panache inflammable, une onde de surpression plus importante peut survenir.

L'inflammation au cœur du panache d'un jet établi n'est pas retenue pour les rejets verticaux (cf. § 4.1.3.d).

Pour les rejets horizontaux hors effet domino thermique, le calcul de surpression est réalisé en considérant une inflammation retardée (rejet établi) sur la base du débit moyen dans les premiers instants (0 -30s) qui suivent le début de la fuite. L'effet maximal est ainsi évalué. L'objectif de la modélisation est d'être capable de déterminer les niveaux de surpression atteints afin d'évaluer les dégâts susceptibles d'être occasionnés sur le milieu environnant. Le modèle retenu pour la détermination du niveau de surpression et sa validation est présenté en Annexe n° 5 ; il s'agit du modèle de déflagration à vitesse variable qui permet de prendre en compte l'influence de la turbulence au cœur du panache sur le développement de la flamme pour les rejets en milieu libre, et la méthode multi-énergie pour les rejets en milieu congestionnés (présence importante d'obstacle susceptible d'augmenter la turbulence initiale du jet).

### 4.2.4. Étude du rayonnement thermique

L'inflammation du rejet est supposée avoir lieu dans les tous premiers instants après le début de la fuite ; la source d'inflammation étant soit apportée par l'événement initiateur de la fuite, soit indépendante de celui-ci.

En cas d'inflammation du panache de gaz, les personnes et les biens sont soumis au rayonnement thermique émis par la flamme. La grandeur requise pour caractériser le rayonnement thermique reçu à une distance donnée de la flamme est le flux thermique, exprimé en kW/m<sup>2</sup>. Les dommages occasionnés sont directement liés au niveau de flux thermique.

La « dose thermique » permet de prendre en compte que, lors d'un accident, l'observateur n'est généralement pas soumis à un flux thermique constant entre les premiers instants et le moment où il se déplace. Cette dose correspond au cumul dans le temps de la valeur de chaque flux thermique reçu. Cette dose thermique s'exprime sous la forme d'une intégrale sur la durée :

$$\text{Exposition ou dose} = \int_{\text{temps}} I(t)^{4/3} \cdot dt$$

temps : durée de l'exposition au rayonnement thermique  
I(t) : flux thermique reçu (flux variable dans le temps) en kW/m<sup>2</sup>.

L'unité de la dose thermique est le « (kW/m<sup>2</sup>)<sup>4/3</sup>.s

Cette notion permet de mieux évaluer les effets sur les personnes, notamment lorsque le flux est variable. Des études statistiques conduites par Eisenberg sur des cas de brûlures accidentelles ont permis d'évaluer les conséquences physiologiques de l'exposition au rayonnement thermique. Ces travaux ont été repris et complétés par Lees (et sont décrits plus en détail en Annexe n° 4).

La notion d'exposition pour évaluer les effets du rayonnement thermique sur les personnes, le niveau d'exposition critique retenu et les valeurs de référence sont issus de l'annexe n° 6 du guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014.

L'évaluation de l'échauffement thermique d'une canalisation en acier haute est présentée en Annexe n° 4.

### 4.3. Échelles relatives à l'intensité

L'évaluation de l'intensité<sup>(\*)31</sup> est réalisée à partir des résultats des modélisations, indépendamment de l'environnement de l'installation (existence ou non de cibles exposées).

Elle permet de déterminer les zones d'effets potentielles des différents scénarios de fuite d'après des valeurs seuil définies dans l'annexe n° 2 de l'arrêté du 29 septembre 2005 *relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation* et rappelées dans l'annexe n° 6 du guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014 :

- Seuil des effets irréversibles (IRE) : délimitant la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine »
- Seuil des premiers effets létaux (PEL) : délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine »
- Seuil effets létaux significatifs (ELS) : délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine »

#### Pour les effets sur l'homme

Critère des effets redoutés de surpression	Pour chaque scénario de référence
200 mbar	Seuil des effets létaux significatifs délimitant la « zone de dangers très graves pour la vie humaine »
140 mbar	Seuil des effets létaux délimitant la « zone de dangers graves pour la vie humaine »
50 mbar	Seuil des effets irréversibles délimitant la « zone de dangers significatifs pour la vie humaine ». Limite de blessures significatives

<sup>31</sup> Intensité : Mesure physique de l'intensité du phénomène (thermique, surpression, projections). Les échelles d'évaluation de l'intensité se réfèrent à des seuils d'effets moyens conventionnels sur des types d'éléments vulnérables [ou cibles] tels que « homme », « structures »...

Rayonnement thermique : critère des effets redoutés	Pour chaque scénario de référence
1800 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> .s 8 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des effets létaux significatifs (ELS) délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine ». Ce seuil peut correspondre à une distance d'évacuation préventive des habitations (périmètre de dangers).
1 000 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> .s 5 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des premiers effets létaux (PEL) délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine ». Sensation de douleur après 15 secondes d'exposition des parties du corps non vêtues. Ce seuil peut correspondre à une distance d'approche des professionnels d'intervention correctement équipés (périmètre d'approche).
600 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> .s 3 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des effets irréversibles (IRE) délimitant la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine ». Valeur maximum du flux thermique que peut supporter la peau nue pendant 60 secondes sans subir de brûlures du premier degré. Ce seuil peut correspondre à une distance d'éloignement du public en cas d'accident (périmètre de sécurité).

**Tableau n° 14 : Tables des seuils réglementaires d'évaluation des effets de la surpression et du rayonnement thermique sur les personnes**

Pour les effets sur les structures

Critère des effets redoutés de surpression	Pour chaque scénario de référence
300 mbar	Seuil des dégâts très graves sur les structures
200 mbar	Seuil des effets domino
140 mbar	Seuil des dégâts graves sur les structures (destruction de 50% des maisons en briques, panneaux de bardage métallique en tôle non renforcés soufflés)
50 mbar	Seuil des dégâts légers sur les structures
30 mbar	Dégâts très légers aux structures, destruction de 50 % des vitres
20 mbar	Seuil des destructions significatives des vitres, seuil des effets délimitant la zone des effets indirects par bris de vitres sur l'homme

Rayonnement thermique : critères des effets redoutés	Pour chaque scénario de référence
200 kW/m <sup>2</sup>	Seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes
20 kW/m <sup>2</sup>	Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures en béton
16 kW/m <sup>2</sup>	Seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures en béton
8 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des dégâts graves sur les structures et apparition des premiers effets domino
5 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des destructions de vitres significatives

**Tableau n° 15 :** Tables des seuils réglementaires d'évaluation des effets de la surpression et du rayonnement thermique sur les structures

#### 4.4. Gravité des phénomènes dangereux

La gravité des conséquences potentielles prévisibles sur les personnes, résulte de la combinaison en un point de l'espace de l'intensité des effets d'un phénomène dangereux et de la vulnérabilité des personnes potentiellement exposées.

La gravité du scénario est liée essentiellement à l'environnement de l'ouvrage, c'est-à-dire à la densité de présence des personnes (habitations, voies de circulation importante, ERP, ...), à leur capacité à s'enfuir ou à leur possibilité de s'abriter. Le nombre de personnes exposées aux effets d'un scénario, en un point de l'ouvrage donné, est le nombre maximum de personnes situées dans le cercle des effets pris en compte (effets létaux significatifs ou premiers effets létaux). Ce cercle est glissant le long de l'ouvrage.

Les modalités de recensement des populations au voisinage de l'ouvrage et du trafic sur les voies de circulation sont indiquées dans l'annexe n° 7 du guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014 et rappelées en Annexe n° 6. Ces éléments font l'objet d'un décompte spécifique pour chaque canalisation.

Le taux d'occupation est par défaut pris à 100%, ce qui correspond à une occupation permanente, sauf cas particulier traité au cas par cas dans l'étude spécifique.

#### 4.5. Evaluation des effets domino

##### 4.5.1. Généralités

Pour les installations du réseau de transport de gaz, **l'effet domino** est l'action d'un phénomène dangereux initial affectant une canalisation ou une installation annexe qui pourrait déclencher un autre phénomène sur une installation annexe ou un établissement tiers voisin, conduisant à une aggravation générale en terme de conséquences (augmentation des distances d'effets conduisant à l'exposition de plus de personnes et/ou apparition d'un nouveau phénomène dangereux).

Pour qu'il y ait effet domino, il est donc nécessaire que l'intensité d'un incident donné soit suffisante pour entraîner la perte de confinement d'un équipement présent dans la zone d'effets, et que cette perte de confinement ait des effets plus importants que ceux de l'incident initial.

En l'absence d'aggravation des effets, il sera fait référence à la notion d'interaction entre ouvrages. Dans ce cas, ces événements ne sont pas retenus pour l'évaluation de la probabilité finale du phénomène dangereux résultant. Ils sont quantifiés de manière déterministe.

La possibilité d'apparition d'un effet domino est examinée, pour chacun des phénomènes redoutés :

- au niveau de la gravité, en fonction de l'intensité des phénomènes accidentels dus à la détérioration (à cause de l'échauffement progressif ou de l'effet de la surpression) des installations voisines ;
- au niveau de la probabilité, en fonction du nombre d'équipements proches potentiellement sources d'un effet domino et de la présence de points d'allumage dans la zone inflammable du rejet.

#### 4.5.2. Seuils réglementaires

D'après l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation, les effets à considérer pour la détermination des effets domino sont la surpression et le flux thermique. Les seuils à partir desquels les effets domino doivent être examinés sont respectivement :

- pour la surpression : 200 hPa ou mbar,
- pour le flux thermique : 8 kW/m<sup>2</sup>,

une modulation étant possible en fonction des matériaux et structures concernés.

#### 4.5.3. Approche retenue

Pour l'examen des effets domino vers les établissements tiers voisins, GRTgaz communique de façon systématique avec les industriels sur la base de ces seuils réglementaires. La partie spécifique de l'étude de dangers traite au cas par cas les configurations rencontrées. Des seuils différents des seuils réglementaires peuvent être retenus au regard des informations transmises, en retour, par les industriels, pour l'examen des éventuelles mesures à mettre en place.

En ce qui concerne les installations exploitées par GRTgaz, les seuils de référence d'examen des effets domino sont affinés afin de tenir compte de la spécificité des ouvrages. Les valeurs de références pour le rayonnement thermique et la surpression sont définies dans les paragraphes suivants.

##### 4.5.3.a) Effets domino thermiques

Pour les **installations gaz aérienne**, l'effet domino redouté est l'effet domino thermique. Il peut se produire :

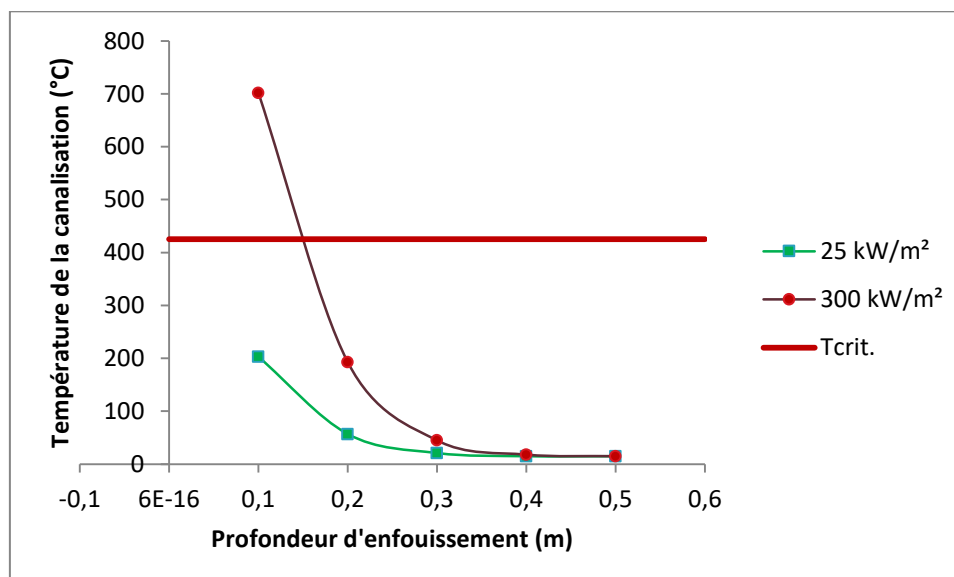
- Lorsqu'un premier accident mineur – rejet de gaz enflammé générant un **rayonnement thermique** suffisamment important dans l'environnement proche – n'est pas détecté suffisamment tôt. Il peut alors entraîner par ses effets dans le temps – élévation de température de la canalisation cible au-delà de la température critique de l'acier – un nouvel accident allant jusqu'à la rupture de la canalisation cible, rupture dont les conséquences sont en général plus

importantes que celles de l'événement initiateur. L'accidentologie montre que les canalisations en pression hors transit sont plus vulnérables que celles dans lesquelles le transit de gaz est maintenu.

- Par **interaction directe de la flamme** avec une autre canalisation aérienne à proximité. Dans ce cas, le temps d'apparition d'un effet domino est beaucoup plus court que précédemment et toutes les canalisations (en ou hors transit) sont potentiellement vulnérables, compte-tenu de la température qui règne au cœur de la flamme.

#### □ Par rayonnement thermique

En ce qui concerne les **canalisations enterrées**, tant pour le tracé courant que pour les sites clos, le risque d'interaction peut être écarté car la terre est un très bon isolant thermique. Dès 20 cm, l'épaisseur de terre apporte une protection suffisante pour écarter l'occurrence du phénomène d'effet domino par effet thermique (Cf Figure n° 31), ce qui est confirmé par l'accidentologie. Toutefois pour des canalisations en parallèle ou en croisement découvertes lors de la formation du cratère lié à un incident sur l'une des canalisations, le risque d'effet domino ne peut être totalement écarté. Ce point est abordé au Chapitre 7 - § 2.1.



**Figure n° 31 : Température de la canalisation en fonction de la profondeur d'enfouissement pour un DN 600 à 80 bar (classe de tube 100CP1)**

Pour les **canalisations aériennes**, l'accidentologie fait état d'effets domino thermiques. En effet dès lors qu'une canalisation à l'air libre est exposée à un rayonnement thermique, la température dans le matériau augmente, sa limite d'élasticité diminue. Au-delà d'une certaine température, l'acier entre dans son domaine élasto-plastique (début des déformations irréversibles). Par ailleurs, un phénomène de fluage apparaît dès que la température de l'acier dépasse 425°C c'est-à-dire que pour une force constante le matériau continue de se déformer et peut atteindre le domaine plastique très rapidement. De façon conservatrice, le flux critique retenu pour l'évaluation des effets domino est celui conduisant à cette température seuil. Ainsi, en deçà de 425°C, les canalisations en acier, utilisées par GRTgaz, soumises à un flux thermique peuvent résister à la pression interne du gaz sans se rompre.

Le modèle ECHAUF, intégré à la plate-forme logicielle PERSEE<sup>© Engie</sup> permet d'estimer la température atteinte par des canalisations soumises à un flux thermique par résolution de l'équation de la chaleur. La canalisation métallique échange de l'énergie thermique avec les milieux qui l'environnent par convection et par rayonnement.

Ce modèle a été validé en comparaison à des essais réalisés par l'INERIS. Le flux critique dépend de plusieurs paramètres (nature de l'acier, diamètre de la canalisation, épaisseur, pression interne, durée d'exposition).

Pour les canalisations utilisées sur les installations annexes de transport de gaz, le seuil des effets domino « internes » est bien supérieur au seuil de 8 kW/m<sup>2</sup> retenu en première approche pour l'examen des effets domino « externes ». Les seuils retenus pour l'évaluation des effets domino sur les canalisations les plus sensibles, c'est à dire en pression hors transit aériennes ou en fosse, sont de l'ordre de 25 à 30 kW/m<sup>2</sup> en fonction du diamètre et de la PMS pour une durée d'exposition d'une heure. Pour une durée d'exposition moindre, le flux admissible est plus important. Pour les canalisations de DN < 150, le seuil retenu est porté à 40 kW/m<sup>2</sup> du fait d'une meilleure résistance de la canalisation aux contraintes thermiques du fait d'un rapport épaisseur sur diamètre plus important.

Les canalisations en pression et en transit sont exclues de cibles potentielles d'effet domino par rayonnement thermique car la circulation du gaz dans la canalisation permet d'abaisser la température de l'acier en absorbant une partie de la chaleur reçue par rayonnement thermique. La température critique de l'acier n'est pas atteinte. Ceci a notamment été observé lors des accidents de Saint Illiers (1996) de Ghislenghien (2004).

A Saint Illiers, les canalisations transitant du gaz et voisines de canalisation hors transit - rampes de régulation en parallèle – ont résisté alors qu'elles étaient soumises aux mêmes flux que celles qui ont rompu.

A Ghislenghien, une canalisation en transit, parallèle à celle qui a rompu, a résisté alors même qu'elle était mise à nu dans le cratère formé par la rupture.

Le graphique ci-après donne un exemple de l'évolution de la température de peau de la canalisation en fonction du flux auquel elle est exposée en prenant en compte ou non le transit dans la canalisation.

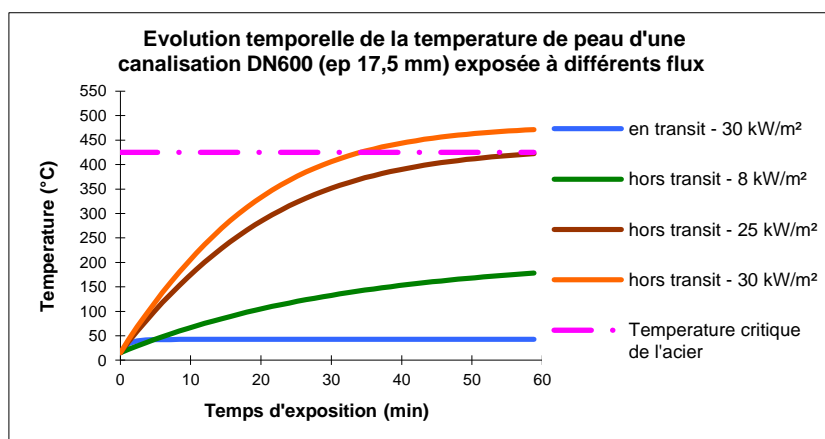


Figure n° 32 : Evolution de la température de peau d'une canalisation en acier soumise à différents rayonnements thermiques

Un rayonnement de 8 kW/m<sup>2</sup> ne conduit pas à un échauffement suffisant de la canalisation : la température de peau est de l'ordre de 150°C après une heure d'exposition et atteint un palier de 225°C au bout de 1h30.

Dans la zone d'effets domino définie, la rupture de la canalisation cible, matérialisée par une « boutonnière », apparaîtra sur la face la plus exposée au rayonnement thermique, à savoir :

- pour un rejet vertical initial, l'échauffement aura lieu sur la génératrice supérieure et l'ouverture de la canalisation conduira à un rejet vertical.
- pour un rejet horizontal initial, l'échauffement de la canalisation cible aura lieu sur la génératrice latérale, l'ouverture se matérialisera également par une boutonnière mais elle conduira à un rejet horizontal.

A noter qu'en première approche, il n'est pas tenu compte du calorifuge recouvrant certaines canalisations, mais celui-ci permet de retarder l'effet domino voire de le limiter.

Par ailleurs, sur les installations annexes, **certaines raccords isolants aériens** sont quant à eux plus sensibles au rayonnement thermique que les canalisations. En l'absence de données spécifiques de résistance au flux thermique, la valeur de 8 kW/m<sup>2</sup> est retenue par défaut.

#### ☐ Par interaction de flamme

Si la canalisation cible est située à l'intérieur de la flamme, il ne s'agit plus de rayonnement mais d'échauffement direct d'un tronçon de canalisation. L'échange de chaleur a lieu sur l'ensemble de la circonférence de la canalisation. La rupture qui en découle est une rupture de type « guillotine » et elle intervient plus rapidement que par effet du rayonnement.

**Les effets domino thermiques ne sont donc pas retenus sur les canalisations enterrées, l'épaisseur de terre qui les recouvre permettant de les protéger efficacement des effets du rayonnement thermique.**

**Pour les canalisations aériennes, les effets domino thermiques sont examinés pour des flux à partir de 25 kW/m<sup>2</sup> (ou 8 kW/m<sup>2</sup> si présence de raccords isolants aériens) et une durée d'exposition d'une heure ou lors de l'interaction directe de la flamme en considérant l'agression quasi immédiate.**

#### 4.5.3.b) Effets domino dû à la surpression

Le tableau suivant donne des ordres de grandeur de surpression, associés aux dommages observés lors d'incidents et accidents, issus de l'étude bibliographique de l'INERIS publiée dans le rapport MICADO – Décembre 2002.

Compte-tenu de l'épaisseur des canalisations pour les installations exploitées par GRTgaz, supérieure à celle des canalisations rencontrées classiquement sur les sites pétrochimiques dont est issu principalement le retour d'expérience des accidents, et de leur pression de calcul, les canalisations offrent une très bonne tenue mécanique à une onde de pression caractéristique d'une déflagration d'amplitude 200 mbar. Par conséquent, une surpression de 200 mbar n'est pas à même de causer la rupture directe de canalisations, utilisées pour les installations annexes du réseau de transport de gaz, au regard des valeurs mentionnées ci-dessous. D'après un complément de l'INERIS en



2010<sup>32</sup>, la surpression peut avoir des effets sur les canalisations de gaz haute pression à partir de 15 bar.

Effets	$\Delta P$ (mbar) MICADO (INERIS)
Lézardes et cassures dans les murs en béton ou parpaings non armé de 20 à 30 cm	150 - 250
Démolition des cadres en aciers légers	200
Rupture des structures métalliques et déplacement des fondations	200
Déformations légères d'un rack de canalisation	200 - 300
Déplacement d'un rack de canalisation, <b>rupture de canalisation</b>	350 - 400
Déplacement d'un réservoir de stockage circulaire ; Rupture des canalisations connectées	500 - 1000
Destruction de murs en béton armé	700 - 1000

**Tableau n° 16 : Tables d'effets de la surpression sur les structures**

Le support des canalisations, assuré par des plots en béton armé de faible hauteur (pas de pose sur rack), pourrait subir des fissurations sans pour autant conduire à sa ruine : les canalisations ne seraient donc pas touchées.

Seuls les équipements tels que les indicateurs ou boîtiers d'instrumentation, plus vulnérables aux effets de la surpression, seraient endommagés et pourraient conduire à une perte de confinement limitée de gaz. Les effets liés à la perte de confinement au niveau de ces équipements sont intégrés dans les ruptures de piquage. Par conséquent, il n'y a pas de nouveau scénario induit sur les installations GRTgaz par les effets de surpression.

**Les effets domino liés aux surpressions sont examinés au cas par cas dans l'étude spécifique uniquement pour les ouvrages GRTgaz aériens à proximité immédiate d'ICPE, à partir de surpressions externes supérieures à 200 mbar. De telles surpressions ne sont pas atteintes au niveau du sol pour les scénarios issus des installations GRTgaz.**

-ooOoo-

<sup>32</sup> INERIS, « Journée d'échanges DRIRE/DREAL-INERIS PPRT – stockages souterrains du 11/12/2009 – compte-rendu avec remarques des participants », DRA-10-109968-00271B, 15 mars 2010.



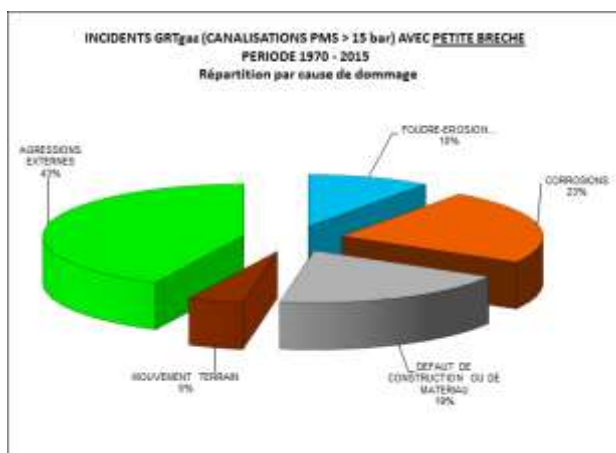
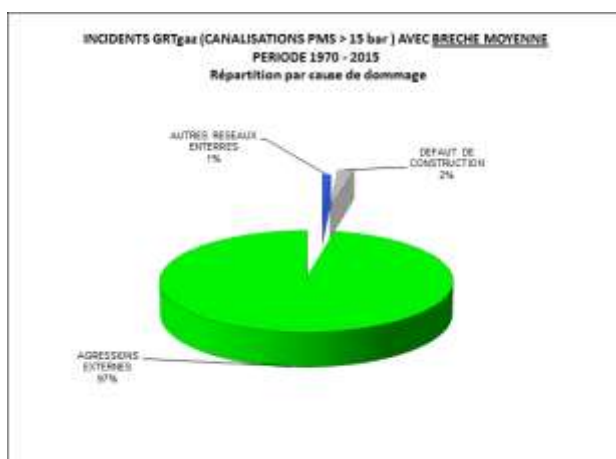
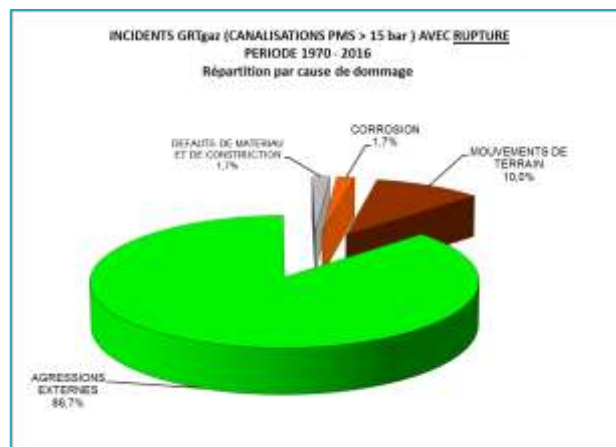
## **CHAPITRE 5. ANALYSE ET ÉVALUATION DU RISQUE : APPLICATION AU TRACÉ COURANT**



## 1. DÉFINITION DES SCÉNARIOS DE FUITE

Le guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014 relatif aux études de dangers définit les trois scénarios de fuite représentatifs liés aux facteurs de risque à étudier dans le cadre d'une étude de dangers :

- la rupture complète : correspondant principalement à une agression par un engin puissant avec ouverture de la canalisation. Les autres causes peuvent être des phénomènes naturels (mouvements de terrain ou de rivière). Les ruptures représentent 17 %<sup>33</sup> des rejets de gaz accidentels à l'atmosphère, tous diamètres confondus. 87 % des ruptures ainsi définies sont causées par l'agression d'un engin de travaux publics sur un ouvrage enterré.
- la brèche moyenne : couvre les pertes de confinement dont le trou a un diamètre compris entre 12 et 70 mm, correspondant principalement à une agression par une dent d'engin de travaux publics avec une perforation de la canalisation. La brèche moyenne ainsi définie représente 27 %<sup>32</sup> des dommages constatés. 97 % des brèches moyennes sont causées par l'agression d'une dent d'engin de travaux publics sur un ouvrage enterré.
- la petite brèche : couvre les pertes de confinement dont le trou a un diamètre compris entre 0 et 12 mm, correspondant à une fissure ou à une corrosion sur la canalisation. Les causes de ces incidents sont principalement les agressions d'engins de travaux publics, la corrosion, les défauts de matériaux, les défauts de construction et les mouvements de terrain. La petite brèche ainsi définie représente de loin le plus grand nombre des rejets de gaz accidentels à l'atmosphère survenus, à savoir 56 %<sup>32</sup>. 43 % des petites brèches sur un ouvrage enterré sont causées par l'agression d'engins de travaux publics et 23 % sont causées par une fissure ou une corrosion pour un ouvrage enterré.



<sup>33</sup> Les pourcentages indiqués dans ce paragraphe sont issus du retour d'expérience de GRTgaz sur la période 1970-2016.

GRTgaz retient pour la modélisation des phénomènes les bornes supérieures de taille de brèche.

Le tableau ci-après récapitule, par ordre décroissant, les brèches de référence retenues selon le facteur de risque considéré.

Brèche de référence retenue	Taille associée pour les modélisations	Facteurs de risque
Rupture	Diamètre de la canalisation	Travaux de tiers, mouvements de terrains <sup>34</sup>
Brèche moyenne	70 mm	Travaux de tiers
Petite brèche	12 mm	Travaux de tiers, corrosion, défaut de construction, défaut de matériaux, foudre, érosion, ...

**Tableau n° 17 : Scénarios retenus sur les canalisations en tracé courant**

## 2. TABLEAUX DES DISTANCES D'EFFETS

Les distances d'effets sont déterminées dans les cas standards à partir de données préétablies. Les hypothèses retenues sont celles qui figurent dans l'annexe n° 9 du guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014 et sont rappelées en Annexe n° 5. Elles intègrent l'éloignement des personnes.

Tous les DN sont indiqués dans les tables du guide GESIP. Pour les cas où la PMS est différente de celles indiquées dans les tables du guide GESIP, les distances d'effets sont recalculées à l'aide du logiciel PERSEE®. Les règles d'arrondi sont également respectées.

Pour l'étude de l'ensemble de ces scénarios, les hypothèses de calcul retenues seront résolument majorantes<sup>(\*)</sup> afin que les résultats obtenus couvrent l'ensemble des cas susceptibles de se produire.

### 2.1.1. Rupture complète d'une canalisation enterrée

Dans le cas de la rupture d'une canalisation de transport de gaz naturel, à la pression maximale en service, suivie de l'inflammation immédiate du rejet, le tableau de l'annexe n° 9 du guide GESIP présente les distances en mètres pour les seuils correspondant aux ELS, PEL et IRE exprimés en dose thermique respectivement 1800, 1000, 600 (kW/m<sup>2</sup>)<sup>4/3</sup>.s. Ce tableau est rappelé ci-après.

Ces distances d'effets génériques/enveloppes sont applicables sans justification complémentaire sur tout le territoire français, à l'exception des zones justifiant une analyse plus approfondie ou présentant des conditions particulières (par exemple : canalisations reliant 2 sites proches). Néanmoins, dans les départements suivants : Ardèche, Drôme, Aude, Pyrénées Orientales, Bouches du Rhône, Hérault, Gard, Var, Alpes-Maritimes, Vaucluse, Alpes de Haute Provence, Hautes Alpes, ces distances peuvent être localement majorées de 5 m pour tenir compte d'une vitesse de vent potentiellement supérieure.

<sup>34</sup> Dans le cas où l'environnement permet de justifier l'absence de mouvement de terrain important, le facteur de risque « mouvement de terrain important » n'est pas pris en compte conformément à l'annexe 4 du guide GESIP 2008/01 - Edition de janvier 2014.

PMS (bar) DN canalisation	25			40			67,7			80			94		
	ELS	PEL	IRE	ELS	PEL	IRE	ELS	PEL	IRE	ELS	PEL	IRE	ELS	PEL	IRE
80	5	5	10	5	10	10	5	10	15	5	10	20	10	15	20
100	5	10	10	5	10	15	10	15	25	10	15	25	15	20	30
150	10	15	25	15	20	30	20	30	45	25	35	50	25	40	55
200	15	25	35	20	35	50	35	55	70	40	60	80	45	70	90
250	25	40	50	35	50	70	50	75	100	55	85	110	65	90	120
300	35	50	70	45	70	95	65	95	125	75	105	140	85	120	155
350	45	65	90	60	85	115	85	120	155	95	130	170	105	145	185
400	55	80	105	75	105	140	100	145	185	110	160	200	125	175	220
450	65	95	125	85	125	160	120	165	205	135	185	235	150	205	255
500	75	110	145	100	145	180	140	195	245	155	210	265	170	235	295
600	100	140	180	130	180	230	180	245	305	200	270	335	220	295	365
650				145	205	255	200	270	340	225	300	370	245	330	405
700				165	225	280	225	300	370	245	330	405	275	365	445
750				180	245	305	245	330	405	270	360	440	300	395	485
800				195	265	330	270	355	435	295	390	480	330	430	525
900				230	310	380	315	415	505	350	455	550	385	500	605
1000				265	355	435	365	475	575	400	520	625	445	570	685
1050				285	375	460	390	505	610	430	555	665	470	610	725
1100				305	400	485	410	535	645	455	590	705	505	645	770
1200							470	600	720	510	655	780	565	720	850

**Tableau n° 18 : Distances d'effets (en mètres)  
pour le scénario de rupture de la canalisation enterrée (rejet vertical)**

La prise en compte d'une hypothèse sans éloignement des personnes ne conduirait pas à définir de mesures supplémentaires par rapport à celle éventuellement nécessitée par la rupture.

### 2.1.2. Brèche moyenne (canalisation enterrée)

Dans le cas d'une brèche moyenne (modélisée par une brèche de 70 mm) sur une canalisation de transport de gaz naturel, à la pression maximale en service, suivie de l'inflammation immédiate du rejet, le tableau de l'annexe n° 9 du guide GESIP présente les distances en mètres pour les seuils correspondant aux ELS, PEL et IRE exprimés en dose thermique respectivement 1800, 1000, 600 (kW/m<sup>2</sup>)<sup>4/3</sup>.s. Ce tableau est rappelé ci-après.

PMS (bar)	25			40			67,7			80			94		
	ELS	PEL	IRE	ELS	PEL	IRE	ELS	PEL	IRE	ELS	PEL	IRE	ELS	PEL	IRE
DN <150	scénario non étudié, assimilé à la rupture complète de la canalisation														
150 ≤ DN ≤ 250	6	10	15	8	15	25	13	25	35	15	25	40	20	30	45
DN > 250	6	10	20	9	15	25	14	25	35	20	30	40	20	35	45

**Tableau n° 19 : Distances d'effets (en mètres)  
pour le scénario de brèche moyenne - canalisation enterrée (rejet vertical)**

Nota : au-delà du DN250, le diamètre de la canalisation n'a plus d'influence sur le débit à la brèche de la fuite. C'est la taille de l'orifice retenu qui conditionne le débit de gaz rejeté à l'atmosphère.

### 2.1.3. Petite brèche (canalisation enterrée)

Pour le scénario de petite brèche (modélisé par une brèche de 12 mm) sur une canalisation enterrée de transport de gaz naturel à la pression maximale en service suivie de l'inflammation immédiate du rejet, le tableau de l'annexe n° 9 du guide GESIP, rappelé ci-dessous, présente les distances en mètres pour les seuils correspondant aux ELS, PEL et IRE exprimés en dose thermique. Ces distances sont celles retenues pour le scénario de référence réduit.

Seuils des effets thermiques	PMS (bar)				
	25	40	67.7	80	94
Effets Létaux Significatifs (ELS) avec protections complémentaires	2	2	3	3	3
Premiers effets létaux (PEL) avec protections complémentaires	3	3	4	4	4
Effets irréversibles (IRE) avec protections complémentaires	4	4	5	5	5

**Tableau n° 20 : Distances d'effets (en mètres)  
pour le scénario de petite brèche - canalisation enterrée (rejet vertical)**

Nota : pour éviter les constructions trop proches des canalisations et tenir compte des distances déjà communiquées par l'Administration dans le cadre des porters à connaissance des risques, la distance minimale à afficher vis-à-vis de l'externe est de 5 m, notamment pour les porters à connaissance restant à faire. Cette disposition permet également de tenir compte de vitesses de vent potentiellement supérieure à 5 m/s.

### 2.1.4. Tableau pour le Plan de Sécurité et d'Intervention (PSI)

En cas de rupture d'une canalisation de transport de gaz naturel, à la pression maximale en service, suivie de l'inflammation immédiate du rejet, le tableau de l'annexe n° 9 du guide GESIP (rappelé ci-après) présente les distances en mètres pour les seuils thermiques correspondant :



- au périmètre de sécurité du public (3kW/m<sup>2</sup>),
- au périmètre d'intervention : professionnels sauf intervenants directs (5kW/m<sup>2</sup>),
- au périmètre de danger : évacuation des habitations (8kW/m<sup>2</sup>).

PMS (bar)	25			40			67,7			80			94		
	8 kW/m <sup>2</sup>	5 kW/m <sup>2</sup>	3 kW/m <sup>2</sup>	8 kW/m <sup>2</sup>	5 kW/m <sup>2</sup>	3 kW/m <sup>2</sup>	8 kW/m <sup>2</sup>	5 kW/m <sup>2</sup>	3 kW/m <sup>2</sup>	8 kW/m <sup>2</sup>	5 kW/m <sup>2</sup>	3 kW/m <sup>2</sup>	8 kW/m <sup>2</sup>	5 kW/m <sup>2</sup>	3 kW/m <sup>2</sup>
80	20	25	30	25	30	35	30	35	45	30	40	50	35	40	55
100	25	30	40	30	35	50	35	45	60	40	50	65	45	55	70
150	30	35	45	35	40	55	40	50	65	45	55	70	50	60	80
200	40	50	60	45	55	75	55	70	95	60	80	100	65	85	110
250	50	60	80	60	75	95	75	95	120	80	100	130	85	110	140
300	60	75	95	70	90	115	90	115	150	95	125	160	105	135	175
350	70	90	115	85	110	140	110	140	180	115	145	190	125	160	205
400	80	105	135	95	125	160	125	160	205	135	170	220	145	185	240
450	95	120	155	110	140	180	140	180	235	150	195	250	160	205	270
500	105	135	175	125	160	205	155	200	260	170	215	280	180	230	300
600	130	165	215	150	195	250	190	240	310	200	260	335	215	275	360
650				165	210	270	205	260	335	220	280	365	235	300	390
700				175	225	295	220	280	365	235	300	390	250	325	420
750				190	245	315	235	300	390	250	325	420	270	350	450
800				205	260	335	250	325	420	270	345	450	290	370	480
900				225	295	380	280	365	470	305	390	505	325	420	545
1000				255	325	420	315	405	525	340	435	565	360	465	605
1050				265	340	445	330	425	550	355	455	595	380	490	635
1100				280	360	465	350	445	580	370	480	625	400	515	670
1200							380	485	630	410	525	680	435	565	730

**Tableau n° 21 : Distances d'effets (en mètres) pour le PSI et pour le scénario de rupture de la canalisation enterrée**

Dans les départements suivants : Ardèche, Drôme, Aude, Pyrénées Orientales, Bouches du Rhône, Hérault, Gard, Var, Alpes-Maritimes, Vaucluse, Alpes de Haute Provence, Hautes Alpes, ces distances peuvent être localement majorées de 5 m pour tenir compte d'une vitesse de vent potentiellement supérieure (10 m/s).

### 2.1.5. Distances retenues pour les Servitudes d'Utilité Publique (SUP)

En application du troisième alinéa de l'article L. 555-16, le préfet de chaque département institue par arrêté des servitudes d'utilité publiques :

- subordonnant, dans les **zones d'effets létaux en cas de phénomène dangereux de référence majorant** [c'est-à-dire la **distance des PEL de la rupture franche sans tenir compte de la mobilité des personnes**] au sens de l'article R. 555-39, la délivrance d'un permis de construire relatif à un établissement recevant du public susceptible de recevoir plus de 100 personnes ou à un immeuble de grande hauteur à la fourniture d'une analyse de compatibilité ayant reçu l'avis favorable du transporteur ou, en cas d'avis défavorable du transporteur, l'avis favorable du préfet rendu au vu de l'expertise mentionnée au III de l'article R. 555-31 ;
- interdisant, dans les **zones d'effets létaux en cas de phénomène dangereux de référence réduit** [c'est-à-dire la **distance des PEL de la petite brèche en tenant compte de la mobilité des personnes**] au sens de l'article R. 555-39, l'ouverture ou l'extension d'un établissement recevant du public susceptible de recevoir plus de 300 personnes ou d'un immeuble de grande hauteur ;
- interdisant, dans les **zones d'effets létaux significatifs en cas de phénomène dangereux de référence réduit** [c'est-à-dire la **distance des ELS de la petite brèche en tenant compte de la mobilité des personnes**] au sens de l'article R. 555-39, l'ouverture ou l'extension d'un établissement recevant du public susceptible de recevoir plus de 100 personnes ou d'un immeuble de grande hauteur.

**Pour les ouvrages neufs**, les différentes zones d'effets référencées ci-dessus sont quantifiées dans la partie spécifique de l'étude de dangers. Ces servitudes sont prescrites par voie d'arrêté préfectoral dans le cadre de la demande d'autorisation de construire et d'exploiter.



[Se reporter à la partie 2 : Etude spécifique](#)

**Pour les ouvrages existants**, elles sont issues de la mise à jour quinquennale des études de dangers. Ces servitudes sont prescrites par voie d'arrêté préfectoral pris pour chaque commune traversée par la canalisation ou impactée par les zones d'effets.

## 3. PROBABILITÉ D'ATTEINTE D'UN POINT

Il s'agit de déterminer la probabilité d'atteinte d'un point<sup>(\*)</sup> de l'environnement de la canalisation (en an<sup>-1</sup>) pour un scénario de fuite donnée (rupture totale, brèche moyenne, petite brèche pour la canalisation en tracé courant) et pour les différentes plages de létalité (effets létaux significatifs et premiers effets létaux).

Cette méthode est celle décrite dans le paragraphe 4.2.5 « Quantification en terme de probabilités des différents phénomènes dangereux sur chaque segment (détermination de la probabilité d'atteinte d'un point de l'environnement de la canalisation) » du guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014 et rappelée en Annexe n° 7.

### 3.1. Détermination de la probabilité

Cette probabilité d'atteinte d'un point  $P_{\text{(atteinte point)}}$  (en  $\text{an}^{-1}$ ) est donnée selon la relation suivante pour un scénario de fuite retenu (rupture, brèche moyenne et petite brèche) pour les deux plages de létalité étudiées :

$$P_{\text{atteinte ELS}} = P_{\text{présence}} \times L_{\text{ELS}} \times P_{\text{inflammation}} \times F_{\text{origine}} \times \Sigma (P_{\text{facteur de risque}} \times C \times \text{EMC})$$

$$P_{\text{atteinte PEL}} = P_{\text{présence}} \times L_{\text{PEL}} \times P_{\text{inflammation}} \times F_{\text{origine}} \times \Sigma (P_{\text{facteur de risque}} \times C \times \text{EMC})$$

Les coefficients retenus dans les études de dangers sont spécifiés dans le tableau suivant.

Facteurs	Scénarios	Valeurs	Commentaires
$F_{\text{origine}}^{(1)}$	R, BM, PB	selon DN	cf. § 3.2.1 période de référence 1970-1990
$P_{\text{facteur de risque}}$	R	80% / [ 20% ]	80% associées à des travaux tiers 20% liées à d'autres causes <sup>(2)</sup>
	BM	100%	Valeur conservatoire <sup>(3)</sup>
	PB	43% / 57%	43% associées à des travaux tiers 57% liées à d'autres causes
$P_{\text{inflammation}}$	R, BM, PB	selon DN	cf. § 3.2.2 selon rapport EGIG 1970-2010
$L_{\text{ELS}} \text{ (en km)}^{(4a)}$	R <sup>(4b)</sup> , BM, PB	2×ELS	présence conservatoire de la cible sur l'ouvrage
$L_{\text{PEL}} \text{ (en km)}^{(4a)}$	R <sup>(4b)</sup> , BM, PB	2×PEL	présence conservatoire de la cible sur l'ouvrage
$\text{EMC}^{(5)}$	R, BM (pour le facteur de risque travaux tiers uniquement)	1	Absence de mesure compensatoire
		0,6	Grillage avertisseur
		0,8	Information
		0,3	Signalisation renforcée
		0,24	Information et signalisation renforcée
		0,15	Surveillance bimensuelle et signalisation renforcée
		0,07	Surveillance hebdomadaire et signalisation renforcée
		0,05	Signalisation renforcée continue
$C = C_{\text{env}} \times C_{\text{prof}}$	R, BM	0,8 ; 1,6 ; 3 ; 6	Approche retenue
	PB (pour le facteur de risque travaux tiers uniquement)	0,8 ; 3	
$P_{\text{Présence}}$	R, BM, PB	100%	Présence systématique de la victime potentielle.

**Tableau n° 22 : Valeurs des coefficients pour le calcul de la probabilité d'atteinte dans le cas des canalisations enterrées.**

Nota : R = Rupture, BM = Brèche Moyenne, PB : Petite Brèche

<sup>(1)</sup> Pour l'analyse de risque, conformément au guide GESIP, les fréquences origine ( $F_{\text{(fuite/(km.an))}}$ ) utilisées s'appuient sur l'historique d'un réseau ne faisant pas l'objet de mesures particulières, c'est-

à-dire sur la période 1970-1990. Le fait de limiter les données prises en compte à la période 1970-1990 constitue une majoration de ces fréquences origine de base. La répartition des fréquences origine par type de dommage et en fonction du diamètre des canalisations pour le réseau de GRTgaz et de TIGF (Transport et Infrastructure Gaz France) est présentée au paragraphe **3.2.1**.

- (2) Les autres causes de rupture ont pour origine soit des corrosions internes, défauts de construction (facteurs de risque qui ne sont plus retenus) soit des mouvements de terrain, érosions de lit de rivière. Dans les zones correspondantes, constituant des points singuliers<sup>(\*)</sup> de la canalisation, le risque est analysé uniquement d'un point de vue qualitatif (aucune probabilité n'y est associée). Pour les ouvrages existants, ces risques sont traités en § 3 et 6 de chaque fiche communale, et pour les projets neufs de façon dédiée dans la partie spécifique. Les mesures prises sont respectivement des mesures en exploitation (surveillance renforcée de la zone) et des mesures à la conception / construction permettant de se prémunir de la rupture.
- (3) En général, les probabilités d'atteinte dans le cas de la brèche moyenne sont plus faibles que celles correspondant au scénario de la rupture. Le positionnement dans la matrice de criticité est donc plus favorable dans le cas de la brèche moyenne. De même, les mesures compensatoires (aménagement, exploitation) s'appliquant pareillement aux deux scénarios, le positionnement dans la matrice de la brèche moyenne reste plus favorable que celui du scénario de la rupture.
- (4a) Par défaut,  $L_{(\text{effet considéré})}$ , qui est la longueur du tronçon de la canalisation sur lequel une fuite peut atteindre le point de l'environnement avec un effet au moins égal à l'effet considéré, est fixée à 2 fois la distance des effets considérés, ce qui est le cas majorant. Toutefois, un calcul plus fin peut être mené dans des situations spécifiques.
- (4b) Cas particulier des ERP susceptibles de recevoir des personnes à mobilité réduite

Les distances d'effets calculées pour les différents scénarios tiennent compte de l'éloignement des personnes. Lorsqu'il existe des situations où la possibilité d'éloignement est incertaine, l'analyse doit être approfondie conformément au paragraphe 2.4. de l'annexe n° 9 du GESIP. Au-delà du DN150, les écarts entre les distances d'effets calculées avec et sans éloignement des personnes sont suffisamment faibles pour ne plus justifier une analyse spécifique. Pour les canalisations de  $DN \leq 150$ , en pratique, les "distances ELS et PEL sans éloignement des personnes" sont définies comme les distances respectivement des PEL et des IRE, calculées avec hypothèse d'éloignement.

Pour les ERP constitués d'un bâti susceptible de recevoir des personnes à mobilité réduite<sup>35</sup> ou les prisons, le fait de se trouver dans l'inter-bande (*c'est-à-dire les zones situées entre les distances d'effets létaux avec et sans éloignement des personnes*) conduit à ce que le bâti assure la protection des occupants. De manière conservatoire, il est retenu qu'un bâtiment n'offre plus de protection s'il est soumis à un flux de plus de  $16 \text{ kW/m}^2$  pendant plus de 10 minutes, ce laps de temps permettant aux occupants, même à mobilité réduite, de s'éloigner de la source thermique.

---

<sup>35</sup> ERP de type J (structures d'accueil pour personnes âgées et personnes handicapées, ce qui inclut les maisons de retraite), de type R (établissements d'éveil, d'enseignement, de formation, centres de vacances, centres de loisirs sans hébergement, ce qui inclut les crèches), ou de type U (établissements sanitaires, ce qui inclut les hôpitaux)

En effet, pour le gaz naturel, le flux thermique reçu par un bâtiment au-delà de la distance des "PEL avec éloignement" est systématiquement inférieur à 16 kW/m<sup>2</sup>.

Pour les ERP cumulant absence de protection par un bâti et difficulté à s'éloigner rapidement (cas des tribunes de stades et des cours d'établissements scolaires), une analyse particulière est réalisée dans l'étude spécifique. Elle intègre les particularités locales telles que, dans le cas des cours, la mise à l'abri dans un bâtiment qui permet de réduire le temps d'exposition au flux thermique.

Après calcul des distances d'effets (PEL et ELS) applicables à la configuration, cette analyse locale consiste, pour chaque effet léthal, d'une part à repérer le(s) nouvel(eaux) ERP > 100 personnes concerné(s) dans la bande d'effet, et d'autre part à positionner dans la matrice d'acceptabilité du risque le phénomène dangereux de référence avec une gravité tenant compte des nouvelles personnes exposées (celles du(es) nouvel(eaux) ERP concerné(s)), et une probabilité d'atteinte recalculée en tenant compte de la "distance d'effets sans éloignement des personnes".

- <sup>(5)</sup> Les mesures compensatoires et leurs coefficients d'efficacité sont détaillés en annexe n° 8 du guide GESIP 2008/01 – Edition de janvier 2014.

Le coefficient lié à la profondeur d'enfouissement pour les réseaux existants est de :

Année de pose	Catégorie maximale admissible <sup>36</sup>	Hauteur minimum de couverture	C <sub>prof</sub> retenu
avant 1970	A	0,6 m	2
après 1970 en zone boisée ou agricole	A	0,6 m	2
après 1970 hors zone boisée ou agricole	A	0,8 m	1
avant 2006	B ou C	0,8 m	1
depuis 2006 <sup>(#)</sup>	A, B ou C	1 m	0,67

**Tableau n° 23 : Coefficient de profondeur retenu en fonction de l'année de pose et la catégorie d'emplacement**

Ainsi, de façon conservatoire, GRTgaz n'a pas valorisé les hauteurs de couverture de terre supérieures ou égales à 1 m (cas notamment de la pose standard des canalisations depuis le début des années 1980). Néanmoins, à l'occasion de la mise en œuvre des mesures compensatoires, la couverture réelle pourra être prise en compte.

Pour les projets neufs, dans le cas d'une pose de canalisation en sur-profondeur (par exemple forage dirigé), l'étude spécifique précisera le coefficient éventuellement retenu.

<sup>36</sup> Ou coefficient minimal de sécurité depuis l'AMF

## 3.2. Fréquence d'occurrence des incidents et probabilité d'inflammation

### 3.2.1. Fréquence d'occurrence des incidents

#### ✓ *Canalisations en acier (DN ≥ 150)*

Pour l'analyse de risques, conformément au guide GESIP, les fréquences génériques de base utilisées s'appuient sur l'historique d'un réseau ne faisant pas l'objet de mesures particulières, c'est à dire **sur la période 1970-1990**. Le tableau suivant présente la répartition des fréquences génériques de base, par type de dommage et en fonction du diamètre des canalisations, pour le réseau de GRTgaz et de TIGF.

Gamme de diamètres	Longueur exposée (km.an)	Données GRTgaz + TIGF			
		Fréquences sur la période 1970 - 1990 en 10 <sup>-4</sup> /(km.an)			
		Petite brèche	Brèche moyenne	Rupture	Toutes brèches
		∅ ≤ 12 mm	12 < ∅ ≤ 70 mm	∅ > 70 mm	
DN < 200	188 433	3,77	4,56	1,65	9,98
200 ≤ DN < 400	129 565	1,85	1,16	1,16	4,17
400 ≤ DN < 600	65 475	1,53	0,15	1,07	2,75
DN ≥ 600	54 530	0 <sup>(#)</sup>	0 <sup>(#)</sup>	0,18	0,18
Tous DN	438 003	2,4	2,33	1,23	5,96

<sup>(#)</sup> les valeurs à 0 sont portées à 0,1 (cf. Note 1)

**Tableau n° 24 : Fréquences issues du retour d'expérience de GRTgaz et TIGF sur la période 1970-1990**

Il est à noter que, d'après l'analyse du retour d'expérience de **GRTgaz et de TIGF**, sur la période **1970-1990** :

- **80% des ruptures** sont causées par l'agression d'un engin puissant sur un ouvrage enterré, les 20% restants étant causés par un mouvement de terrain,
- **100% des brèches moyennes** sont causées par l'agression d'un engin de travaux publics.

De plus, **43%** des petites brèches sur le réseau de GRTgaz sont causées par l'agression d'un engin de travaux publics, les **57%** restants par la corrosion et autres, et ce pour la période 1970 - 1990.

Note 1 : Dans le cas où aucune défaillance ne s'est produite, même sur une période assez longue, une méthode, très utilisée dans les domaines nucléaire et aéronautique, consiste à calculer l'estimateur du taux de défaillance  $\lambda$  comme étant la borne supérieure de l'intervalle de confiance unilatéral au niveau de confiance 50%. Cette valeur est telle que la valeur réelle a la même probabilité (0,5) de lui être inférieure ou supérieure. L'estimateur est calculé par :

$$P = e^{-\lambda \cdot E} = 0,5 \text{ soit } \lambda \approx 0,7/E, \text{ où } E \text{ est l'exposition observée.}$$

Dans le cas des canalisations de DN  $\geq$  600 pour lesquelles aucune petite brèche ni brèche moyenne ne sont intervenues, le réseau (exposition observée) E est égal à 54 530 km.an sur la période 1970 – 1990 soit :

$$\lambda = 0,7 / 54\,530 \# 0,1.10^{-4} /(\text{km.an})$$

#### ✓ *Canalisation en acier de petit diamètre (DN < 150)*

Dans le cas où le diamètre de la canalisation étudiée est inférieur au DN150, le scénario de brèche moyenne est assimilé à la rupture complète de la canalisation. En effet, il est physiquement impossible de maintenir une brèche moyenne de 70 mm sur une canalisation de DN inférieur à 150. Par conséquent les fréquences de la brèche moyenne et de la rupture sont sommées.

Gamme de diamètres	Longueur exposée (km.an)	Données GRTgaz + TIGF			
		Fréquences sur la période 1970 - 1990 en $10^{-4}/(\text{km.an})$			
		Petite brèche	Brèche moyenne	Rupture	Toutes brèches
		$\varnothing \leq 12 \text{ mm}$	$12 < \varnothing \leq 70 \text{ mm}$	$\varnothing > 70 \text{ mm}$	
DN < 200	188 433	3,77	6,21		9,98

Tableau n° 25 : Fréquences applicables pour les canalisations de DN < 150

#### ✓ *Canalisation en polyéthylène*

Pour les canalisations en polyéthylène (PE), faute de retour d'expérience et de longueur de réseau significatifs, les fréquences retenues sont celles du réseau acier de DN < 200 auxquelles sont sous-traités les incidents ayant pour origine la corrosion. Seule la fréquence de la petite brèche est donc modifiée. De plus, les fréquences de la brèche moyenne et de la rupture sont sommées pour les mêmes raisons que les canalisations de DN <150 ; puisque les canalisations en PE sont de faibles diamètres (au maximum DN160).

Gamme de diamètre	Longueur exposée (km.an)	Données GRTgaz + TIGF			
		Fréquences sur la période 1970 - 1990 en $10^{-4}/(\text{km.an})$			
		Petite brèche	Brèche moyenne	Rupture	Toutes brèches
		$\varnothing \leq 12 \text{ mm}$	$12 < \varnothing \leq 70 \text{ mm}$	$\varnothing > 70 \text{ mm}$	
DN < 200	188 433	3,24	6,21		9,45

Tableau n° 26 : Fréquences retenues pour les canalisations en PE

### 3.2.2. Probabilité d'inflammation

#### ✓ *Canalisations en acier (DN $\geq$ 150)*

Les données du 8<sup>ème</sup> rapport EGIG concernant les **probabilités d'inflammation** sont, pour l'ensemble de la gamme des diamètres, indiquées dans le tableau suivant :

Brèche de référence retenue	Probabilité d'inflammation (EGIG)	
Rupture	DN ≤ 400 : 10% DN > 400 : 33%	en moyenne 13 %
Brèche moyenne	2 %	
Petite brèche	4%	

Tableau n° 27 : Probabilité d'inflammation selon le rapport EGIG 2010

Le retour d'expérience, tant de la base EGIG que de la base TIGF+GRTgaz, ne met en évidence aucune inflammation liée à la circulation sur une route ou un parking, alors qu'il identifie que près de 80 % des inflammations se sont produites sur des causes percement foudre (allumage par la foudre), agression lors de travaux de tiers (allumage par l'engin) et mouvements de terrain (allumage incertain, mais non lié à la présence d'activités humaines). De même, le retour d'expérience des canalisations de distribution de gaz, installées par nature à proximité immédiate des voies de circulation, montre qu'il y a moins de 1 % des fuites qui s'enflamment sur plus de 4 000 fuites par an. En pratique, il n'y a donc pas lieu de modifier les probabilités précitées dans ces cas de figure.

✓ *Canalisations en acier de petit diamètre (DN < 150) et en polyéthylène*

Brèche de référence retenue	Probabilité d'inflammation
Rupture + Brèche moyenne	10%
Petite brèche	4%

Tableau n° 28 : Probabilité d'inflammation retenue pour les canalisations de petit diamètre

✓ *Proximité de sources d'inflammations particulière*

La présence de lignes électriques ne conduit pas non plus à modifier le niveau de risque (nécessité d'une double défaillance), et ne justifie donc pas de modifier les probabilités précitées.

Seule la présence de caténaires de voies ferrées est prise en compte si les caténaires peuvent se situer dans le panache inflammable (LIE / LSE) du rejet ; alors la probabilité d'inflammation est portée à 1 de manière majorante. Cette analyse est réalisée au cas par cas dans l'étude spécifique.

**Nota** : Pour les tronçons aériens identifiés dans l'analyse des traversées aériennes<sup>(\*)</sup>, la probabilité d'inflammation est égale à celle du tracé courant enterré (cf. rapport EGIG).

## 4. DÉFINITION DES TRONÇONS HOMOGÈNES

Afin de prendre en compte les spécificités de l'ouvrage et de l'environnement, l'ouvrage peut être découpé en tronçons. Les critères retenus pour le découpage en tronçon sont présentés en annexe n° 8.

L'analyse est conduite en deux étapes. La première étape permet de découper le tracé courant sans tenir compte des points particuliers de l'ouvrage. Dans la seconde étape, les éventuels points nécessitant une analyse particulière conduisent au redécoupage des tronçons précédemment traités en de nouveaux tronçons.



Le scénario de **référence** initial retenu pour ce découpage est le scénario de rupture totale. Dans le cas où l'environnement permet de justifier l'absence de mouvement de terrain important, **seul le facteur de risque travaux de tiers** sera pris en compte pour ce scénario. Dans le cas où une ou plusieurs mesures compensatoires de type physique (dalles, épaisseur travaux tiers) sont présentes ou mises en place, celles-ci sont intégrées pour la délimitation du tronçon.

Pour un tronçon donné, le risque est alors évalué sur le point le plus défavorable en termes de probabilité (probabilité maximale du segment) et de gravité (gravité maximale du segment). Ces valeurs peuvent correspondre à des points géographiques différents du tronçon. Le nombre de tronçons dépend de la précision recherchée pour l'évaluation des risques.

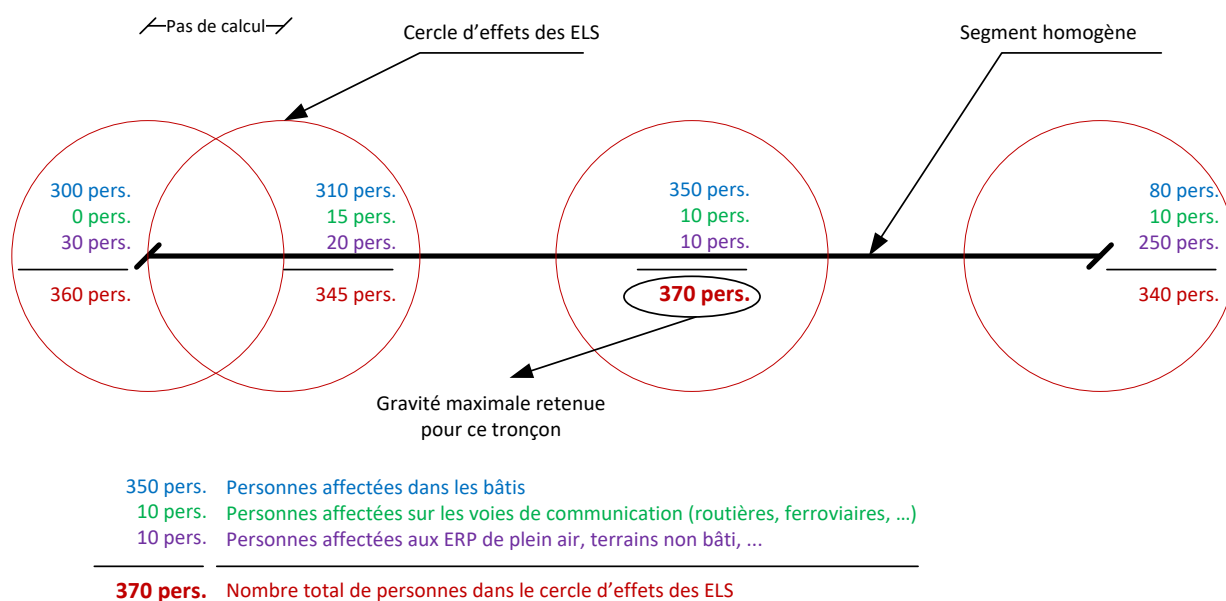


Figure n° 33 : Détermination de la gravité maximale pour un tronçon homogène

## 5. MATRICES D'ÉVALUATION DU RISQUE ET ACCEPTABILITÉ

Selon la zone d'effets considérée et pour chaque phénomène dangereux, la probabilité d'atteinte d'un point est calculée puis celui-ci est positionné dans la matrice d'évaluation de risques en fonction du nombre de personnes exposées (gravité).

Sur un tronçon donné, chaque phénomène dangereux se voit affecté d'un couple [probabilité ; gravité] qui permet de positionner ce phénomène dangereux dans deux matrices d'évaluation du risque définies à l'annexe I de l'AMF et reprises au paragraphe « 4.2.7 Évaluation du risque, positionnement dans les matrices » du guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014 « Étude de dangers ».

L'acceptabilité du risque, pour un tronçon donné de canalisation, est définie par le positionnement dans les matrices ci-dessous, qui définissent trois niveaux d'acceptabilité de risque pour les ouvrages existants et deux niveaux pour les ouvrages neufs (le gris étant alors assimilé à du noir).

**Nota :** lorsqu'il est démontré de manière générique que pour deux phénomènes dangereux (exemple : effets thermiques de la brèche moyenne et la rupture), l'acceptabilité de celui qui présente la plus grande criticité implique systématiquement l'acceptabilité de l'autre, le calcul et le positionnement du scénario le plus critique suffit.

Quel que soit le diamètre de la canalisation, le phénomène dangereux associé au scénario de petite brèche a une probabilité inférieure à  $5.10^{-7}$  ; son niveau de risque est donc majoritairement acceptable dans l'une et l'autre des matrices (cases blanches) sauf exception rare<sup>37</sup> traitée au cas par cas dans une analyse spécifique. En cas de mise en place d'une mesure compensatoire visant à réduire le risque « travaux tiers », la petite brèche suivi de l'inflammation devient le phénomène dangereux de référence, dit phénomène dangereux de référence réduit, pour l'examen de la conformité au regard de l'article 5 (cf. annexe n° 10 du guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014).

Matrice de risque pour la zone des effets létaux significatifs – ELS							
N <sub>exp</sub> (ELS)	A	B	C	D	E	F	G
	P <sub>point</sub> (ELS) ≤ 5.10 <sup>-7</sup>	5.10 <sup>-7</sup> < P <sub>point</sub> (ELS) ≤ 10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup> < P <sub>point</sub> (ELS) ≤ 5.10 <sup>-6</sup>	5.10 <sup>-6</sup> < P <sub>point</sub> (ELS) ≤ 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup> < P <sub>point</sub> (ELS) ≤ 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup> < P <sub>point</sub> (ELS) ≤ 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup> < P <sub>point</sub> (ELS)
1 N > 300	*	*					
2 100 < N ≤ 300	*	*	*				
3 30 < N ≤ 100							
4 10 < N ≤ 30							
5 1 < N ≤ 10							
6 N ≤ 1							

\* Analyse complémentaire nécessaire pour les ERP, IGH, INB N<sub>exp</sub> : Nombre de personnes exposées

Matrice de risque pour la zone des premiers effets létaux – PEL							
N <sub>exp</sub> (PEL)	A	B	C	D	E	F	G
	P <sub>point</sub> (PEL) ≤ 5.10 <sup>-7</sup>	5.10 <sup>-7</sup> < P <sub>point</sub> (PEL) ≤ 10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup> < P <sub>point</sub> (PEL) ≤ 5.10 <sup>-6</sup>	5.10 <sup>-6</sup> < P <sub>point</sub> (PEL) ≤ 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup> < P <sub>point</sub> (PEL) ≤ 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup> < P <sub>point</sub> (PEL) ≤ 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup> < P <sub>point</sub> (PEL)
1 N > 3000	*	*					
2 1000 < N ≤ 3000	*	*	*				
3 300 < N ≤ 1000	*	*	*	*			
4 100 < N ≤ 300							
5 10 < N ≤ 100							
6 N ≤ 10							

\* Analyse complémentaire nécessaire pour les ERP, IGH, INB N<sub>exp</sub> : Nombre de personnes exposées

Le tableau à l'annexe I l'AMF détermine les critères d'acceptabilité selon le positionnement des tronçons de canalisations dans les différentes cases des matrices à la fois pour les études de dangers

<sup>37</sup> Proximité à la fois d'une voie ferrée et d'un ERP ou d'un environnement très dense au voisinage immédiat de la canalisation

initiales (canalisation neuves ou modifiée) et pour les révisions quinquennales des études de dangers des ouvrages existants. Dans le cas des révisions quinquennales, les critères d'acceptabilités sont déterminés en considérant également la conformité des tronçons de canalisation à l'article 6 et à l'article 5 de l'AMF.

## 6. MESURES COMPENSATOIRES DE SÉCURITÉ

Une mesure compensatoire permet de réduire la probabilité d'occurrence d'un phénomène dangereux d'accident. Elle est associée à un coefficient de réduction du risque permettant d'abaisser la probabilité du scénario d'accident. Les mesures compensatoires définies pour les canalisations de transport sont regroupées dans les quatre catégories suivantes :

- l'information : des riverains, des collectivités locales, des entreprises susceptibles d'intervenir à proximité,...
- l'exploitation : surveillance renforcée, réduction de la pression maximale en service, ...
- l'aménagement : balisage renforcé, pose de dalle de protection, ...
- la construction : surépaisseur de métal indépendamment de celle justifiée par les critères d'implantation, hauteur de couverture, ...

Pour chaque phénomène dangereux, les mesures sont définies à partir de la position la plus défavorable dans l'une ou l'autre des deux matrices. Les dispositions compensatoires sont définies de telle sorte que leur efficacité (EMC) permette de placer chaque phénomène dangereux associé aux différentes tailles de brèche dans une case acceptable des matrices de risque.

Les différentes mesures compensatoires, décrites et détaillées dans le guide GESIP 2008/02 Edition de janvier 2014 sont reprises dans l'Annexe n° 9 du présent document.

De plus, une analyse spécifique doit être conduite pour les cases \* de la matrice et des mesures complémentaires sont éventuellement prises afin de satisfaire les attendus de l'article 5 de l'AMF : « ... Tout tronçon neuf de canalisation est implanté de telle sorte [...] qu'il n'existe dans la zone des premiers effets létaux du phénomène dangereux retenu suivant les critères de l'article 11 ni établissement recevant du public relevant de la 1<sup>ère</sup> à la 3<sup>ème</sup> catégorie, ni immeuble de grande hauteur, ni installation nucléaire de base, et en outre dans la zone des effets létaux significatifs aucun établissement recevant du public susceptible de recevoir plus de 100 personnes. Cette disposition peut, le cas échéant, être atteinte par la mise en œuvre de dispositions compensatoires adaptées ayant pour effet de retenir un scénario de référence réduit selon les critères du II de l'article 11... ».

**Pour le réseau existant, l'ensemble des mesures compensatoires de sécurité ainsi spécifiées constitue un Programme Réglementaire de Traitement (PRT). En cas d'impossibilité de mise en œuvre des mesures préconisées dans le PRT, d'autres mesures compensatoires (ou combinaison de mesures) d'efficacité équivalente voire supérieure doivent être mises en œuvre.**

**Pour les projets neufs, un tableau récapitulatif reprend l'ensemble des mesures compensatoires préconisées par l'étude de dangers en indiquant, le cas échéant, celles devant faire l'objet d'un suivi particulier dans le cadre du PPSM.**

-ooOoo-



**CHAPITRE 6. ANALYSE ET ÉVALUATION DU RISQUE : APPLICATION AUX  
INSTALLATIONS ANNEXES**

## 1. DÉFINITION DES SCÉNARIOS DE FUITE

Les conséquences d'un accident survenant sur une installation annexe de transport de gaz naturel sont directement liées au débit de gaz naturel qui s'échappe à l'atmosphère, donc à la taille de l'orifice créé dans l'installation et à la pression de l'ouvrage.

### 1.1. Installations annexes répétitives (poste de sectionnement, coupure, livraison)

En accord avec le guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014 et compte-tenu du retour d'expérience, l'analyse des causes d'accidents peut largement s'appuyer sur le raisonnement suivant :

- le risque "travaux de tiers à proximité" est absent (site clos),
- compte tenu de la configuration de ces installations simples, le risque "sismique" est à exclure en dehors des zones de faille,
- les événements initiateurs de type corrosion ou défaut de matériau conduisent uniquement à des petites brèches (retour d'expérience, surveillance périodique des installations,...),
- les seuls événements initiateurs pouvant conduire à une rupture de canalisation sont une agression mécanique (choc provoqué par un véhicule, incident de manutention) ou une agression thermique, ces installations n'étant en général pas situées dans des zones confinées avec risque d'explosion.

Le retour d'expérience des différents opérateurs de réseau de transport met en évidence qu'en cas de choc mécanique sur une installation annexe, la brèche de référence est équivalente à une rupture du plus gros piquage de diamètre inférieur au DN 25. Au delà de ce DN 25, l'épaisseur du piquage permet de résister aux chocs mécaniques rencontrés sur ce type d'installations lors des événements de type inondation ou sortie de route d'un véhicule, ou encore lors des opérations de maintenance périodiques.

Conformément au guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014, la configuration de ces installations, essentiellement linéaires et hors zones confinées, justifie la non prise en compte d'un effet domino de l'installation sur elle-même. Elle permet donc d'exclure a priori la rupture des tuyauteries principales pour cause d'effet domino thermique ou de surpression dans ce cas de figure. En cas de situation particulière du poste à proximité d'une installation industrielle pouvant l'impacter, l'étude spécifique prend en compte les dangers potentiels induits.

Le tableau ci-dessous récapitule, par ordre croissant, les scénarios étudiés sur les installations annexes répétitives conçues et exploitées par GRTgaz, en supposant une inflammation immédiate du rejet de gaz, sous réserve que le risque lié à la circulation routière soit absent et qu'il n'y ait pas d'effet domino externe possible.

Scénario retenu	Orientation du rejet	Diamètre de la brèche retenue pour les calculs	Causes
Perforation limitée pour les installations aériennes (canalisations et accessoires) dont la taille varie entre 0 et 5 mm (#)	horizontal	$\phi = 5 \text{ mm}$	Fissure ou corrosion Défaut d'étanchéité des appareils accessoires et des assemblages
Petite brèche pour les canalisations enterrées dont la taille varie entre 0 et 12 mm	vertical	$\phi = 12 \text{ mm}$	Fissure, corrosion, défaut de construction, défaut de matériau
Rupture de piquage	selon orientation réelle	$\phi \leq 25 \text{ mm}$	Choc mécanique sur l'installation ou vibration pouvant provoquer une rupture du plus gros piquage de DN $\leq 25$
Rejet aux soupapes si le poste en est équipé	vertical	diamètre de l'évent	Mise à l'évent pour assurer la sécurité du réseau aval

**Tableau n° 29 : Scénarios retenus pour les installations annexes répétitives**

(#) La **valeur de 5 mm est retenue** pour les installations annexes des réseaux de transport de gaz naturel compte tenu du retour d'expérience disponible (Annexe n° 4 du guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014) **sur la base des pratiques d'exploitation de GRTgaz**.

## 1.2. Installations annexes en bâtiment

La méthodologie retenue pour ces installations est présentée dans une partie complémentaire à l'étude générique. Elle est associée à l'étude de dangers en cas de besoin.

## 1.3. Installations annexes complexes

Les installations visées sont les stations d'interconnexion ; les postes de type interconnexion ou les groupements d'installations annexes simples.

La méthodologie retenue pour ces installations est présentée dans une partie complémentaire à l'étude générique. Elle est associée à l'étude de dangers si de telles installations sont incluses dans le projet d'ouvrage.

Les stations de compression font l'objet d'études autoporteuses qui intègrent en base ces éléments méthodologiques.

## 2. TABLEAUX DES DISTANCES D'EFFETS

### 2.1. Rayonnement thermique

Pour les fuites de petites dimensions (perforation limitée), le jet horizontal est systématiquement retenu. Pour les ruptures de piquage sur une installation annexe aérienne, l'orientation du rejet sera identique à celle du piquage.

Les tableaux de l'annexe n° 9 du guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014 synthétisés ci-après, présentent les distances à retenir pour les 3 seuils réglementaires d'effets liés au rayonnement thermique :

Diamètre de la brèche	PMS (bar)	25			40			67,7			80			94		
		ELS	PEL	IRE	ELS	PEL	IRE	ELS	PEL	IRE	ELS	PEL	IRE	ELS	PEL	IRE
5 mm	horizontal	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	7	7	7	7
25 mm	horizontal	15	15	15	20	20	20	25	25	25	30	30	30	35	35	35
25 mm	vertical	3	3	3	4	4	4	5	5	5	5	5	5	6	6	6

**Tableau n° 30 : Distances d'effets (en mètres) du rayonnement thermique des scénarios de référence des installations annexes aériennes**

Les distances d'effets retenues pour les phénomènes dangereux correspondent :

- pour les rejets horizontaux à la longueur de flamme. De plus les flammes associées aux rejets des perforations limitées, sont fortement instables donc peu à même de conduire à des effets durables.
- pour les rejets verticaux à la projection de la flamme sur un plan horizontal. Cette distance est retenue de façon majorante du fait que les doses ELS, PEL, IRE ne sont jamais atteintes à cause du décollement de la flamme pour les rejets aériens.

L'altitude retenue pour le rejet est de 1 m par rapport au niveau du sol et la vitesse du vent de 5m/s.

Les distances d'effets liées à l'inflammation du rejet aux événements des soupapes sont déterminées au cas par cas dans la partie spécifique si l'installation est concernée.

## 2.2. Surpression

Le tableau suivant présente les distances d'effets liés aux surpressions associées à une inflammation au cœur du panache d'un rejet horizontal. Les conditions d'occurrence d'un tel phénomène sont présentées au § 4.1.3.d).

Taille de la brèche	PMS (bar)	25			40			67,7			80			94		
		140 mbar	50 mbar	20 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar
5 mm	horizontal	-	-	2	-	-	2	-	-	3	-	-	3	-	-	3
25 mm	horizontal	-	-	9	-	-	11	-	12	14	-	13	15	-	14	17

**Tableau n° 31 : Distances d'effets (en mètres) de la surpression des scénarios de référence des installations annexes aériennes**

- : Seuil de surpression non atteint



**Nota 1 :** les seuils de 200 mbar (ELS) et 140 mbar (PEL) ne sont jamais atteints pour ce type de rejet. Le seuil de 50 mbar (IRE) est atteint uniquement pour des rejets issus de ruptures de piquage DN25 pour des pressions au-delà de 40 bar.

**Nota 2 :** Les distances atteintes pour les effets indirects sur l'homme par bris de vitre (20 mbar) sont données à titre indicatif, en particulier quand les autres seuils réglementaires ne sont pas atteints.

Les distances d'effets liées à la surpression consécutive à l'inflammation au cœur du panache sont toujours inférieures à celles du rayonnement thermique (souvent, d'ailleurs, aucun seuil lié aux effets de surpression n'est atteint). Par conséquent, les effets associés à ce phénomène dangereux ne sont pas retenus pour la partie spécifique de l'étude de dangers.

### 3. EXAMEN DES EFFETS DOMINO

Deux types d'effets domino doivent être distingués :

- **les effets internes** générés par les installations entre elles à l'intérieur de sites regroupant plusieurs installations annexes,
- **les effets externes** générés soit par d'autres installations annexes à proximité ou par des installations tierces sur l'installation annexe et inversement, soit par la canalisation GRTgaz vers un site industriel voisin ou une installation annexe de la canalisation.

Le tableau suivant donne les périmètres associés aux flux retenus pour l'examen des effets domino potentiels ayant pour origine les scénarios de référence (cf. § 1.1) à partir d'une installation annexe simple.

Du fait de la forte instabilité de la flamme, le scénario de perforation limitée de 5 mm ne conduit pas à des effets domino thermiques. Les effets associés aux flux de 8 kW/m<sup>2</sup>, 25 kW/m<sup>2</sup> et 40 kW/m<sup>2</sup> sont détaillés au Chapitre 4 - § 4.5.3.

Diamètre de la brèche	PMS (bar) Orientation et localisation du rejet	25			40			67,7			80			94		
		8 kW/m <sup>2</sup>	25 kW/m <sup>2</sup>	40 kW/m <sup>2</sup>	8 kW/m <sup>2</sup>	25 kW/m <sup>2</sup>	40 kW/m <sup>2</sup>	8 kW/m <sup>2</sup>	25 kW/m <sup>2</sup>	40 kW/m <sup>2</sup>	8 kW/m <sup>2</sup>	25 kW/m <sup>2</sup>	40 kW/m <sup>2</sup>	8 kW/m <sup>2</sup>	25 kW/m <sup>2</sup>	40 kW/m <sup>2</sup>
12 mm <sup>(#)</sup>	Vertical / Enterré	7	4	3	8	5	3	11	6	4	12	6	4	12	6	4
25 mm	Vertical / Aérien	9	-	-	11	-	-	15	-	-	17	-	-	20	-	-
25 mm	Horizontal / Aérien	17	Fl. : 15		22	Fl. : 19		29	Fl. : 24		32	29	Fl. : 27	35	32	Fl. : 28

**Tableau n° 32 : Distances (en mètres) des effets domino thermiques des scénarios de référence des installations annexes**

<sup>(#)</sup> Distances comparables à celles retenues pour le tracé courant

- : flux non atteint      Fl. : Longueur de flamme retenue

### 3.1. Effets domino internes

Les installations annexes simples, isolées sur le réseau de transport, regroupent les postes de sectionnement, de coupure, et de livraison. Ce sont donc des installations essentiellement linéaires et hors zones encombrées : la rupture pour cause d'effet domino thermique ou de surpression ne peut pas provenir de la canalisation elle-même<sup>38</sup>. Cela permet d'exclure cette cause de rupture à l'intérieur de l'installation. Dans ce cas, l'étude spécifique prend en compte les dangers potentiellement induits liés à l'interaction de flamme au sein de l'ouvrage.

En cas de regroupement de plusieurs installations annexes simples sur un même site, les interactions entre ouvrages sont examinées de manière analytique afin d'évaluer la potentialité d'apparition d'effets domino. La méthode retenue est décrite dans la partie complémentaire relative aux sites complexes.

Lorsque des installations annexes simples sont séparées mais pas assez éloignées les unes des autres pour éliminer tout risque d'interaction, les effets dominos entre elles sont étudiés au cas par cas suivant les mêmes règles que celles utilisées pour la détermination des effets dominos internes.

### 3.2. Effets domino externes provenant des canalisations GRTgaz hors site

#### 3.2.1. Installations annexes simples

Ce chapitre s'attache à étudier les interactions possibles entre les scénarios provenant de la canalisation à l'extérieur du poste et le poste auquel elle est reliée.

##### 3.2.1.a) Liés à la petite brèche

Compte-tenu des distances aux flux générés par une petite brèche de 12 mm sur une canalisation enterrée pour l'ensemble des gammes DN et PMS, la possibilité d'observer un effet domino, quelle que soit l'installation annexe simple considérée, est faible. En effet la petite brèche doit être localisée à une distance de :

- 6 m au plus (flux de 25 kW/m<sup>2</sup> voire 40 kW/m<sup>2</sup>) pour porter atteinte à une canalisation en pression hors transit de l'installation,
- 12 mètres au plus (flux de 8 kW/m<sup>2</sup>) pour certains types de raccords isolants.

Seuls certains postes de livraison pourraient être le siège d'effet domino suite à une petite brèche de la canalisation d'alimentation, du fait de la taille restreinte des plates-formes.

##### 3.2.1.b) Liés à la brèche moyenne et la rupture franche

###### Poste de livraison

En cas de rupture franche de la canalisation d'alimentation, le poste ne sera plus alimenté en gaz, il n'y a donc pas de sur-accident possible. Celui-ci demeure possible si une canalisation indépendante de plus petites dimensions ( $P \times D^2$  : pression x diamètre au carré) passe à proximité du poste.

<sup>38</sup> guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014.

La possibilité d'effet domino suite à une brèche moyenne de 70 mm de la canalisation d'alimentation est à étudier dès lors que celle-ci a un diamètre supérieur ou égal à 150 mm. Pour les canalisations de diamètre inférieur à 150 mm, la brèche moyenne est assimilée à la rupture de la canalisation. Un effet domino est donc possible mais sa probabilité demeure très faible ; un tel scénario serait positionné dans la matrice au même niveau de probabilité que celui de la brèche moyenne c'est-à-dire dans la première colonne de la matrice donc d'un niveau de risque toujours acceptable.

#### ❑ Poste de coupure et de demi-coupure

Si le robinet d'isolement de la gare est aérien, la rupture de la canalisation associée au poste pourrait entraîner celle du tronçon aérien entre la sortie de terre et le robinet. Toutefois le débit associé à cette nouvelle brèche serait moindre compte tenu du fait qu'une des alimentations serait interrompue suite à la rupture initiale. La rupture avec jet vertical enflammé de la canalisation externe a donc des effets plus importants que celle qu'elle pourrait induire sur le poste. Il n'y a donc pas lieu de retenir d'effets domino pour ce type d'installation.

La brèche moyenne enterrée de 70 mm peut générer des flux allant jusqu'à 25 kW/m<sup>2</sup> et donc atteindre le tronçon de canalisation en pression hors transit du poste. De plus le raccord isolant aérien serait également touché. Dans les deux cas, la rupture conduirait à des distances d'effet plus importantes que le scénario initiateur. Un effet domino est donc possible mais sa probabilité demeure très faible ; un tel scénario serait positionné dans la matrice au même niveau de probabilité que celui de la brèche moyenne c'est-à-dire dans la première colonne de la matrice donc d'un niveau de risque toujours acceptable.

Si le robinet d'isolement de la gare est enterré, le tronçon de canalisation hors transit alimenté depuis le réseau ainsi que le raccord isolant sont enterrés. La partie aérienne du poste de coupure est isolée du réseau par un robinet enterré. En cas d'atteinte de cette partie de l'ouvrage, par le rayonnement thermique, il n'y aura pas aggravation du risque compte tenu du faible volume de gaz mis en jeu. Ce scénario ne conduit pas à un effet domino.

Dans le cas d'un poste de demi-coupure, la rupture franche de la canalisation liée au poste ne sera pas à même d'engendrer un effet domino puisque le poste ne sera pratiquement plus alimenté. Seule la brèche moyenne serait susceptible d'engendrer un effet domino sur le tronçon en pression hors transit (cf. § poste de coupure ci-dessus).

#### ❑ Poste de sectionnement

Le diamètre des canalisations aériennes d'un poste de sectionnement étant inférieur à celui de la canalisation principale, la rupture franche de cette dernière n'entraînera pas d'aggravation du risque, il n'y a donc pas lieu de retenir d'effet domino.

La brèche moyenne est susceptible d'entraîner un effet domino selon la dimension de la canalisation aérienne cible. En effet, comme vu précédemment, une canalisation de diamètre inférieur ou égal au DN 150 peut résister jusqu'à un flux de 40 kW/m<sup>2</sup> pendant une heure, alors qu'une canalisation de plus gros diamètre, du fait d'un rapport épaisseur sur diamètre moins important, ne pourra résister à des flux dépassant 25 kW/m<sup>2</sup> pour le même laps de temps. Un effet domino est donc possible mais sa probabilité demeure très faible ; un tel scénario serait positionné dans la matrice au même niveau de probabilité que celui de la brèche moyenne c'est-à-dire dans la première colonne de la matrice donc à un niveau de risque toujours acceptable.

3.2.1.c) Synthèse des effets domino potentiels

Le tableau suivant regroupe l'analyse générique des risques d'effets domino depuis la canalisation associée à l'installation annexe.

Effets domino depuis le réseau sur les installations annexes			
Scénario initial	Postes Cibles	Incidence sur la cible	
Canalisation enterrée	PB	→ Poste de livraison	Atteinte de certains raccords isolants si aériens
	BM		<b>Effet domino possible</b> : A examiner en fonction du DN de la canalisation par rapport au DN du poste
	RF		Sans effet : alimentation de l'installation interrompue par le scénario initial
	PB	→ Poste de coupure et demi-coupure	Atteinte de certains raccords isolants aériens
	BM		<b>Effet domino possible</b>
	RF		<u>Robinet enterré</u> : interaction sans effet domino - installation isolée du réseau <u>Poste aérien</u> : interaction sans effet domino – le scénario induit a des effets moindres
	PB	→ Poste de sectionnement	Sans effet : éloignement par rapport à la clôture
	BM		<b>Effet domino possible</b>
	RF		Interaction sans effet domino : le DN du poste de sectionnement étant toujours inférieur à celui de la canalisation (pas d'aggravation du risque)

**Tableau n° 33 : Tableau de synthèse des effets domino thermiques externes pour les installations annexes simples (PB : petite brèche, BM : brèche moyenne, RF : rupture franche)**

Dans le cas où l'effet domino est possible, la probabilité associée est calculée en multipliant la fréquence du scénario initiateur par la longueur de canalisation susceptible de produire un effet domino sur le poste. Dans tous les cas, cette probabilité reste inférieure à  $5.10^{-7}$  : le scénario résultant est toujours acceptable. De plus l'intensité du scénario résultant sera généralement du même ordre de grandeur que celle du scénario initiateur. Il n'y a donc pas de risque supplémentaire lié à l'effet domino sur une installation annexe en cas d'agression thermique depuis un incident sur le linéaire voisin, il n'est par conséquent pas positionné dans la matrice.

3.2.2. Installations complexes

La méthodologie retenue pour ces installations est présentée dans une partie complémentaire à l'étude générique. Elle est associée à l'étude de dangers si de telles installations sont incluses dans le projet d'ouvrage.

Les stations de compression font l'objet d'études autoportées qui intègrent en base ces éléments méthodologiques.

### 3.3. Effets domino externes provenant d'industriels tiers

Les interactions en provenance des industriels tiers (y compris les autres transporteurs par canalisation) sont analysées sur la base des informations transmises par les industriels concernés. Dès lors que le poste est atteint par l'un des seuils suivants (flux de 8 kW/m<sup>2</sup> ou surpression de 200 mbar), une analyse est réalisée dans la partie spécifique afin d'identifier si cette interaction peut conduire à un effet domino caractérisé.



Se reporter à la partie 2 : Etude spécifique

## 4. PROBABILITÉ D'ATTEINTE D'UN POINT

### 4.1. Détermination de la probabilité

Pour les installations annexes, la probabilité d'atteinte du point correspond à la probabilité du scénario, à savoir :

$$P_{\text{scénario}} = P_{\text{atteinte point}} = F_{\text{fuite GRTgaz}} \times P_{\text{inflammation}}$$

Les valeurs des coefficients retenus dans les études sont spécifiées dans les tableaux précédents :  $F_{\text{fuite GRTgaz}}$  cf. § 4.2.1 et  $P_{\text{inflammation}}$  cf. § 4.2.2

### 4.2. Fréquence d'occurrence des incidents et probabilité d'inflammation

#### 4.2.1. Fréquence d'occurrence des incidents

Le retour d'expérience spécifique aux installations annexes est fondamentalement différent de celui des canalisations en tracé courant. Une approche qualitative peut être retenue si les données ne sont pas accessibles.

Le tableau ci-après présente la répartition des fréquences d'occurrence des incidents avec dégagement de gaz à l'atmosphère validées par le guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014 pour les installations annexes simples.

	Petite brèche (enterrée) Ø jusqu'à 12mm	Perforation limitée (aérienne) Ø jusqu'à 5mm	Rupture de piquage de DN ≤ 25	Event de soupape
Période de référence	1970 - 2010	2005 - 2010	1988-2010	2005 – 2010
Fréquence des incidents	1,1.10 <sup>-7</sup> /m.an	6,7.10 <sup>-4</sup> /poste.an	1,2.10 <sup>-4</sup> /poste.an	6.10 <sup>-3</sup> /poste.an

Tableau n° 34 : Fréquences des incidents avec dégagement de gaz à l'atmosphère par scénario

#### 4.2.2. Probabilité d'inflammation

##### **des fuites**

L'absence d'inflammation en cas de rejet de gaz sur une installation annexe s'explique par les éléments suivants :

- équipement électrique (sources d'inflammation d'une fuite éventuelle) constitué d'appareils de sécurité conçus pour ne pas enflammer un éventuel mélange air-gaz inflammable selon la directive ATEX,
- qualité des matériels imposée par GRTgaz auprès des fournisseurs,
- implantation du poste choisie de façon à éviter la proximité de sources potentielles d'inflammation.

Compte tenu du faible nombre d'observations dans le retour d'expérience, la probabilité d'inflammation en cas de rejet (perforation limitée, rupture de piquage) à retenir est la suivante :

- si DLIE<sup>(1)</sup> du rejet considéré est interne au site<sup>(2)</sup> →  $P_{\text{infi}} = 10^{-2}$  / rejet  
Il s'agit de la valeur par défaut à retenir pour les petites brèches enterrées verticales, les perforations limitées horizontales et les ruptures de piquages verticaux. En effet celles-ci sont généralement contenues à l'intérieur de la clôture.
- si DLIE du rejet considéré sort du site →  $P_{\text{infi}} = 4.10^{-2}$  / rejet, par analogie à la probabilité d'inflammation des petites brèches du tracé courant (données EGIG).  
Pour les installations annexes simples, il s'agit de la valeur par défaut à retenir pour les ruptures de piquages horizontaux.

Pour les installations annexes simples existantes, dans le cadre de la révision quinquennale, une probabilité d'inflammation de 4% est retenue par défaut. En cas de mauvais positionnement du phénomène dangereux dans la matrice de risque, une analyse spécifique est réalisée afin de voir si la probabilité d'inflammation peut être abaissée à 1%.

##### Notes :

- (1) DLIE : Distance de la limite inférieure d'inflammabilité, soit distance de l'iso-concentration à 5% pour le gaz naturel.
- (2) Hors acte de malveillance (facteur de risque associé à la source d'inflammation), le retour d'expérience ne fait état d'aucune inflammation lors de la perte de confinement sur les installations annexes simples à fin 2012.

##### **des rejets aux soupapes**

Le retour d'expérience ne fait état d'aucune inflammation de rejet aux soupapes. Cela s'explique par les points suivants :

- les rejets sont verticaux ;
- l'implantation des soupapes est réalisée à l'écart des sources d'inflammation éventuelles pouvant interagir avec le panache ;
- ces rejets se font avec une vitesse d'éjection très importante d'où la difficulté d'inflammation même en cas d'épisode orageux. Seules les fuites au niveau des soupapes, dues à un défaut

d'étanchéité du siège, pourraient s'enflammer, lors d'orage, compte-tenu des très faibles vitesses d'éjection mais dans ce cas les effets thermiques seraient moindres compte-tenu de la faible pression et resteraient limités à l'intérieur du site ;

- ces rejets sont généralement de très courte durée, la soupape ayant pour fonction d'écrêter la pression aval et se refermant aussitôt que l'excès de pression a été éliminé. De ce fait, une inflammation est très peu probable et ne peut pas durer, l'alimentation en gaz étant interrompue presque immédiatement.

Pour ces raisons, une probabilité d'inflammation  $P_{infl} = 10^{-3}$  / rejet aux soupapes est retenue.

### ☐ Synthèse

		Petite brèche et perforation limitée	Rupture de piquage DN ≤ 25	Event de soupape
				$P_{infl}$
Probabilité d'inflammation	D <sub>LIE</sub> interne au site	1 %	0,1 %	
	D <sub>LIE</sub> externe au site	4 %		

**Tableau n° 35 : Probabilité d'inflammation des incidents avec dégagement de gaz à l'atmosphère par scénario sur les installations annexes de GRTgaz**

## 5. MATRICES D'ÉVALUATION DU RISQUE

Contrairement au cas des canalisations, la distance d'effets n'intervient pas dans le calcul de la probabilité des phénomènes dangereux des installations annexes ; chacun des phénomènes dangereux est positionné dans une matrice unique selon le niveau de gravité le plus élevé (c'est-à-dire le nombre maximal de personnes exposées soit dans la zone des ELS soit dans celle des PEL).

			Probabilité							
			A	B	C	D	E	F	G	
		N(ELS)	N(PEL)	$P \leq 5.10^{-7}$	$P \leq 10^{-6}$	$P \leq 5.10^{-6}$	$P \leq 10^{-5}$	$P \leq 10^{-4}$	$P \leq 10^{-3}$	$10^{-3} < P$
Gravité	1	N > 300	N > 3000							
	2	100 < N ≤ 300	1000 < N ≤ 3000							
	3	30 < N ≤ 100	300 < N ≤ 1000							
	4	10 < N ≤ 30	100 < N ≤ 300							
	5	1 < N ≤ 10	10 < N ≤ 100							
	6	N ≤ 1	N ≤ 10							

Les cases grises sont acceptables pour les installations existantes uniquement.

-ooOoo-





## CHAPITRE 7. ÉTUDE DES POINTS SINGULIERS ET AUTRES POINTS D'ATTENTION

---

L'étude des points singuliers<sup>(\*)</sup>, c'est-à-dire tout point de l'ouvrage se distinguant de la situation courante des tronçons enterrés et présentant un risque différent du tracé courant, consiste à :

- déterminer ces points avant la mise en œuvre de mesures spécifiques,
- sélectionner les phénomènes dangereux plausibles en ces points,
- apprécier la pertinence des mesures prises pour éviter l'occurrence de certains phénomènes accidentels et/ou en limiter les conséquences. Celles relevant du programme de surveillance et de maintenance seront clairement identifiées.

L'AMF précise que l'étude de dangers détermine les dispositions spécifiques à mettre en œuvre pour les points singuliers<sup>(\*)</sup> suivants :

- les zones de pose à l'air libre,
- les passages le long d'ouvrage d'art,
- les traversées de rivière,
- les zones à risque de mouvement de terrain ou d'érosion.

Les deux premières situations sont regroupées dans le paragraphe 1 ci-après.

Ces tronçons de canalisations sont constitués d'un ou plusieurs segments homogènes qui se dissocient de ceux du tracé courant qui les encadrent.

Le guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014 précise de plus que tout point nécessitant une analyse spécifique locale sera traité dans ce chapitre. Il s'agit en particulier des items de l'article 10 de l'AMF suivants :

- la protection parasismique au moyen d'une étude parasismique dans les cas et conditions mentionnés à l'article 9 de l'AMF ;
- les traversées de zones à risques de mouvements de terrain, de remontées de nappe, d'éboulements, d'avalanches ou d'érosion ;
- la protection de la canalisation contre les phénomènes météorologiques, notamment contre les phénomènes de crue dans le cas des traversées en souille de cours d'eau à régime torrentiel ;
- les traversées de routes, autoroutes, voies ferrées et cours d'eau et les surplombs de cavités souterraines ;
- les conditions de pose de la canalisation (tranchée ouverte, forage-fonçage, forage dirigé), et notamment l'éventuel caractère non fondrier du tube, le profil en long pour les forages dirigés, les précautions particulières de pose, la présence de bentonite dans les interstices pour garantir la continuité de la protection cathodique. A défaut de figurer dans l'étude de dangers, ces précisions sont fournies dans le dossier prévu à l'article 13 de l'AMF.
- les tronçons de canalisation posés à l'air libre, pour lesquels un argumentaire justifiant ce choix de pose est fourni ;
- la distance minimale et les mesures de sécurité vis-à-vis des installations classées pour la protection de l'environnement, notamment celles soumises à autorisation présentant des risques toxiques ou d'incendie ou d'explosion, et de toutes installations présentes à proximité, enterrées ou non, notamment celles susceptibles de produire des interactions en fonctionnement normal ou en cas d'accident (par exemple d'autres canalisations parallèles ou en croisement, ou des lignes électriques, ou des éoliennes) ;

- les tronçons de canalisations de transport de gaz naturel ou assimilé véhiculant du gaz non odorisé pour lesquels est pris en compte le risque de non détection de fuite de faible débit ;

Il existe d'autres points (les canalisations subaquatiques ou sous-marines, les espaces naturels sensibles) qui ne concernent pas le réseau GRTgaz.

Les points singuliers<sup>(\*)</sup> sont traités en partie au Chapitre 3 - § 3.2.5.b) en ce qui concerne les conditions de pose. Ils font l'objet d'un chapitre dédié dans la partie spécifique au regard de l'évaluation des risques. Les éléments exposés ici visent à donner les principes retenus pour étudier ces tronçons de canalisation.

## 1. CANALISATIONS AÉRIENNES OU ASSIMILÉES HORS SITE CLOS

Pour mémoire la pose à l'air libre de canalisation n'est plus autorisée sauf justification particulière. Les éléments présentés dans ce paragraphe visent donc essentiellement les ouvrages existants.

### 1.1.1. Analyse des facteurs de risques

Pour les canalisations aériennes hors site, les principaux facteurs de risques sont différents des canalisations enterrées et des canalisations aériennes en site clos.

Conformément au paragraphe 4.3.1. du guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014, ces canalisations sont généralement plus exposées à l'agression mécanique (ex : accident de la circulation) et à l'effet domino thermique à proximité de sites ICPE, mais moins exposées aux travaux de tiers du fait de leur visibilité.

L'analyse réalisée dans la partie spécifique pour ces canalisations tient compte du contexte local, et s'appuie néanmoins sur le raisonnement suivant :

- lorsqu'elles sont visibles, les dommages involontaires dus aux travaux de tiers ne sont pas retenus,
- le risque lié à l'agression mécanique peut être écarté :
  - × par la mise en place de protections mécaniques adaptées (à proximité de voie routière notamment) ;
  - × par le dimensionnement "déterministe", selon les règles de l'art, de la structure porteuse, qu'elle soit spécifique à la canalisation ou qu'elle relève d'une autre fonction (pont routier, ferroviaire, ...). Cette construction et la surveillance périodique de la structure, soit par le transporteur soit par le gestionnaire, sont telles que son effondrement, qui pourrait conduire à la rupture de la canalisation, n'a pas à être pris en compte dans l'analyse de risques. De plus dans le cas d'une structure tierce, la partie spécifique mentionnera l'existence ou non d'une convention avec le gestionnaire de l'ouvrage d'art, permettant à GRTgaz de réaliser les opérations de maintenance de la canalisation ;
- la rupture pour cause d'effet domino thermique ne peut pas provenir de la canalisation elle-même. Cette cause de rupture n'est donc pas à considérer sauf situation particulière de la canalisation à proximité d'une installation industrielle pouvant l'impacter,
- la canalisation est généralement exempte de piquages.

Les canalisations aériennes non inspectables ou difficilement inspectables doivent faire l'objet d'une analyse particulière permettant de définir des modalités de maintenance adaptées. Sauf une exception clairement identifiée, il n'existe plus de canalisation aérienne présentant un endroit inaccessible au contrôle et à l'entretien.

### 1.1.2. Scénarios de référence

Compte tenu de l'analyse de risque précédente, le scénario de fuite représentatif à retenir pour les traversées aériennes est la **petite brèche 12 mm avec rejet horizontal**.

Si la canalisation est équipée de piquages de DN  $\leq 25$  (cas très exceptionnel), le scénario de **rupture de piquage orienté** est alors évalué. In fine, seul le phénomène dangereux conduisant à l'intensité la plus importante parmi les deux scénarios ci-dessus est retenu.

Le *scénario de rupture* avec inflammation du rejet peut demeurer dans les deux situations suivantes :

- soit l'ouvrage d'art servant de support à la canalisation n'est pas à même de résister à un événement naturel (mouvement de terrain, crue importante, ...)
- soit la canalisation est exposée à un risque d'agression externe et il n'est pas possible de la protéger mécaniquement.

Il fait donc l'objet d'une analyse et d'un traitement au cas par cas dans la fiche communale.

Pour l'évaluation de l'intensité, la direction de rejet sera identifiée en fonction de la configuration de l'installation.

### 1.1.3. Intensité des phénomènes dangereux (Distances d'effets)

Le Tableau n° 36 donne les distances d'effets sur les personnes associés au rejet enflammé d'une petite brèche de 12 mm horizontale. Les distances calculées pour ces scénarios correspondent à la longueur de flamme. Au-delà de la flamme le rayonnement est moindre et n'est plus à même de conduire à des effets significatifs.

	PMS (bar)	25	40	67,7	80	94
<b>Seuil des effets thermiques</b>						
Effets Létaux Significatifs (ELS)		8	10	13	14	16
Premiers Effets Létaux (PEL)		8	10	13	14	16
Effets Irréversibles (IRE)		8	10	13	14	16

**Tableau n° 36 : Distances d'effets (en mètres) pour le scénario de petite brèche 12 mm horizontal pour les canalisations aériennes (cas majorant : cible à la même altitude que le rejet)**

Pour la rupture de piquage, les distances d'effets correspondantes sont identiques à celles des installations annexes (cf. Tableau n° 30).

Les effets consécutifs à la rupture franche de la canalisation aérienne sont à étudier au cas par cas dans la partie spécifique de l'étude de dangers sur la base de l'analyse de risque de la structure porteuse et de l'exposition de la canalisation aux risques d'agressions externes.

### 1.1.4. Fréquence et Probabilité d'atteinte d'un point

GRTgaz ne change pas la fréquence de fuite pour les canalisations aériennes. En effet, compte tenu du très faible nombre de fuites constatées sur les canalisations aériennes, il est conservatoire d'appliquer la fréquence de fuite des canalisations enterrées pour les canalisations à l'air libre (cf. Chapitre 5 - § 3.2.1).

Il en est de même pour la rupture de piquage, les fréquences sont celles retenues pour les installations annexes (cf. Tableau n° 34 & Tableau n° 35)

La probabilité d'atteinte d'un point  $P_{\text{(atteinte point)}}$  (en  $\text{an}^{-1}$ ) est donnée selon la relation suivante pour un scénario de fuite retenu pour les deux plages de létalité étudiées :

$$P_{\text{atteinte ELS}} = P_{\text{présence}} \times L_{\text{ELS}} \times P_{\text{inflammation}} \times F_{\text{origine GESIP}} \times \Sigma (P_{\text{facteur de risque}} \times C \times \text{EMC})$$

$$P_{\text{atteinte PEL}} = P_{\text{présence}} \times L_{\text{PEL}} \times P_{\text{inflammation}} \times F_{\text{origine GESIP}} \times \Sigma (P_{\text{facteur de risque}} \times C \times \text{EMC})$$

Les coefficients retenus sont notés dans le tableau suivant :

Facteurs	Scénarios	Valeurs	Commentaires
$F_{\text{origine}}$	PB	selon DN	cf. § 3.2.1 période de référence 1970-1990
$P_{\text{facteur de risque}}$	PB	100%	Valeur conservatoire
$P_{\text{inflammation}}$	PB	4%	cf. § 3.2.2 selon rapport EGIG 1970-2010
$L_{\text{ELS}} = L_{\text{PEL}}$ (en km)	PB	2×ELS	Les distances ELS et PEL sont identiques et égales à la projection horizontale de la flamme car les doses thermiques correspondant aux seuils des ELS et PEL ne sont pas atteintes
EMC	PB	1	Valeur conservatoire / pas de mesure compensatoire
$C_{\text{env}}$	PB	1	Compte tenu que les distances d'effets de la petite brèche sont inférieures aux 50 m de référence relatifs à la prise en compte des travaux tiers, 1 est retenu par défaut
$C_{\text{prof}}$	PB	1	Ne s'applique pas, 1 est retenu par défaut
$P_{\text{Présence}}$	PB	100%	Présence systématique de la victime potentielle.

**Tableau n° 37 : Valeurs de coefficients pour le calcul de la probabilité d'atteinte dans le cas des canalisations aériennes.**

Le scénario de Petite Brèche (PB) avec rejet horizontal est retenu dans l'analyse quantitative pour ces canalisations (cf. Chapitre 7 - § 1.1.2). Les distances ELS et PEL sont indiquées dans la fiche communale où se situe la canalisation à l'air libre, en § 2.3 de cette fiche.

Comme  $L_{\text{ELS}} = L_{\text{PEL}}$ , le calcul est identique et le positionnement dans la matrice ELS permet de définir l'acceptabilité du risque.

### 1.1.5. Mesures spécifiques en exploitation

Dans le cas d'une structure spécifique à la canalisation propriété du transporteur, celui-ci doit montrer que la structure a été construite selon les règles de l'art et qu'elle fait l'objet d'un entretien régulier garantissant sa pérennité.

Dans le cas d'une structure tierce, le transporteur s'efforce de signer avec le gestionnaire une convention qui l'assure de pouvoir réaliser les opérations de maintenance de la canalisation.

### 1.1.6. Mesures compensatoires

En cas de risque routier avéré, la mise en place de protection mécanique permet d'écarter tout scénario de rupture et de brèche moyenne.

En cas d'effet domino thermique, les mesures sont étudiées au cas par cas dans la partie spécifique.

### 1.1.7. PSI

Dans tous les cas, le scénario de rupture reste la base pour le PSI, assurant ainsi une continuité des distances affichées avec celles du tracé courant.

## 2. LES AUTRES POINTS D'ATTENTION

### 2.1. Passage à proximité d'autres réseaux enterrés

#### 2.1.1. Analyse des facteurs de risques

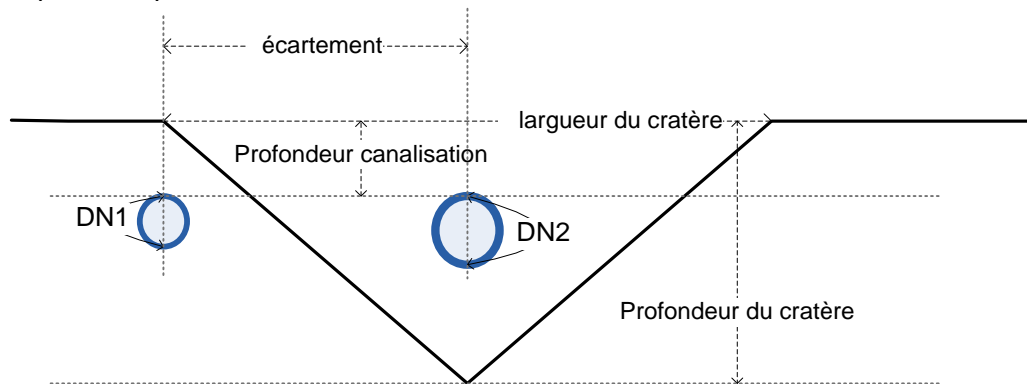
L'analyse de facteurs de risques est présentée au Chapitre 4 - § 3.6.9

##### 2.1.1.a) Parallélisme avec d'autres réseaux enterrés et nappes de canalisations enterrées

L'analyse de risques spécifique d'une canalisation posée dans une nappe de canalisations (parallélisme à quelques mètres les unes des autres) imposée au transporteur dans certaines zones devra tenir compte du contexte local (nature et proximité des fluides transportés dans la nappe, ...), mais pourra néanmoins largement s'appuyer sur le raisonnement suivant :

- une nappe de canalisations conduit à un "balisage renforcé" (plusieurs canalisations) et éventuellement à une "surveillance renforcée" (plusieurs transporteurs avec des accords d'information réciproque) de la zone qui permettent une réduction sensible du risque "travaux de tiers", et donc de la probabilité d'occurrence d'une rupture ou d'une perforation importante,
- une canalisation enterrée n'est pas sensible à la surpression, il ne peut donc pas y avoir d'effet domino lié à la surpression due à un incident sur une canalisation voisine,
- une attaque corrosive est de nature à générer une fuite sur la canalisation voisine (cf. Chapitre 4 - § 3.6.9). Les transporteurs devront évaluer les conséquences sur leurs ouvrages et adapter leurs procédures.
- Des essais en condition réelle, sur un scénario de fuite localisée avec inflammation (canalisation de gaz) ont été réalisés par ADVANTICA, Département Recherche de British Gas, en 2001.

Ils ont permis de démontrer que l'inflammation d'une brèche de 25 mm à PMS 80 bar dans un terrain constitué à 100 % de sable, hypothèses extrêmement majorantes par rapport au scénario de petite brèche (12mm) étudié, donne lieu à un cratère de 2,6 m de longueur, 2,4 m de largeur et 1,7 mètre de profondeur. Une canalisation en dehors de ce cratère est protégée thermiquement par la couverture de terre.



**Figure n° 34 : Coupe transversale du cratère susceptible de se former en cas de rupture de la canalisation**

**Nota :** Il est important de rappeler que la largeur du cratère dépend du DN de l'ouvrage et de la nature du sol, tandis que la longueur du cratère dépend de la pression à l'intérieur de l'ouvrage. L'analyse des accidents survenus sur les différents réseaux de transport en France et dans le monde confirme ces éléments.

En dehors des zones où la pose en nappe est exigée par le gestionnaire / propriétaire des emplacements traversés, la partie spécifique de l'étude de dangers précisera les distances d'écartement requises entre canalisations. En fonction du nombre de canalisations, les distances d'écartement pourront être présentées dans une matrice, la distance d'écartement étant affichée au cœur de la matrice, au croisement entre DN 1 et DN 2.

En matière de sur-accident potentiel, la quantification des effets n'étant pas possible avec les méthodes actuelles, les éléments apportés sont donc uniquement de nature qualitative et limités à l'examen des "synergies" potentielles entre produits transportés et à la toxicité potentielle des produits de combustion. Les risques liés aux autres canalisations en parallèle sont traités dans leurs études de dangers respectives. Cette approche est confortée par l'absence de retour d'expérience d'une rupture par effet domino.

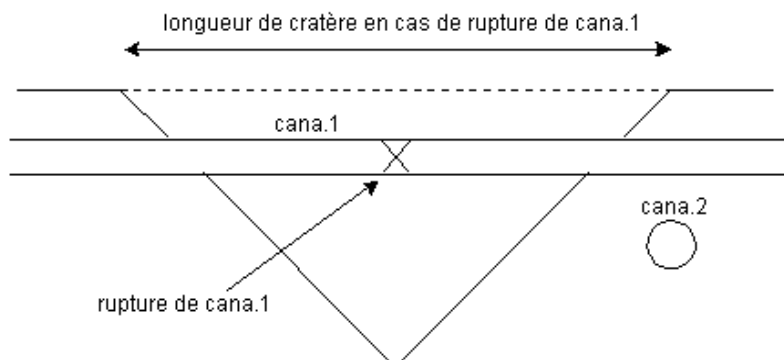
#### 2.1.1.b) Croisement avec d'autres réseaux enterrés

Lors des croisements avec d'autres réseaux de transport enterrés de produits liquides ou gazeux, la nouvelle canalisation de gaz est en général implantée sous la canalisation existante (cf. Chapitre 4 - § 3.6.9.c)). Cette sur-profondeur rend la canalisation beaucoup moins vulnérable à une agression par un engin de travaux. Néanmoins, une rupture reste a priori susceptible de se produire par effet domino thermique suite à la rupture de la canalisation du dessus, elle-même provoquée par une agression par un engin de travaux.

En cas d'agression de la canalisation supérieure, un cratère va se former. La Figure n° 35 montre une vue en coupe du cratère et de ses grandeurs caractéristiques.

La canalisation « 2 » est susceptible de rompre par effet domino thermique si et seulement si elle :

- se trouve découverte par le cratère formé par la rupture de la canalisation « 1 »,
- est en pression et hors transit,
- est soumise à un flux thermique suffisant généré par le feu de jet de la canalisation « 1 » (i.e. s'il y a inflammation).



**Figure n° 35 : Cratère formé en cas de rupture franche d'une canalisation enterrée**

L'effet domino thermique peut se produire en tout point du tronçon de la canalisation 2 qui se trouve dans le cratère. Dans le cas contraire, la canalisation « 2 » est protégée par la couverture de terre et se trouve à l'abri.

De plus, comme pour les canalisations en parallélisme, il convient d'étudier les conséquences d'une fuite mineure sur l'ouvrage existant, s'il est au-dessus, vers la canalisation en dessous, au regard de la corrosivité ou de l'effet d'abrasion potentiel du produit transporté.

**Nota :** d'après un tableau de statistiques portant sur 166 accidents survenus depuis 1958 sur des canalisations de transport sur l'ensemble du territoire français (*source : CYPRES Martigues et DRIRE PACA – 13/02/2008*), la probabilité d'une fuite localisée avec inflammation est extrêmement rare. Ainsi, sur 121 fuites recensées, seulement 8 incidents avec inflammation, tous transporteurs confondus, sont à déplorer. Parmi ces 8 incidents, 4 seulement, dont l'origine est la foudre, portent sur des ouvrages enterrés en exploitation normale. Enfin, il est à noter que depuis 50 ans, aucun incident survenu en nappe de canalisations n'est à déplorer.

### 2.1.2. Scénarios de référence

La proximité de ces ouvrages ne modifie ni les scénarios de référence à retenir ni leur probabilité. Par conséquent, les données présentées au Chapitre 5 pour le tracé courant restent applicables.

### 2.1.3. Mesures compensatoires

Dans le cadre d'un projet neuf, lorsque le tracé retenu conduit à un parallélisme avec d'autres canalisations enterrées, des dispositions de distance minimale d'écartement sont généralement respectées en fonction du diamètre et de la nature des canalisations pour se prémunir d'effet domino en cas de rupture de l'une des deux canalisations, et en particulier d'effet domino thermique, et ce si la configuration de l'environnement et la réglementation applicable (dans les secteurs gérés par des opérateurs privés par exemple) le permettent. En effet, un écartement suffisant entre canalisations permet de maintenir la canalisation non agressée en dehors du cratère formé lors de la rupture de la première (cf. Chapitre 4 - § 3.6.9).



**La partie spécifique précise les distances minimales à retenir à la pose en parallèle pour éviter toute interaction entre ouvrages sauf prescriptions particulières (pose en nappe par exemple) du gestionnaire / propriétaire des emplacements traversés.**

#### 2.1.4. PSI

Dans tous les cas, le transporteur identifiant une fuite sur sa canalisation doit en informer dans les meilleurs délais les autres transporteurs concernés selon les modalités prévues dans son PSI. Chaque transporteur concerné doit également faire figurer dans son PSI les autres ouvrages présents dans la nappe, et rappeler les éléments qualitatifs précités relatifs aux sur-accidents potentiels.

## 2.2. Proximité de parcs éoliens

### 2.2.1. Analyse des facteurs de risques

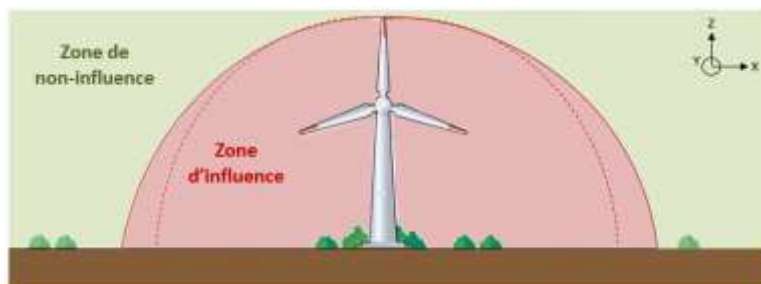
Les facteurs de risques liés aux éoliennes et retenus par GRTgaz sont les suivants :

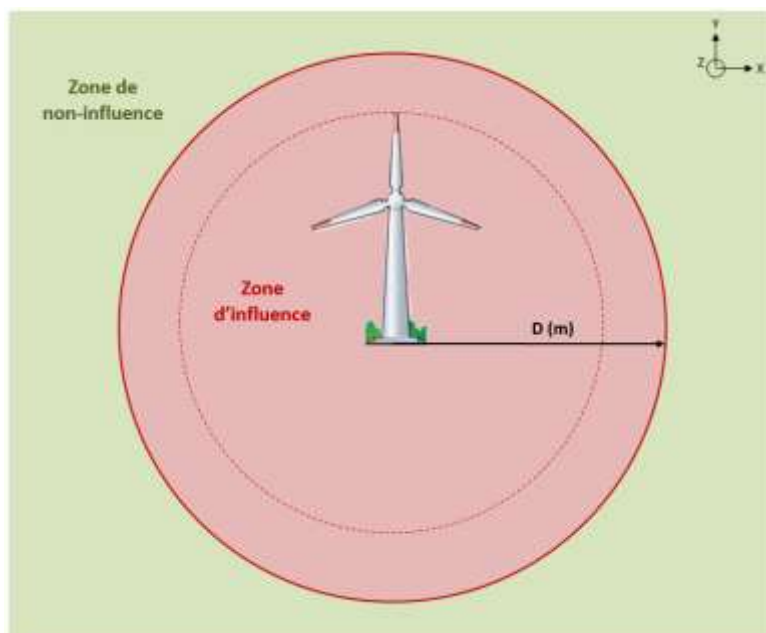
- L'effondrement ou le basculement de la tour (éclatement de la fondation ou affaissement géotechnique),
- La chute du rotor ou de la nacelle,
- La rupture d'un morceau de pale, voire d'une pale entière,
- La projection de blocs de glace.

Afin de maîtriser ces quatre facteurs de risques, des préconisations d'éloignement sont définies tant pour les canalisations enterrées que pour les installations aériennes. Celles-ci sont retenues soit lors de la pose d'une nouvelle canalisation, soit lors de l'implantation d'un nouveau parc éolien ou de l'agrandissement d'un parc existant.

#### 2.2.1.a) Préconisations d'éloignement

GRTgaz considère, pour ses ouvrages enterrés et aériens, une distance d'éloignement (D) associées à deux zones : une zone d'influence et une zone de non-influence.





- La zone verte correspond à une zone de non-influence
- La zone rouge correspond à une zone d'influence

#### □ Zone de non-influence (verte)

Par rapport aux événements considérés, la distance d'éloignement  $D$  associée à la zone de non-influence est calculée par GRTgaz de façon à s'assurer :

- que l'effondrement ou le basculement de l'aérogénérateur génère des vibrations dans le sol acceptables pour la canalisation (le seuil de vitesse particulaire maximum acceptable dans cette zone est de  $50\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ),
- que la probabilité de recevoir un morceau de pale impactant l'ouvrage gaz reste très faible (probabilité inférieure à  $10^{-6}$  <sup>39</sup>).

Au-delà de cette distance d'éloignement, l'exploitant GRTgaz n'émettra aucune réserve et donnera son accord dans le cadre de l'instruction du permis de construire et du dossier ICPE.

#### □ Zone d'influence (rouge)

##### 2.2.1.b) Préconisations d'éloignement par rapport aux ouvrages enterrés

Pour les ouvrages enterrés, la distance d'éloignement est calculée au cas par cas et est généralement supérieure de quelques dizaines de mètres (20 m à 30 m) à la hauteur totale de l'éolienne (hauteur de tour + longueur d'une pale).

À l'intérieur de la zone d'influence (distance inférieure à  $D$ ), les événements redoutés sont les suivants:

<sup>39</sup> Bureau d'études EED (Espace Éolien Développement)

- chute d'un élément ou l'effondrement de l'aérogénérateur générant des vibrations significatives dans le sol (supérieures à  $50\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ),
- impact ou perforation directe d'une canalisation enterrée, soit par la chute d'un élément ou l'effondrement de l'éolienne, soit par la projection d'une pale ou d'un morceau de pale.

Les préconisations de GRTgaz sont donc de respecter la distance d'éloignement afin **qu'aucune canalisation ne puisse se trouver dans la zone d'influence**.

Toutefois, la circulaire du 29 août 2011, relative aux conséquences et orientations du classement des éoliennes dans le régime des installations classées, indique qu'il n'appartient pas aux opérateurs d'orages de transport de définir les règles d'éloignement vis-à-vis des canalisations de transport de matières dangereuses (dès lors que ces canalisations répondent aux exigences de la réglementation, notamment en matière d'enfouissement).

De plus, compte tenu des exigences demandées lors des certifications de conformité et de qualité tout au long du cycle de vie d'une éolienne, la probabilité qu'un événement survienne et, qui plus est, porte atteinte à un ouvrage de transport situé dans la zone d'influence est inférieure à  $10^{-6}$  par an.

Cette fréquence ne serait donc pas de nature à augmenter de façon significative la fréquence de défaillance utilisée pour les études de dangers des canalisations de transport de gaz.

En cas de projet d'éolienne ne respectant pas la distance d'éloignement, GRTgaz demandera un engagement de l'aménageur à prendre à sa charge les frais d'inspection (et de réparation en cas de défaut constaté) de la canalisation suite à une défaillance de l'éolienne.

#### 2.2.1.c) Préconisations d'éloignement par rapport aux ouvrages aériens

Pour les ouvrages aériens de GRTgaz, il convient de prendre des mesures de sécurité plus contraignantes que pour les ouvrages enterrés dans la mesure où ils peuvent subir un impact direct (pale, morceaux de pale, débris ou blocs de glace), sans bénéficier de la protection offerte par la hauteur de couverture.

La chute d'un morceau de pale à proximité de l'ouvrage est considérée comme l'événement le plus pénalisant en matière de mesures préventives.

**Ainsi, la distance d'éloignement D ne pourra être inférieure à 2 fois la hauteur totale de l'éolienne, soit  $2 \times$  (hauteur de tour + longueur d'une pale).** Si cette dernière est respectée, l'exploitant GRTgaz n'émettra aucune réserve et donnera son accord dans le cadre de l'instruction du permis de construire et du dossier ICPE, **sans exigence particulière** vis-à-vis des risques de défaillance mécanique.

#### 2.2.2. Scénarios de référence

Si les critères d'éloignement préconisés sont respectés, la fréquence des scénarios de référence n'est pas modifiée.

En cas de non-respect des distances d'éloignement préconisées ci-dessus, une analyse particulière devra être réalisée afin de déterminer la probabilité complémentaire à retenir pour les différents scénarios de référence. Pour les installations aériennes, l'étude précisera si la rupture est à retenir.

### 2.2.3. Mesures compensatoires

La mesure compensatoire la plus pertinente est l'éloignement tant pour l'aménageur en cas de création d'un nouveau parc éolien que du transporteur en cas de pose d'un nouvel ouvrage à proximité d'un parc existant.

## 2.3. Proximité des ICPE

Aucune contrainte de distance minimale entre canalisation de transport et ICPE n'est fixée a priori. Néanmoins conformément à l'article 10 de l'AMF l'étude de dangers du projet de canalisation examine la distance minimale et les mesures de sécurité vis-à-vis des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement, notamment celles soumises à autorisation présentant des risques toxiques ou d'incendie ou d'explosion. Pour les canalisations existantes une analyse des risques est réalisée en fonction de l'implantation effective des ouvrages.

### 2.3.1. Analyse des facteurs de risques : Effets domino

D'une manière générale, la canalisation enterrée est protégée des effets induits par l'industriel ; par contre les effets de la canalisation sur les installations tierces doivent être examinés. Cette analyse fait l'objet d'une concertation avec les industriels concernés afin de déterminer les mesures les plus adaptées à mettre en œuvre.

#### 2.3.1.a) Effets domino des ouvrages de GRTgaz sur les installations tierces (ICPE)

L'ICPE doit être considérée comme pouvant être exposée aux effets d'un accident se produisant sur un ouvrage de GRTgaz. L'analyse de risque doit, **si nécessaire et en liaison avec l'exploitant de l'ICPE concernée**, proposer les mesures de nature à empêcher ou à limiter autant que possible les effets directs ou indirects (sur-accident).

Les effets à considérer lors d'un effet domino des ouvrages de GRTgaz sur les installations d'un industriel sont :

#### **la surpression**

Le seuil réglementaire à partir duquel les effets domino de surpression doivent être examinés (et pour lesquels une modulation est possible en fonction des matériaux et structures concernés) est de 200 hPa ou mbar. Cette surpression n'est jamais atteinte pour des rejets de gaz naturel sous pression verticaux issus de canalisation enterrée. Pour les installations annexes, les scénarios de référence pouvant conduire à un rejet horizontal, ne sont pas à même de générer des surpressions d'un tel niveau compte tenu de la faible masse de gaz mise en jeu et la faible réactivité du gaz naturel.

**Il n'y a pas lieu de retenir la surpression comme évènement initiateur d'un effet domino sur une installation ICPE voisine.**

### □ le flux thermique

Le seuil réglementaire à partir duquel les effets domino thermiques doivent être examinés (et pour lesquels une modulation est possible en fonction des matériaux et structures concernés) est de 8 kW/m<sup>2</sup>. L'étude de dangers identifie les installations industrielles (c'est-à-dire celles pouvant être le siège d'un phénomène dangereux en cas de perte de confinement) dans le périmètre des effets domino précisés ci-dessus, en relation avec les industriels concernés. L'analyse est réalisée au cas par cas et présentée dans la fiche communale pour les ouvrages existants ou la partie spécifique de l'ouvrage neuf. La mise en place, si nécessaire, de mesures compensatoires est également examinée en concertation avec l'industriel afin de tenir compte des mesures préexistantes sur son site et non intégrées en base dans l'analyse initiale.

**Dès lors que le flux de 8 kW/m<sup>2</sup> atteint l'emprise d'une ICPE soumise à autorisation, un courrier est envoyé aux industriels concernés afin de les informer de l'atteinte de leurs sites par un ou plusieurs phénomènes dangereux issus des ouvrages de transport**

#### 2.3.1.b) Effets domino des installations tierces (ICPE) sur les ouvrages de GRT-gaz

Seules les ICPE soumises à autorisation pouvant présenter des risques pour les installations du transporteur sont retenues, il s'agit en particulier des installations dont les phénomènes dangereux sont à l'origine d'effets thermiques (à partir de 8 kW/m<sup>2</sup>) ou de surpressions notables (plusieurs centaines de mbar).

L'ICPE doit être considérée comme pouvant être à l'origine d'un accident dont les conséquences sur l'ouvrage GRTgaz – notamment le risque de sur-accident lié à une brèche - doivent être évaluées uniquement pour les ouvrages aériens puisque les canalisations enterrées sont insensibles aux effets du rayonnement thermique et de la surpression issus de ces installations. En effet, GRTgaz considère que la hauteur de terre recouvrant ses ouvrages est suffisante pour prévenir un éventuel effet domino (thermique ou de surpression) sur ses ouvrages (cf. Chapitre 4 - § 4.5.3.a).

#### 2.3.2. Scénarios de référence

Pour les installations aériennes, un examen particulier sera mené au cas par cas selon les principes exposés au § 4.5.3, afin d'évaluer si l'installation annexe peut être le siège d'une rupture.

#### 2.3.3. Dispositions particulières au regard de la gravité

Dans tous les cas, le recensement du nombre de personnes présentes sur le site de l'ICPE entre dans l'évaluation de la présence humaine de la canalisation au regard des critères de l'article 6.

Si l'ICPE existante est ou contient un (ou plusieurs) ERP, l'article 5 de l'AMF doit être respecté.

Conformément à l'annexe 7 du guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014, au regard de l'analyse du risque, en base, l'effectif du site exposé au risque de la canalisation est compté, pour déterminer la gravité des scénarios, en retenant l'effectif à l'adresse indiquée. Si les informations relatives à la présence simultanée ou non de l'ensemble des personnes et à leur positionnement vis-à-vis des zones d'effets sont disponibles, le nombre de personnes exposées peut être réduit en conséquence.

Toutefois, si le site et la canalisation ont le même exploitant (exemple station de compression de GRTgaz), l'effectif du site n'est pas pris en compte dans l'évaluation du risque.

Par ailleurs, l'effectif du site d'une ICPE tierce n'est pas pris en compte dans l'évaluation du risque si les plans d'urgence respectifs de l'industriel et du transporteur sont mis en cohérence (cf. Annexe n° 6).

**L'étude spécifique précisera si de telles dispositions sont retenues en des points spécifiques de la canalisation au voisinage des ICPE.**

## **2.4. Proximité d'INB**



[Se reporter à la partie 2 : Etude spécifique](#)

Les règles fondamentales de sûreté des INB<sup>40</sup> relatives à la prise en compte des risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication sont en cours de révision. A l'issue de leur publication, elles seront déclinées dans la méthodologie des études de dangers des canalisations de transport sous l'égide du GESIP.

Pour les nouvelles installations, l'évaluation des risques est traitée au cas par cas dans la partie spécifique.

Pour les installations existantes (canalisations et postes), ce risque est déjà pris en compte dans la partie générique des études de dangers et devrait être intégré aux études de sûreté des INB.

**-ooOoo-**

---

<sup>40</sup> RÈGLE N° I.2.d (7 mai 1982) et RÈGLE N° I.I.b (7 octobre 1992)

## CHAPITRE 8. GLOSSAIRE





<b>Accessoires</b>	Éléments des canalisations tels que les pièces de forme, la robinetterie, les gares de racleurs, les appareils de régulation ou de comptage, les brides, les porte-diaphragmes, les tuyères, les accessoires de sécurité.
<b>Accident</b>	Événement non désiré, tel qu'un incendie ou une explosion résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation d'un ouvrage qui entraîne des conséquences / dommages vis à vis des personnes, des biens ou de l'environnement et de l'entreprise en général. C'est la réalisation d'un phénomène dangereux, combinée à la présence de cibles vulnérables exposées aux effets de ce phénomène.
<b>Analyse Détaillée des Risques</b>	Identification des sources de dangers possibles de manière quantifiée sur la base de l'analyse préliminaire des risques.
<b>Analyse Préliminaire des Risques</b>	Identification des sources de dangers possibles de manière qualitative permettant d'exclure certains événements initiateurs avant de passer à une approche quantifiée (étude détaillée des risques).
<b>Bande de servitude</b>	Bande de terrain, située de part et d'autre de la canalisation à l'intérieur de laquelle des mesures conservatoires visant à assurer l'exploitation et la sécurité de l'ouvrage sont respectées. Les servitudes sont instituées par des conventions de servitudes signées à l'amiable avec les propriétaires des terrains ou, à défaut, par arrêté préfectoral conformément aux dispositions du code de l'expropriation.
<b>Bardage</b>	Opération qui consiste à transporter par camions des éléments tubulaires depuis les différents parcs de stockage jusqu'à la piste et les distribuer le long de la piste de travail. L'opération de bardage se fait chronologiquement après l'aménagement de la piste et des accès.
<b>Brèche de référence</b>	Brèche type représentative, compte tenu du retour d'expérience, d'un des modes principaux de perte de confinement.
<b>Bipasse</b>	Circuit constitué de tuyauteries permettant de mettre en liaison les tronçons de canalisation situés en amont et en aval d'un robinet de sectionnement.
<b>Câble de garde</b>	Câble relié à la terre via la structure métallique des pylônes supportant les lignes haute tension.
<b>Cintrage</b>	Opération visant à donner à un tube le rayon de courbure désiré.
<b>Circuit d'équilibrage</b>	Circuit constitué de tuyauteries permettant de mettre en liaison deux tronçons de canalisation afin de rendre identiques leurs pressions de gaz.
<b>Cloutage</b>	Le « cloutage » (aussi appelé « clouage ») est une technique de confortement des sols, destinée à améliorer la stabilité de pentes naturelles ou artificielles, et consistant à introduire dans le terrain des inclusions (aussi appelées clous ou armatures), rigides et passives, qui ont pour effet de limiter les déformations du sol. Les inclusions (généralement des fers de béton armé) sont mises en place de manière à ce que leurs extrémités soient ancrées (par frottement) dans la zone résistante du sol, c'est-à-dire la partie rigide qui ne se déforme pas. Les fers sont insérés par les techniques classiques : battage, vibrofonçage ou encore forage / scellement.

<b>Coefficient de sécurité</b>	Le rapport de la contrainte circonférentielle, due à la pression interne maximale du fluide à laquelle peut être soumis un tube ou un accessoire de canalisation, à la limite d'élasticité minimale spécifiée à 0,5 % ( $Rt_{0,5}$ ) à la température maximale en service. Le coefficient de sécurité peut également être appelé coefficient de calcul ou coefficient de conception
<b>Conséquences</b>	Combinaison, pour un accident donné, de l'intensité des effets et de la vulnérabilité des cibles situées dans les zones exposées à ces effets. Elles s'expriment en définissant la nature et la gravité des atteintes portées à ceux-ci. Le terme « dommages » est parfois employé pour désigner les conséquences : « Blessure physique ou atteinte à la santé des personnes, ou atteintes aux biens ou à l'environnement » (ISO/CEI 51).
<b>Conservatoire</b>	Caractéristique d'une mesure qui a pour but de conserver un niveau maximum de sécurité.
<b>Contrôles non destructifs</b>	Contrôles permettant de s'assurer de l'absence de défaut sur une pièce métallique sans provoquer sa destruction.
<b>Danger</b>	Propriété intrinsèque à une substance, à un système technique (mise sous pression d'un gaz,...), à une disposition, etc... de nature à entraîner un dommage sur un « élément vulnérable » (personne, bien ou environnement). Cet « élément vulnérable » est appelé « point » dans la suite du guide GESIP. Sont ainsi rattachées à la notion de "danger" les notions d'inflammabilité ou d'explosivité, de toxicité, de caractère infectieux etc... inhérentes à un produit et celle d'énergie disponible (pneumatique ou potentielle) qui caractérisent le danger.
<b>Mesures compensatoires de sécurité</b>	D'après l'arrêté du 5 mars 2014 modifié : Des aménagements (balisage renforcé, pose de dalles en béton, par exemple), des dispositions de construction ou de pose (surépaisseur, surprofondeur, création de talus, par exemple), des mesures d'exploitation et d'information (surveillance renforcée, réduction de la PMS, information des riverains, information des entreprises susceptibles d'effectuer des travaux à proximité des canalisations, par exemple) spécifiques destinés à diminuer le risque d'atteinte à la sécurité des personnes et des biens et à la protection de l'environnement. Ils sont susceptibles de réduire la probabilité d'occurrence de certains phénomènes accidentels et donc de conduire à redéfinir le choix du scénario de référence.
<b>Évent</b>	Circuit constitué généralement de tuyauteries et d'un robinet permettant par l'ouverture de ce dernier d'évacuer à l'atmosphère le gaz naturel contenu dans une capacité ou dans un tronçon de canalisation.
<b>Facteur de risque</b>	Type d'événements initiateurs pouvant être à l'origine du scénario d'accident étudié (exemple : les travaux de tiers sont un facteur de risque pouvant conduire à la rupture d'une canalisation de transport d'un fluide gazeux).
<b>Faille capable</b>	Faille dont le potentiel de déplacement en surface ou proche de la surface est significatif.
<b>Gravité</b>	La gravité des conséquences potentielles prévisibles sur les personnes, résulte de la combinaison en un point de l'espace de l'intensité des effets d'un phénomène dangereux et de la vulnérabilité des personnes potentiellement exposées.

<b>Guide professionnel reconnu</b>	Document établi par un organisme qualifié par le ministre chargé de la sécurité des canalisations de transport et reconnu par l'arrêté du 5 mars 2014 relatif aux champs d'application dudit document. (annexe 9 de l'AMF)
<b>Intensité des effets d'un phénomène dangereux</b>	Mesure physique de l'intensité du phénomène (thermique, toxique, surpression, projections). Les échelles d'évaluation de l'intensité se réfèrent à des seuils d'effets moyens conventionnels sur des types d'éléments vulnérables [ou cibles] tels que « homme », « structures ». L'intensité ne tient pas compte de l'existence ou non de cibles exposées. Elle est cartographiée sous la forme de zones d'effets pour les différents seuils.
<b>Logement et nombre de personnes dans une zone</b>	Au sens de l'article 6 de l'AMF, un logement est considéré comme occupé en moyenne par 2,5 personnes. Le comptage des personnes susceptibles d'être présentes dans une zone est effectué en appliquant ce coefficient moyen au nombre de logements identifiés et en lui ajoutant le nombre de personnes susceptibles d'être présentes dans les autres installations et établissements.
<b>Majorant</b>	Se dit d'un effet supérieur de par son importance ou sa gravité par rapport aux autres effets possibles.
<b>Mercaptans</b>	Composés soufrés pouvant être ajoutés au gaz naturel à très petite dose afin d'assurer son odorisation.
<b>Méthane</b>	Hydrocarbure léger de formule chimique CH <sub>4</sub> , non toxique et principal constituant du gaz naturel.
<b>Mise en service</b>	La première mise en mouvement du fluide transporté. L'utilisation du fluide devant être transporté pour la réalisation d'une épreuve prévue à l'article 14, ou pour le remplissage de la canalisation à faible pression et sans mise en mouvement, n'est pas considérée comme une mise en service.
<b>Monitor</b>	Détendeur-régulateur secondaire utilisé comme dispositif de sécurité, monté en série avec le détendeur-régulateur principal qui assure le contrôle de la pression à une valeur de consigne supérieure, dans le cas d'une défaillance du détendeur-régulateur principal en position ouverte.
<b>Oxysulfure de carbone</b>	Composé soufré de formule chimique COS pouvant être contenu en très faible quantité dans le gaz naturel transporté par GRTgaz.
<b>Pénalisant</b>	Domageable de par son impact ou ses conséquences.
<b>Phénomène dangereux</b>	Libération d'énergie ou de substance produisant des effets (thermique, pneumatique, toxique), susceptibles d'infliger un dommage à des cibles (ou éléments vulnérables) vivantes ou matérielles, sans préjuger l'existence de ces dernières. C'est une « Source potentielle de dommages » (ISO/CEI 51) Ne pas confondre avec « accident » : un phénomène produit des effets alors qu'un accident entraîne des conséquences/dommages
<b>Pipe-rack</b>	Structure métallique destinée à supporter en hauteur des canalisations.
<b>Piston racleur</b>	Dispositif poussé dans une canalisation par le fluide pour effectuer des opérations internes telles que le nettoyage des canalisations.
<b>Point de rosée eau</b>	(ou température de rosée) Température exprimée en °C, à laquelle il faut refroidir le gaz, à pression donnée, pour le saturer en eau (apparition des premières gouttelettes d'eau).

<b>Point singulier</b>	Un point singulier est soit une traversée aérienne, soit une traversée sous-fluviale, soit un tronçon de canalisation posé en zone d'instabilité de sol.
<b>Polarisation négative</b>	S'applique au métal de la canalisation soumis à un potentiel électrique négatif par rapport au milieu ambiant.
<b>Polymères</b>	Résines ayant de bonnes caractéristiques d'isolation électrique.
<b>Potentiel électrochimique</b>	Valeur du potentiel électrique du métal de la canalisation mesuré par rapport à une électrode de référence (mesuré en mV).
<b>Pression maximale en cas d'incident</b>	Pression maximale de courte durée, limitée par les dispositifs de sécurité, pouvant être atteinte dans un système à la suite d'un incident
<b>Pression Maximale en Service</b>	Pression maximale à laquelle un point quelconque de la canalisation est susceptible de se trouver soumis dans les conditions normales de service prévues
<b>Protection cathodique</b>	Système protégeant les canalisations métalliques enterrées contre la corrosion en faisant circuler dans ces dernières un très faible courant électrique.
<b>Raccord isolant</b>	Joint permettant d'isoler électriquement deux éléments de canalisation.
<b>Relevés bathymétriques</b>	Sondages permettant de déterminer le profil d'un lit de rivière ou d'un fond marin.
<b>Résilience</b>	Aptitude d'un matériau à résister aux chocs (mesurée en J). La résilience est mesurée par des essais de résistance aux chocs réalisés sur des éprouvettes à une température donnée.
<b>Revêtement hydraulique</b>	Revêtement se composant de plusieurs couches de granulats minéraux, perméable à l'eau et respectueux de l'environnement ; il ne contient aucun liant synthétique, tel que du ciment ou du bitume.
<b>Risque</b>	Grandeur à deux dimensions associée à une phase précise de l'activité de l'ouvrage de transport étudié et caractérisant un événement non souhaité par sa probabilité d'occurrence (plus ou moins mesurable) et ses conséquences.
<b>Scénario d'accident</b>	Enchaînement d'événements conduisant d'un événement initiateur à un accident, dont la séquence et les liens logiques découlent de l'analyse de risques. En général, plusieurs scénarios peuvent mener à un même phénomène dangereux pouvant conduire à un accident : on dénombre autant de scénarios qu'il existe de combinaisons possibles d'événements y aboutissant.
<b>Scénario de référence initial</b>	Sans justification spécifique, le scénario de référence initial sera le scénario de rupture totale. Dans l'étude de dangers, le transporteur pourra retenir un autre scénario de référence basé sur le retour d'expérience.
<b>Scénario de référence</b>	Scénario d'accident établi à partir du choix d'une brèche de référence et d'un enchaînement de conséquences possibles.
<b>Secteur</b>	Équipe d'intervention de 6 à 10 personnes qui a en charge l'exploitation d'un secteur géographique bien défini.
<b>Segment</b>	Tronçon de canalisation pour lequel sont retenues sur toute sa longueur les conditions les plus défavorables existantes en terme de gravité d'une part et de probabilité d'autre part (construction, environnement, ...)
<b>Seuil de corrosion</b>	Valeur de potentiel électrochimique au-delà de laquelle le métal de la canalisation est protégé contre les risques de corrosion.
<b>Soudure de raboutage</b>	Soudure assurant la jonction de deux tronçons de tube

<b>Soufre total</b>	Somme de tous les composés soufrés contenus dans le gaz naturel.
<b>Souille</b>	Tranchée dans le (ou en travers du) lit d'un cours d'eau de surface (non souterrain)
<b>Sulfure d'hydrogène</b>	Gaz de formule chimique H <sub>2</sub> S très corrosif pour les métaux et contenu en très faible quantité dans le gaz naturel transporté par GRTgaz.
<b>Tétrahydrothiophène</b>	Composé soufré injecté dans le gaz naturel afin de lui donner son odeur reconnaissable.
<b>Tracé courant</b>	Ensemble de l'ouvrage à l'exclusion des points singuliers et des installations annexes (partie enterrée et hors sites clos de l'ouvrage).
<b>Trancheuse</b>	Engin BTP destiné à creuser une tranchée
<b>Traversée aérienne (TA)</b>	<p>Tout tronçon de canalisation hors des sites GRTgaz (postes de livraison, sectionnements, interconnexions, compression) qui n'est plus dans un sol assurant la continuité de la protection cathodique est une traversée aérienne (TA). Elle peut être placée à l'air libre ou en caniveau et peut emprunter un ouvrage d'art. La zone d'emprise de la traversée aérienne commence à la sortie du sol et finit à l'entrée à nouveau dans le sol.</p> <p>NOTA : il est convenu que les points spéciaux aériens avec continuité de la protection cathodique demeurent listés avec les traversées aériennes (TA catégorie 5 type caniveau ensablé, ...). Toutefois, ils reçoivent une maintenance différente.</p>
<b>Traversée sous-fluviale (TSF)</b>	<p>Tout tronçon de canalisation qui franchit un cours d'eau de surface (non souterrain), de base, fleuve, rivière ou ruisseau. Les traversées sont généralement réalisées selon deux grandes techniques soit en souille, soit en sous-œuvre (forage dirigé, micro-tunnelier, ...). Celles en sous-œuvre ainsi que celles dont l'inspection pédestre est possible en période d'étiage ne nécessitent pas de maintenance spécifique. La zone d'emprise de la TSF est l'intersection géographique entre le lit majeur du cours d'eau et la canalisation.</p> <p>NOTA : la base de données BD CARTHAGE (source officielle du SANDRE) peut aider à vérifier la liste des traversées sous-fluviales mais ne sert pas de référence systématique.</p>
<b>Unité urbaine (UU)</b>	<p>Selon l'INSEE, l'unité urbaine est une commune ou un ensemble de communes qui comporte sur son territoire une zone bâtie d'au moins 2 000 habitants où aucune habitation n'est séparée de la plus proche de plus de 200 mètres. En outre, chaque commune concernée possède plus de la moitié de sa population dans cette zone bâtie.</p> <p>Si l'unité urbaine s'étend sur plusieurs communes, l'ensemble de ces communes forme une agglomération multicommunale ou agglomération urbaine. Si l'unité urbaine s'étend sur une seule commune, elle est dénommée ville isolée.</p>
<b>Zone d'effets des phénomènes accidentels</b>	Bandes axées sur la canalisation à l'intérieur desquelles sont atteints ou dépassés des seuils de toxicité, de surpression, ou de dose thermique qui peuvent conduire, sur les personnes, à la suite d'une perte de confinement, à des effets irréversibles, aux premiers effets létaux, ou à des effets létaux significatifs, au sens de la réglementation applicable aux valeurs de référence de seuils d'effets des phénomènes accidentels des installations classées pour la protection de l'environnement.

---

<b>Zone des dangers significatifs pour la vie humaine (IRE)</b>	Zone délimitée par les seuils des effets irréversibles : 600 [(kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> ].s pour les effets thermiques, 50 mbar pour les effets de surpression, et ce selon la définition des zones de dangers fixée par l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation.
<b>Zone des dangers graves pour la vie humaine (PEL)</b>	Zone délimitée par les seuils des premiers effets létaux : 1000 [(kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> ].s pour les effets thermiques, 140 mbar pour les effets de surpression (arrêté ministériel du 29 septembre 2005).
<b>Zone des dangers très graves pour la vie humaine (ELS)</b>	Zone délimitée par les seuils des effets létaux significatifs : 1800 [(kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> ].s pour les effets thermiques, 200 mbar pour les effets de surpression (arrêté ministériel du 29 septembre 2005).
<b>Zone d'instabilité de sol</b>	Les ouvrages implantés en terrain instable sont des tronçons de canalisations qui peuvent être soumis à des glissements de terrain, des affaissements ou des effondrements du sous-sol. Les zones retenues par GRTgaz sont celles avec des instabilités de sol identifiées faisant l'objet d'actes spécifiques de maintenance. La zone d'emprise de la zone d'instabilité de sol (ZIS) est l'intersection géographique entre la zone et la canalisation.

☐ **Abréviations utilisées**

<b>CLIR</b>	Centre Logistique d'Intervention sur le réseau.
<b>CPTG</b>	Cahier des Prescriptions Techniques Générales
<b>CSR</b>	Centre de Surveillance Régional.
<b>DICT</b>	Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux.
<b>DN</b>	Diamètre nominal. Désignation numérique du diamètre, sans unité, laquelle est un nombre entier approximativement égal à la conversion en millimètres d'un diamètre exprimé en pouces (unité de mesure américaine). Par exemple, un diamètre nominal de 800 correspond à un diamètre extérieur de 32" (812,8mm).
<b>D.N.</b>	Dispatching National
<b>DREAL</b>	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement. Les DREAL sont issues de la fusion des DIREN, des DRE et des DRIRE. 8 DREAL sont créées en 2009, 13 en 2010 et 4 en 2011. Sous l'autorité du préfet de région, la DREAL est le service régional qui porte la politique nationale de lutte contre le changement climatique, de préservation de la biodiversité, de lutte contre les risques, mais aussi la politique nationale du logement et de renouvellement urbain, dans une approche intégrée d'aménagement et de développement durable.
<b>DRIEE-IF</b>	Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie d'Île-de-France (DRIEE-IF), créée par décret paru au Journal Officiel du 24 juin 2010. Elle est issue du regroupement de quatre entités : la Direction Régionale de l'Environnement (DIREN), le Service Technique Interdépartemental de l'Inspection des Installations Classées (STIIC) de la Préfecture de police, le service eau/environnement du Service Navigation de la Seine (SNS), et la Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE, hors activités de développement industriel et métrologie). Ce service déconcentré du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM), la DRIEE met en œuvre sous l'autorité du préfet de région d'Île-de-France les priorités d'actions de l'État en matière d'environnement et d'énergie, et plus particulièrement celles issues du Grenelle de l'Environnement.
<b>DRIRE</b>	Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
<b>DT</b>	Déclaration de projet de travaux
<b>ERP</b>	Établissement recevant du public : établissements définis et classés en catégories par les articles R.123-2 et R.123-19 du code de la construction et de l'habitation. La capacité, ou « catégorie », est désignée par un chiffre défini par l'article R123-19 du Code de la construction et de l'habitation : 1 <sup>ère</sup> catégorie au-dessus de 1 500 personnes, 2 <sup>ème</sup> catégorie de 701 à 1500 personnes, 3 <sup>ème</sup> catégorie de 301 à 700 personnes.
<b>EGIG</b>	European Gas Pipeline Incident Data Group : groupe constitué de 17 compagnies gazières européennes qui mettent en commun les informations sur leurs incidents en vue d'alimenter une base européenne d'incidents sur canalisations de transport de gaz naturel.
<b>GESIP</b>	Groupe d'Étude de Sécurité des Industries Pétrolières et chimiques.
<b>GRTgaz</b>	Gestionnaire d'un des deux réseaux de transport par gazoduc en France.

<b>ICPE</b>	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
<b>IGH</b>	Immeuble de Grande Hauteur : corps de bâtiments définis et classés en catégories par les articles R.122-2 et R.122-5 du code de la construction et de l'habitation. Selon l'article R122-2 du Code de la construction et de l'habitation français, « constitue un immeuble de grande hauteur, [...] tout corps de bâtiment dont le plancher bas du dernier niveau est situé, par rapport au niveau du sol le plus haut utilisable pour les engins des services publics de secours et de lutte contre l'incendie : à 50 mètres pour les immeubles à usage d'habitation ; à plus de 28 mètres pour tous les autres immeubles. »
<b>INB</b>	Installation Nucléaire de Base : installation nucléaire qui, de par sa nature ou en raison de la quantité ou de l'activité de toutes les substances radioactives qu'elle contient, est soumise à une réglementation spécifique (décret n°63-1228 du 11 décembre 1963 modifié).
<b>MIP</b>	Pression maximale en cas d'incident
<b>PAIR</b>	Poste Avancé d'Intervention sur le Réseau.
<b>PCS</b>	Pouvoir Calorifique Supérieur.
<b>PLU</b>	Plan Local d'Urbanisme. Document d'urbanisme qui remplace le Plan d'Occupation des Sols (POS). Il définit les règles d'urbanisme applicables sur la ou les communes concernées.
<b>PMS</b>	Pression Maximale en Service exprimée en valeur relative.
<b>PPRNp</b>	Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles
<b>PPSM</b>	Programme Périodique de Surveillance et de Maintenance
<b>PSI</b>	Plan de Sécurité et d'Intervention.
<b>SDIS</b>	Service Départemental d'Incendie et de Secours
<b>REX</b>	Retour d'EXpérience.
<b>THT</b>	Tétrahydrothiophène, produit utilisé par GRTgaz pour l'odorisation du gaz naturel.
<b>VS</b>	Vanne de sécurité (Clapet de sécurité pression)

**Principales unités utilisées :**

<b>m<sup>3</sup>(n)/s</b>	Débit de gaz exprimé en mètre cube par seconde, les volumes de gaz étant mesurés dans les conditions normales (0°C et pression atmosphérique).
<b>mbar</b>	millibar, unité de pression 1 bar = 1000 mbar = 10 <sup>5</sup> Pascal. Pression atmosphérique = 1013 mbar.
<b>kW/m<sup>2</sup></b>	Quantité d'énergie thermique reçue par une surface de un mètre carré en une seconde exprimée en kilowatt.
<b>[(kW/m<sup>2</sup>)<sup>4/3</sup>].s</b>	Dose thermique ( $\phi^{4/3}.t$ ) correspondant à une exposition pendant un temps t (en s) à un flux thermique $\phi$ (en kW/m <sup>2</sup> ).
<b>km.an</b>	1 kilomètre de canalisation exploitée pendant une année
<b>Poste.an</b>	1 poste exploité pendant une année
<b>mV</b>	Millivolt

-ooOoo-



## CHAPITRE 9. ANNEXES



---

## SOMMAIRE DES ANNEXES

---

<b>ANNEXE N° 1 :</b>	<b>DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE .....</b>	<b>229</b>
<b>ANNEXE N° 2 :</b>	<b>FICHE DE DONNEES DE SECURITE.....</b>	<b>231</b>
<b>ANNEXE N° 3 :</b>	<b>CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBES .....</b>	<b>245</b>
<b>ANNEXE N° 4 :</b>	<b>PRÉSENTATION DES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES, DES MODÈLES UTILISÉS ET DE LEUR VALIDATION .....</b>	<b>249</b>
<b>ANNEXE N° 5 :</b>	<b>HYPOTHÈSES POUR LES CALCULS DES EFFETS.....</b>	<b>283</b>
<b>ANNEXE N° 6 :</b>	<b>EVALUATION DE LA GRAVITE – DÉCOMPTE DES PERSONNES .....</b>	<b>285</b>
<b>ANNEXE N° 7 :</b>	<b>DÉTERMINATION DE LA PROBABILITÉ D'ATTEINTE D'UN POINT DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CANALISATION.....</b>	<b>291</b>
<b>ANNEXE N° 8 :</b>	<b>CRITERES DE DÉFINITION DES TRONÇONS HOMOGENES.....</b>	<b>295</b>
<b>ANNEXE N° 9 :</b>	<b>TABLEAU DE FACTEURS DE RÉDUCTION OU D'AGGRAVATION DES RISQUES .....</b>	<b>297</b>
<b>ANNEXE N° 10 :</b>	<b>PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN POSTE DE LIVRAISON.....</b>	<b>301</b>



---

## ANNEXE N° 1 : DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

---

### TEXTES LÉGISLATIFS ET RÉGLEMENTAIRES

Code de l'énergie – Partie Législative & Réglementaire

Code de l'environnement – Partie Législative & Réglementaire : Livre V (Prévention des pollutions, des risques et des nuisances) – Titre V (Dispositions particulières à certains ouvrages ou certaines installations) :

- × Chapitre IV (Sécurité des réseaux souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution),
- × Chapitre V (Canalisations de transport de gaz, d'hydrocarbures et de produits chimiques).

Arrêté du 5 mars 2014 modifié définissant les modalités d'application du chapitre V du titre V du livre V du code de l'environnement et portant règlement de la sécurité des canalisations de transport de gaz naturel ou assimilé, d'hydrocarbures et de produits chimiques (AMF)

Arrêté du 28 janvier 1981 - Teneur en soufre et composés sulfurés des gaz naturels transportés par canalisation de transport.

### DOCUMENTATIONS TECHNIQUES

Les principaux documents techniques consultés pour l'élaboration d'une étude de dangers sont :

[G1] Guide GESIP « Guide méthodologique pour la réalisation d'une étude de dangers concernant une canalisation de transport (hydrocarbures liquides ou liquéfiés, gaz combustibles et produits chimiques) » Rapport GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014.

[G2] Guide GESIP « Canalisations de transport - Dispositions compensatoires », Rapport 2008/02, Edition janvier 2014.

[G3] Guide GESIP « Méthodologie pour la réalisation d'un plan de surveillance et d'intervention sur une canalisation de transport (PSI) » –Rapport 2007/01, Edition de juillet 2016.

[G4] Guide GESIP « Surveillance, maintenance et réparations des canalisations de transport - Tome I Méthodologie » - Rapport 2007/04 - Edition de janvier 2014.

[G5] Guide GESIP « Surveillance, maintenance et réparations des canalisations de transport - Tome II Modes opératoires » - Rapport 2007/05- Edition de janvier 2014.

[G6] Guide GESIP « Normes canalisations » - Rapport n° 2007/09, Edition de juillet 2016.

[G7] Guide AFPS « Guide méthodologique pour évaluer la tenue aux séismes des canalisations de transport enterrées en acier » Edition CT n°15-2013

-ooOoo-



## ANNEXE N° 2 : FICHE DE DONNEES DE SECURITE

---

## 1. Identification du produit et de la société / entreprise

### Identification du produit

Nom du produit	Gaz naturel
N°CAS	8006 – 14 – 2
N°EINECS	232-343-9
Dénomination chimique	« gaz naturel brut, tel qu'on le trouve dans ses gisements, ou combinaison gazeuse d'hydrocarbures dont le nombre de carbones se situe principalement dans la gamme C1-C4 séparée du gaz naturel brut par élimination des condensats de gaz naturel, des liquides de gaz naturel et des associations condensat/gaz naturel ».
Utilisation du produit	agent énergétique, matière première, carburant

### Fournisseur

Identification société / entreprise :

Adresse de la société / entreprise :

Adresse mail du responsable de la FDS dans la société / entreprise :

N° de téléphone de la société / entreprise :

N° d'appel d'urgence :

## 2. Identification des dangers

### Classification

Selon le règlement CE 1272/2008 (CLP/GHS) et mises à jour

Classe de danger	Gaz inflammable catégorie de danger 1 (Flam. Gas 1) Gaz sous pression (Press.Gas)
------------------	--

Selon directives 1999/45/CE ou 67/548/CEE et leurs mises à jour

Symbole(s) CE	F+: Extrêmement inflammable R12
---------------	------------------------------------

### Éléments d'étiquetage

Selon le règlement CE 1272/2008 (CLP/GHS) et mises à jour

Pictogramme



SGH02 SGH04

Mention d'avertissement DANGER

Mention de danger H220 gaz extrêmement inflammable

Phrase(s) H H280 : contient un gaz sous pression : peut exploser sous l'effet de la chaleur

Conseils de prudence Phrases P

P210 : tenir à l'écart de la chaleur / des étincelles / des flammes nues / des surfaces chaudes – ne pas fumer

P377 : fuite de gaz enflammé : ne pas éteindre si la fuite ne peut pas être arrêtée sans danger

P381 : éliminer toutes les sources d'ignition si cela est faisable sans danger



P410/P403 : protéger du rayonnement solaire. Stocker dans un endroit bien ventilé.

Selon directives 1999/45/CE ou 67/548/CEE et leurs mises à jour

Phrase de risques R12 : Extrêmement inflammable.

### Les principaux dangers du gaz naturel sont les suivants

#### Effets sur la santé humaine

Inhalation Le gaz naturel est un gaz non toxique. Il peut causer l'asphyxie à concentration élevée (le gaz naturel est toutefois odorisé sur les réseaux de distribution pour que les personnes détectent sa présence pour des taux inférieurs à 1% de gaz dans l'air).

Contact avec la peau Aucun effet sous forme gazeuse

Contact avec les yeux Aucun effet sous forme gazeuse

Ingestion L'ingestion n'est pas considérée comme un mode d'exposition possible

Effets sur l'environnement Le gaz naturel n'est pas dangereux pour les différents compartiments environnementaux (air, eau, sol)

Le gaz naturel est constitué en grande partie de méthane qui est un gaz à effet de serre, ses émissions contribuent au réchauffement climatique.

Potentiel de réchauffement global du méthane (PRG) : entre 21 (selon le protocole de Kyoto) et 25 (selon WG AR4 IPCC) (pour le méthane sur une durée de 100 ans)

#### Effets physico-chimiques

Inflammation Le gaz naturel est combustible ; il peut s'enflammer dans certaines conditions en présence d'air et d'une source de chaleur. Sa limite inférieure d'inflammabilité est de 5 % de gaz dans l'air et sa limite supérieure d'inflammabilité est de 15 %.

Explosion du mélange air-gaz En milieu libre (non confiné) : le gaz naturel ne détone pas et son inflammation conduit à de faibles surpressions.

En milieu confiné : il peut y avoir explosion (déflagration) en cas d'inflammation d'un volume de gaz suffisant.

Gaz comprimé Le gaz naturel est transporté en phase gazeuse par canalisations sous une pression pouvant aller jusqu'à 250 bars. La libération du gaz comprimé à forte pression peut s'accompagner de projections d'objets (éclats métalliques, terre, pierres).

Bruit Le niveau sonore émis durant la mise à l'évent dépend de la pression et peut entraîner des lésions sur le système auditif humain.

Anoxie En milieu confiné, de par sa composition, le gaz naturel peut agir à forte concentration, par inhalation, comme gaz asphyxiant par privation d'oxygène.

Froid La détente provoque un refroidissement du gaz de l'ordre de 0,5 °C par bar de détente. La température résultante peut atteindre les -20 °C.

Remarque : Ne sont autorisés à effectuer des travaux sur les installations et les canalisations de gaz naturel (stockage, transport et distribution) que les professionnels qui ont connaissance des dangers inhérents au gaz naturel et qui connaissent les mesures de sécurité requises.

### 3. Composition / information sur les composants

Nature chimique	gaz naturel, hydrocarbure gazeux en C1-C4 100 %
Numéro CAS	8006-14-2
Numéro EINECS ou ELINCS	232-343-9
Composition	Composé majoritairement de méthane (> 80% en vol)
Commentaire sur la composition	En France, le gaz naturel distribué a une odeur, conformément aux exigences réglementaires (arrêté distribution du 13 juillet 2000 portant « règlement de sécurité de la distribution de gaz combustible par canalisations » et décret n°2004-251 relatif aux obligations de service public dans le secteur du gaz du 19/03/04) et au cahier des charges AFG RSDG10.

### 4. Premiers secours

#### Inhalation/anoxie

Dans le cas d'une anoxie :

- déplacer la victime dans une zone aérée, en s'équipant d'un appareil respiratoire autonome,
- appeler ou faire appeler les services de secours (médecin/SAMU),
- laisser la victime au chaud et au repos,
- pratiquer la respiration artificielle si la victime ne respire plus (n'utiliser l'oxygène médical qu'en dehors de la zone dangereuse).

#### Contact avec la peau

En cas de brûlure :

- refroidir les brûlures avec de l'eau ;
- recouvrir la zone brûlée d'un linge propre ;
- envelopper la victime dans une couverture de survie ;
- appeler ou faire appeler les services de secours (médecin/SAMU).

NB : ne pas enlever les vêtements de la victime.

### 5. Mesures de lutte contre l'incendie (cas d'une fuite de gaz enflammée)

#### Conduite à tenir

Evacuer la zone et établir une zone de sécurité

Arrêter l'alimentation en gaz ;

Appeler ou faire appeler les secours ;

Refroidir les abords avec de l'eau ;

Ne pas tenter d'éteindre une fuite de gaz enflammée, sauf si cela est absolument nécessaire. Le panache peut s'enflammer de nouveau à cause de sources d'inflammation à proximité

Eteindre les autres feux.

#### Produits de combustion dangereux

Possibilité de production de monoxyde de carbone (CO) en cas de combustion incomplète.

#### Agents d'extinction

Appropriés :

suitant ordre préférentiel : poudre A/B/C, CO2, eau pulvérisée.

Inappropriés :

mousse, jet d'eau

#### Equipements de protection spéciaux pour les pompiers

Dans les espaces confinés, utiliser un appareil respiratoire autonome ;

Ecrans thermiques en cas d'inflammation.

## 6. Mesures à prendre en cas de dispersion accidentelle (cas d'une fuite de gaz non enflammée)

Conduite à tenir :	<p>Evacuer la zone et établir une zone de sécurité</p> <p>Contrôler l'atmosphère (mesurer la concentration de gaz afin de vérifier la non-dangerosité de l'atmosphère, en particulier dans tous lieux pouvant contenir une atmosphère confinée, tels que caves, chambres à vannes, galeries techniques, etc.), avec des appareils appropriés,</p> <p>Porter un appareil respiratoire autonome pour entrer dans la zone si nécessaire, des équipements électriques anti-déflagrants, des vêtements antistatiques, des outillages à étincelage réduit.</p> <p>Arrêter l'alimentation en gaz, en dehors de la zone si possible,</p> <p>Interdire toute opération susceptible de créer un point chaud (étincelle, source de chaleur),</p> <p>Favoriser la ventilation du lieu (si nécessaire), si possible après arrêt de l'alimentation,</p> <p>Appeler ou faire appeler les services de secours.</p>
Quelques bons réflexes :	<p>Ne provoquer ni flamme, ni étincelle et ne pas utiliser d'appareils électriques ( ne pas utiliser l'ascenseur, le téléphone, d'interrupteur électrique ou de sonnette, ne pas allumer ni éteindre une lampe de poche )</p> <p>Ventiler le plus possible l'endroit où l'odeur est sentie, en ouvrant portes et fenêtres,</p> <p>Si l'odeur vient de l'extérieur, dans la cage d'escalier, dans la cave ou même dans la rue, appeler ou faire appeler les services de secours à l'aide d'un téléphone situé à l'extérieur de la zone concernée.</p>

## 7. Manipulation et stockage

Manipulation	<p>Le gaz naturel est transporté dans des systèmes confinés (conduites, récipients). Seul le personnel professionnel peut procéder à des dégagements de gaz volontaires.</p> <p>Ne pas respirer les vapeurs / aérosols.</p> <p>Assurer une aération et/ou une aspiration (à la source, par le plafond et par le sol) suffisante(s) pendant la manipulation.</p> <p>Éviter l'accumulation de charges électrostatiques (par une mise à la terre par exemple).</p> <p>Utiliser un outillage anti-étincelles.</p> <p>Pas de flamme nue, pas d'étincelles et ne pas fumer.</p> <p>Ne jamais forcer pour ouvrir une vanne bloquée.</p> <p>Vérifier que les raccordements ne présentent aucune fuite avant de les utiliser.</p> <p>Dégazer toutes les installations et conduites avant d'y introduire le gaz.</p> <p>Éviter tout reflux dans le récipient.</p> <p>Utiliser uniquement l'équipement spécifié approprié à ce produit et à ses pression et température.</p>
Stockage	<p>Ne pas stocker des récipients contenant du gaz naturel avec des substances comburantes ou des matériaux/liquides inflammables.</p> <p>Conditionnement bien fermé dans un endroit frais et bien ventilé.</p> <p>Température de stockage recommandée: &lt; 30 °C.</p>

Éviter les températures dépassant 45 °C.  
 Ne pas exposer les récipients sous pression à la lumière directe du soleil.  
 Conserver à l'écart des gaz oxydants et autres agents oxydants.  
 Stocker ce produit conformément aux prescriptions légales applicables.  
 Récipients compatibles: Bouteilles d'échantillonnage matériaux conformes NACE MR 0175 (Inox 316 L, enduit téflon,..).

## 8. Procédure de contrôle de l'exposition des travailleurs et caractéristiques des équipements de protection individuelle

Moyens techniques	Le gaz naturel est transporté et distribué par canalisations et livré à l'utilisateur par l'intermédiaire du poste ou d'un coffret de livraison. Le gaz naturel circule donc dans un environnement étanche. Lors d'un dégagement possible de gaz, surveiller la concentration de gaz dans la zone de travail (zone de danger).. Pour contrôler la teneur en gaz naturel, il est conseillé d'employer un explosimètre conforme aux normes de sécurité prévues pour cet usage et réglé sur les caractéristiques du méthane (CH4).
Valeurs limites d'exposition	Hydrocarbures aliphatiques gazeux alcane (C1-C4) US (ACGIH-2009) TWA : 1.000 ppm
Équipements de protection individuelle	Les mesures de protection techniques, organisationnelles et collectives sont prioritaires par rapport au recours à un équipement de protection personnel. Si malgré des mesures techniques et organisationnelles, il subsiste un danger, utiliser l'équipement de protection individuel adéquat. En principe, lorsque des masques filtrants ne conviennent pas comme mesure de protection (par exemple teneur en oxygène dans l'air respirable inférieure à 19 % vol. ou lorsque les conditions de l'environnement ne sont pas connues), une protection respiratoire autonome est requise.

## 9. Propriétés physiques et chimiques

### Informations générales

Etat physique à 20°	gaz
Couleur	incolore
Odeur	le produit, inodore à l'état naturel, est odorisé à l'aide d'un additif (cf paragraphe 3)
Poids moléculaire moyen	16,5 à 18,5 g/mole

### Informations importantes relatives à la santé, la sécurité et à l'environnement

Changement d'état	
Point de fusion	- 183°C à 1013 hPa (valeur du méthane)
Point d'ébullition	-161°C à 1013 hPa (valeur du méthane)
Point de rosée eau	<-5°C à la pression d'exploitation (valeur du méthane)
Température d'auto-inflammation	600°C à pression atmosphérique (valeur du méthane selon norme CEI 60079-20)
Point éclair	-188°C (valeur du méthane)
Domaine d'inflammabilité	proportion de gaz naturel de 5 (LII) à 15 % (LIS) dans l'air
Densité relative, gaz (air = 1)	0,54 à 0,66 à 0°C(gaz plus léger que l'air)
Masse volumique	0,7 à 0,85 kg/m <sup>3</sup> (n)

Produit :	<b>Gaz naturel</b>	Page: 6/10
N° FDS :	Version 2.2	Création: 09/09/2011

Pouvoir calorifique supérieur	Gaz B : entre 9,5 et 10,5 kWh/m <sup>3</sup> (n) Gaz H : entre 10,7 et 12,8 kWh/m <sup>3</sup> (n)
Tension de vapeur	147 kPa (méthane)
Solubilité dans l'eau à 20°C	Solubilité faible à nulle (0,03 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> à 0,08 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ).

## 10. Stabilité et réactivité du produit

Réactivité	Le gaz naturel est stable dans les conditions ambiantes.
Conditions à éviter	Eviter la proximité avec la chaleur, les flammes et toute autre source d'inflammation. Eviter le contact avec des matériaux oxydants et avec les substances halogènes (chlore, iode, fluor)
Produits de décomposition	La combustion complète du gaz naturel produit principalement du dioxyde de carbone et de l'eau. Sa combustion incomplète produit du monoxyde de carbone et des imbrûlés (carbone, hydrogène, ...).

## 11. Informations toxicologiques

Toxicité aiguë	
Inhalation	
En extérieur	Le gaz naturel n'a pas d'effets toxicologiques par inhalation connus à ce jour et les expositions éventuelles sont rares compte tenu de la très forte volatilité du gaz dans l'air.
En milieu clos	L'inhalation de ce gaz peut entraîner l'asphyxie par la diminution de la teneur en oxygène de l'air dans des pièces fermées (atmosphère confinée). Symptômes possibles lors d'une exposition trop importante, réversibles en réduisant l'exposition : difficulté respiratoire, somnolence, maux de tête, confusion, perte de la coordination, troubles visuels ou vomissements.
Ingestion	le gaz naturel étant à l'état gazeux dans les conditions atmosphériques normales, l'ingestion est peu probable.
Contact avec la peau	le gaz naturel n'est pas connu pour être irritant pour la peau. L'absorption cutanée est peu probable.
Contact avec les yeux	le gaz naturel n'est pas connu pour être irritant pour les yeux

## 12. Informations écologiques

Ecotoxicité	Le gaz naturel n'est pas toxique pour les poissons, les organismes aquatiques vertébrés, les plantes aquatiques, les organismes pédologiques, les plantes terrestres et autres organismes terrestres non mammifères, y compris les oiseaux
Bioaccumulation	Aucune accumulation biologique n'est connue pour le méthane, l'éthane, le propane et le butane.
Persistance / dégradabilité	Absence d'hydrolyse. Les hydrocarbures méthane, éthane, propane, butane sont en premier lieu dégradés par la photolyse indirecte dont les produits de dégradation sont le dioxyde de carbone et l'eau

## 13. Considérations relatives à l'élimination

Elimination des déchets	Le gaz naturel ne doit pas être rejeté dans un endroit où son accumulation pourrait être dangereuse soit par risque d'explosion ou d'inflammation, soit par abaissement de la teneur en oxygène de l'air respiré. Le dégagement de gaz naturel dans des locaux fermés n'est pas
-------------------------	--

admissible.

Une méthode utilisée pour éliminer un excédent de gaz naturel ou purger une canalisation consiste à isoler le tronçon de canalisation et à le purger à l'atmosphère par un évent. On peut également installer une torche en sortie d'évent pour brûler le gaz naturel avant de rejeter dans l'atmosphère les produits de combustion.

L'évacuation contrôlée de gaz à l'atmosphère est une opération bruyante (détente de gaz, fort débit) qui nécessite le port d'un dispositif antibruit adapté, et productrice de froid. Ces opérations restent du ressort des personnes autorisées, selon des procédures particulières de sécurité.

Eviter autant que possible le dégagement de gaz naturel en raison de ses conséquences sur le climat.

## 14. Informations relatives au transport

Mode de transport Le gaz naturel est transporté dans des conduites, dans des bonbonnes en acier ou d'autres récipients.

Désignation officielle de transport gaz naturel, comprimé avec haute teneur en méthane

### **Transport terrestre (ADR/RID)**

N° ONU 1971

Classe ADR 2

Code de classification 1F

N° d'identification du danger 23

ADR étiquette



2.1

Instructions d'emballage P200

Danger pour l'environnement non

### **Transport fluvial**

N° ONU 1971

Classe 2

Code de classification 2, 3°F

Groupe d'emballage -

Étiquette(s) 2.1

Danger pour l'environnement : non

### **Transport maritime (IMO/IMDG)**

N° ONU 1971

Classe ou division 2.1

Risque(s) subsidiaire(s) -

Groupe d'emballage -

Étiquette(s) IMDG 2.1

### **Transport aérien (OACI / IATA)**

N°ONU (ou ID)	1971
Classe ou division	2.1
Interdit en avions passagers :	
Danger pour l'environnement	non

### **Autres informations relatives au transport**

S'assurer que les bouteilles sont bien arrimées.  
Éviter de transporter dans des véhicules où le compartiment réservé au chargement n'est pas séparé de la cabine de conduite.  
S'assurer que le conducteur du véhicule connaît les dangers potentiels du chargement ainsi que les mesures à prendre en cas d'accident ou d'urgence. S'assurer que le robinet de la bouteille est bien fermé et ne présente aucune fuite.  
S'assurer que le dispositif de protection du robinet est correctement mis en place.  
Assurer une ventilation suffisante.  
Manipuler conformément à la réglementation en vigueur.

## **15. Informations réglementaires**

---

Prescriptions européennes

Règlement (CE) n°1272/2008 (EU-SGH) du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges  
Directives 67/548/CEE et 1999/45/CE sur la classification l'étiquetage et l'emballage des substances dangereuses, abrogé par le Règlement (CE) n°1272/2008 (règlement CLP)  
Règlement REACH CE 1907/2006 et ses modifications : le fournisseur bénéficie du régime d'exemption exposé à l'annexe V (exemptions de l'obligation d'enregistrement conformément à l'art.2, §7 point B).  
Un rapport sur la sécurité chimique n'est pas requis  
Directive ATEX 94/9/CE  
Directive 97/23/CE du 29 mai 1997 concernant les équipements sous pression

### Prescriptions nationales (France)

Sur la qualité du gaz naturel transporté ou distribué :	Arrêté du 28 janvier 1981 sur la teneur en soufre et autres composés sulfurés du gaz naturel transporté par canalisation de canalisation de distribution publique ; Arrêté du 16 septembre 1977 relatif au pouvoir calorifique du gaz naturel distribué par réseau de distribution.
Sur la sécurité	Arrêté du 4 août 2006 portant règlement sur la sécurité des canalisations de transport de gaz combustibles, d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés et de produits chimiques ; Arrêté du 13 juillet 2000 portant règlement de sécurité de la distribution de gaz combustible par canalisations. Décret n°99-1046 du 13 décembre 1999 relatif aux équipements sous pression Arrêté du 2 août 1977 (modifié) : règles techniques et de sécurité applicables aux installations de gaz combustibles et d'hydrocarbures liquéfiés situés à l'intérieur des locaux d'habitation ou de leurs dépendances

Produit :	<b>Gaz naturel</b>	Page: 9/10
N° FDS :	Version 2.2	Création: 09/09/2011

Arrêté du 9 novembre 2004 (définissant les critères de classification et les conditions d'étiquetage des préparations dangereuses et transposant la directive de 2001 - version modifiée en 2009), qui comporte en annexe un guide d'élaboration des FDS

Décret du 19 mars 2004 relatif aux obligations de service public dans le secteur du gaz (2004-251 du 19/03/04)

#### Réglementation ICPE

La fabrication industrielle de gaz inflammables (rubrique 1410 de la nomenclature ICPE) par distillation, pyrogénération, etc., désulfuration de gaz inflammables à l'exclusion de la production de méthane par traitement des effluents urbains ou des déchets et des gaz visés explicitement par d'autres rubriques est soumis à autorisation si la quantité totale susceptible d'être présente dans l'installation est inférieure à 50 t, et à autorisation avec servitude au delà de 50 t.

Les Gazomètres et réservoirs de gaz comprimés renfermant des gaz inflammables (rubrique 1411 de la nomenclature ICPE) sont soumis à déclaration si la quantité totale susceptible d'être présente dans l'installation est (pour le gaz naturel) supérieure ou égale à 1 t, mais inférieure à 10 t, à autorisation si cette quantité est supérieure ou égale à 10 t, mais inférieure à 200 t, et à autorisation avec servitude au delà

Le gaz naturel ou biogaz (rubrique 1413 de la nomenclature ICPE), sous pression (installations de remplissage de réservoirs alimentant des moteurs, ou autres appareils, de véhicules ou engins de transport fonctionnant au gaz naturel ou biogaz et comportant des organes de sécurité), est soumis à déclaration si le débit total en sortie du système de compression est supérieur ou égal à 80 m<sup>3</sup>/h, mais inférieur à 2000 m<sup>3</sup>/h, ou si la masse de gaz contenu dans l'installation est supérieure à 1 t, et à autorisation si le débit total en sortie du système de compression est supérieur ou égal à 2000 m<sup>3</sup>/h ou si la masse totale de gaz contenu dans l'installation est supérieure à 10 t.

#### Autres Pays

Selon la réglementation locale

## 16. Autres informations

#### Date de révision

Juillet 2011

#### Pratique

S'assurer que toutes les réglementations nationales ou locales sont respectées.

Avant d'utiliser ce produit pour une expérience ou un procédé nouveau, examiner attentivement la compatibilité et la sécurité du matériel mis en œuvre.

L'utilisateur du produit doit également porter à la connaissance des personnes qui peuvent entrer en contact avec le produit toutes les informations nécessaires à la sécurité du travail, à la protection de la santé et de l'environnement, en leur transmettant cette fiche de données de sécurité.

#### Autres

Fiches de données de Sécurité conforme au règlement (CE) n°1907/2006 du Parlement Européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH).

La présente Fiche de Données de Sécurité a été établie conformément aux Directives Européennes en vigueur et est applicable à tous les pays qui ont traduit les Directives dans leur droit national.

Les informations données dans ce document sont considérées comme exactes au moment de son impression. Malgré le soin apporté à sa rédaction, aucune responsabilité ne saurait être acceptée en cas de



dommage ou d'accident résultant de son utilisation.

La présente FDS est donnée à titre purement informatif et peut être modifiée sans préavis.

Cette fiche ne doit être utilisée et reproduite qu'à des fins de prévention et de sécurité.

L'énumération des textes législatifs, réglementaires et administratifs ne peut être considérée comme exhaustive. Il appartient au destinataire du produit de se reporter à l'ensemble des textes officiels concernant l'utilisation, la détention et la manipulation du produit pour lesquelles il est seul responsable.



## ANNEXE N° 3 : CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBES

### ☒ OUVRAGES NEUFS

#### ☐ Calcul de l'épaisseur minimale réglementaire des tubes

##### ✓ *Tracé courant*

La détermination de l'épaisseur minimale réglementaire est basée sur le calcul suivant :

1) La contrainte circonférentielle de pression  $\tau$  s'exprime par :  $\tau = \frac{P \times D}{2e}$

2) L'épaisseur minimale doit être telle que  $C_{\text{sécurité}} \times Rt_{0,5} > \tau$

d'où

$$e_{\text{min.}} = \frac{P \times D}{2 \times C_{\text{sécurité}} \times Rt_{0,5}}$$

avec :

D : diamètre extérieur en mm,

P : Pression Maximale en Service (MPa),

$C_{\text{sécurité}}$  : coefficient de sécurité maximal autorisé respectivement 0,73 ; 0,6 ; 0,4 pour les catégories A, B, C défini à l'article 6 de l'AMF,

Pour la catégorie A, la valeur retenue est de 0,72 conformément à la norme NF EN 1594.

$Rt_{0,5}$  : limite d'élasticité minimale spécifiée à 0,5 % d'allongement total exprimée en MPa (106 Pascal) à la température maximale de service

Les tubes sont commandés en prenant encore une marge supplémentaire permettant de couvrir les tolérances de fabrication.

Pression d'épreuve en usine (bar) :  $P = \frac{2 \times C_{\text{sécurité}} \times Rt_{0,5} \times es}{D}$

avec :

D : diamètre extérieur en mm,

$C_{\text{sécurité}}$  : coefficient de 0,95

$Rt_{0,5}$  : limite d'élasticité minimale spécifiée à 0,5 % d'allongement total exprimée en MPa (10<sup>6</sup> Pascal) à la température maximale de service

es : épaisseur spécifiée, choix d'une épaisseur de tube normalisée qui intègre la prise en compte de la tolérance de fabrication. Pour le calcul de la pression d'épreuve en usine, la valeur « es » représente l'épaisseur spécifiée moins la tolérance.

### ✓ Installations annexes

Les tubes installés sur une installation annexe du réseau de transport répondent aux caractéristiques des normes actuelles NF EN 1594 et EN 12186<sup>41</sup> pour tout ce qui n'est pas contraire à la norme NF EN ISO 3183<sup>42</sup>.

L'épaisseur minimale de paroi du tube droit est la valeur maximale entre celle obtenue par le calcul ci-dessous et la valeur donnée dans la table 1 de la norme NF EN 1594.

L'épaisseur minimale  $T_{\min}$  est calculée selon la formule suivante :

$$T_{\min} = \frac{DP \times D}{2 \times f_0 \times Rt_{0,5}(\theta)}$$

avec :

- DP : pression de conception (MPa) ;
- D : diamètre extérieur du tube en mm,
- $f_0$  : coefficient de conception, la valeur maximale admise pour les postes est 0,67. GRTgaz retient une valeur de 0,6 pour la définition de la classe de tuyauteries 100 CP1 applicable aux installations annexes.

Nota (Guide GESIP Normes) : Noté  $f_0$  dans la NF EN 1594. Lors de la phase de conception de la canalisation, le coefficient de sécurité de l'AMF est identique au coefficient de conception.

$Rt_{0,5}(\theta)$  : limite d'élasticité minimale spécifiée à la température de conception à 0,5 % d'allongement total (N/mm<sup>2</sup>).

Les caractéristiques de l'ouvrage sont celles issues du référentiel des classes de tuyauterie utilisé par GRTgaz pour les installations annexes du réseau de transport.

### □ Calcul de la pression maximale de construction d'une canalisation de transport de gaz combustible

Si X représente un élément de canalisation de transport de gaz (tube ou accessoire, soumis au décret n° 99-1046 du 13 décembre 1999 ou non), la pression admissible de conception de l'élément X – notée P(X), anciennement PMS-Ci (X), pression maximale en service par construction, individuelle – a pour valeur :

$$P(X) = \text{MIN} \{ Pc(X) \text{ ou } PN(X) \text{ ou } PS(X) \text{ (note 1) (note 2) ; } \alpha \cdot Pu(X) \text{ ou } \alpha \cdot Pleg(X) \text{ (note 3) (note 4) } \}$$

<sup>41</sup> EN 12186 « Système d'alimentation en gaz – Postes de détente régulation de pression de gaz pour le transport et la distribution – Prescriptions fonctionnelles. »

<sup>42</sup> NF EN ISO 3183 (Mars 2013) Industries du pétrole et du gaz naturel - Tubes en acier pour les systèmes de transport par conduites

avec

Pc = Pression de Calcul

PN = Pression nominale (ou « normalisée »)

PS = Pression Maximale Admissible pour les accessoires sous DESP

Pu = Pression d'essai individuel en usine

Pleg = Pression limite d'essai garantie par le producteur ou la norme spécifiée

$\alpha = 0,83$  (5/6) si l'élément est destiné à être installé dans une zone correspondant à un coefficient de sécurité minimal A

$\alpha = 0,67$  (4/6) si l'élément est destiné à être installé dans une zone correspondant à un coefficient de sécurité minimal B ou C

(Note 1) Le transporteur peut retenir de ces 3 valeurs, si elles existent, la plus élevée.

(Note 2) Il est possible qu'aucune de ces 3 valeurs ne soit définie.

(Note 3) Sauf pour les tubes, dans le cas desquels Pu existe obligatoirement (sous les réserves prévues au guide GESIP 2007/09 « normes canalisations ») et doit être retenue, le transporteur peut choisir la plus élevée de ces valeurs, si elles existent toutes deux.

(Note 4) Le cas où Pu(X) et Pleg (X) ne sont pas connues l'une et l'autre (cas des éléments d'installations annexes fabriqués antérieurement à l'entrée en vigueur de la DESP) est celui où l'accessoire considéré est calculable. Pc(X) existe alors et une Pleg par défaut peut également être calculée par le transporteur. La note de calcul de cette valeur est à joindre au certificat de l'accessoire.

Pour un tronçon neuf, une section neuve ou une installation annexe neuve composé de plusieurs éléments de canalisation notés « Xi » et subissant les épreuves réglementaires, est définie une pression maximale de construction PMC (anciennement PMS –C) :

$$PMC \leq \frac{10}{12} \times Pr \text{ pour un coefficient de sécurité minimal A, B ou C}$$

avec :

Pr = Pression de l'épreuve de résistance, mesurée ou calculée au point haut du tronçon neuf ou de la section neuve ou de l'installation annexe.

Le coefficient 12 correspond au seuil minimum de 120% désormais requis pour l'épreuve de résistance mécanique.

De plus :

$$PMC \leq \text{MIN}_i \{P(X_i)\} \text{ avec } P(X) \text{ défini ci-dessus.}$$

-ooOoo-



## ANNEXE N° 4 : PRÉSENTATION DES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES, DES MODÈLES UTILISÉS ET DE LEUR VALIDATION

---

# TABLE DES MATIERES

CONTEXTE ET OBJECTIFS DU RAPPORT .....	5
1. PRESENTATION GENERALE DE PERSEE.....	6
1.1. Que se passe-t-il en cas de rejet accidentel de gaz ?.....	6
1.2. Calcul de l'intensité des phénomènes dangereux : modèles utilisés et hypothèses retenues dans PERSEE .....	6
1.2.1. Calcul du débit de gaz naturel émis à l'atmosphère .....	7
1.2.2. Étude de la dispersion du jet de gaz naturel .....	8
1.2.3. Étude de la surpression en cas d'inflammation .....	8
1.2.4. Étude du rayonnement thermique .....	8
1.3. Architecture logicielle .....	9
2. DEBIT A LA BRECHE .....	10
2.1. Le phénomène physique.....	10
2.2. Modélisation dans PERSEE : le modèle CALDEIRA.....	10
2.3. Validation expérimentale .....	11
2.4. Références .....	12
3. DISPERSION DU GAZ NATUREL .....	13
3.1. Le phénomène de dispersion.....	13
3.1.1. Rejets en milieux libres.....	13
3.1.2. Particularités des rejets horizontaux .....	13
3.1.3. Rejets en milieux encombrés .....	14
3.2. Dispersion d'un rejet pressurisé de gaz naturel sans interaction avec le sol .....	14
3.2.1. Modélisation dans PERSEE: le modèle OOMS Dispersion .....	14
3.2.2. Validation expérimentale .....	15
3.2.3. Références .....	15
3.3. Dispersion d'un rejet horizontal de gaz naturel en interaction avec le sol .....	16
3.3.1. Modélisation dans PERSEE : le modèle DISP_H .....	16
3.3.2. Validation expérimentale .....	16
3.3.3. Références .....	17
4. SURPRESSION A L'INFLAMMATION.....	18
4.1. Le phénomène d'explosion.....	18
4.2. Modélisation : le modèle de déflagration à vitesse variable .....	19
4.3. Validation expérimentale .....	19
4.4. Références .....	20
5. RAYONNEMENT THERMIQUE.....	21
5.1. Le phénomène physique.....	21
5.2. Rayonnement thermique d'un rejet enflammé sans interaction avec le sol .....	21
5.2.1. Modélisation dans PERSEE : le modèle RAYON.....	21
5.2.2. Validation expérimentale .....	23



5.2.3. Références .....	23
5.3. Rayonnement thermique d'un rejet horizontal en interaction avec le sol .....	24
5.3.1. Modélisation : le modèle RAYO_H .....	24
5.3.2. Validation expérimentale .....	24
5.3.3. Références .....	25
6. ECHAUFFEMENT DE CANALISATION .....	26
6.1. Phénomène physique .....	26
6.2. Modélisation de l'échauffement de la canalisation .....	26
6.3. Validation expérimentale .....	27
6.4. Références .....	28
7. FEUX DE FORETS .....	29
7.1. Le phénomène physique.....	29
7.2. Modélisation : le modèle EFFAISTOS .....	29
7.3. Validation .....	30
7.4. Références .....	30
8. INFLAMMATION DE PANACHE INFLAMMABLE .....	31
8.1. Le phénomène physique.....	31
8.2. Modélisation : le module CIMEX .....	31
8.3. Validation .....	32
8.4. Références .....	32
9. SUPPRESSION A LA RUPTURE .....	33
9.1. Le phénomène physique.....	33
9.2. Modélisation : le modèle SURPRUPT .....	33
9.3. Validation .....	34
9.4. Références .....	34
10. CALCUL DE LA DOSE THERMIQUE .....	35
10.1. Présentation du module RISQUES .....	35
10.1.1. Calcul de la dose pour une fuite des personnes en trajectoire rectiligne ou non rectiligne ...	35
10.1.2. Calcul de l'échauffement d'un rail soumis à un rayonnement thermique.....	35
10.2. Références .....	36
11. UTILISATION DE PERSEE POUR DES SCENARIOS S'ECARTANT DES DONNEES EXPERIMENTALES .....	37

## CONTEXTE ET OBJECTIFS DU RAPPORT

---

Dans le cadre de la mise à jour du document intitulé « Etude de danger générique », utilisé par GRTgaz pour les études de dangers des canalisations de transport et la préparation de la mise à jour des études de dangers par Storengy, la MQSE de GRTgaz et Storengy ont sollicité le projet SECGAZ+ pour une mise à jour de la présentation du logiciel PERSEE présentée en annexe des études de dangers.

Plusieurs nouveaux modules qui n'étaient pas présentés sont ajoutés :

- DISP\_H modélisant de la dispersion d'un panache de gaz naturel en interaction avec le sol,
- RAYO\_H modélisant le rayonnement d'un feu de jet de gaz naturel en interaction avec le sol,
- EFFAISTOS permettant de modéliser la propagation et le rayonnement d'un feu de forêt,
- CIMEX permettant de calculer l'explosion d'un panache inflammable en milieu non confiné,
- RISQUES permettant de calculer la dose reçue par une personne en considérant un éloignement rectiligne ou non rectiligne,
- SURPRUPT permettant de calculer la surpression générée par la rupture d'une canalisation pressurisée,
- ECHAUF permettant de simuler l'échauffement d'une canalisation soumise à un flux thermique.

D'autre part, le nouveau document incorpore des éléments qui étaient auparavant présentés dans le corps du texte de l'étude de danger afin de constituer une annexe technique autoportante.

## 1. PRESENTATION GENERALE DE PERSEE

### 1.1. Que se passe-t-il en cas de rejet accidentel de gaz ?

En cas de rejet accidentel de gaz à l'atmosphère depuis un ouvrage de gaz naturel, plusieurs phénomènes peuvent avoir lieu :

- sous l'effet de la pression, un jet de gaz naturel va être émis à l'atmosphère et la perte de confinement du gaz peut être accompagnée de projection de terre ou de pierres dans le cas d'une canalisation enterrée,
- la mise à l'atmosphère d'une forte quantité de gaz s'accompagne d'un bruit intense perceptible à une grande distance,
- un panache de gaz naturel va se former dans l'atmosphère et peut s'enflammer s'il rencontre une source d'énergie d'intensité suffisante, en provoquant au moment de son inflammation une brève onde de surpression,
- enfin une inflammation peut s'établir et générer une flamme qui va émettre un rayonnement thermique intense.

Pour l'étude de l'ensemble de ces scénarios, les hypothèses de calcul retenues seront résolument majorantes afin que les résultats obtenus couvrent l'ensemble des cas susceptibles de se produire. Ces hypothèses sont décrites dans les paragraphes suivants.

### 1.2. Calcul de l'intensité des phénomènes dangereux : modèles utilisés et hypothèses retenues dans PERSEE

Afin de pouvoir évaluer les critères d'effets redoutés d'un éventuel accident, le Groupe GDF SUEZ a engagé depuis les années 80-90's une démarche de modélisation des phénomènes physiques possibles en cas d'accident afin de pouvoir évaluer le débit de gaz émis à l'atmosphère et, en cas d'inflammation du gaz, la surpression liée à l'inflammation et le rayonnement thermique dégagé par la combustion du gaz.

La plate-forme PERSEE (Plate-forme d'Étude et de Recherche pour la Sécurité des Equipements et de leur Environnement) a été créée en 1991 à la Direction de la Recherche de Gaz de France (désormais CRIGEN du groupe GDF SUEZ) et a régulièrement évolué depuis.

La quantification des phénomènes dangereux liés au gaz naturel est réalisée à partir de modèles permettant de simuler les phénomènes physiques liés au rejet de gaz naturel sous pression. Pour chacun des modèles développés, GDF SUEZ a réalisé avec d'autres sociétés gazières des essais de validation des modèles afin de vérifier que les résultats obtenus par le calcul étaient représentatifs des phénomènes observés en réalité. L'ensemble de ces modèles est regroupé dans l'outil PERSEE. Les trois principaux modules de la version de PERSEE 2004 ont été tierce expertisés par DNV (Det Norske Veritas, bureau de contrôle) en 2004 :

- CALDEIRA : Calcul de débit à la brèche en cas de fuite sur les canalisations de gaz naturel à haute pression ;
- OOMS :
  - Dispersion : Calcul de la dispersion d'un rejet dans l'atmosphère de gaz naturel sous pression ;
  - Surpression : calcul de la surpression associée lors de l'inflammation d'un rejet de gaz naturel sous pression dans l'atmosphère;
- RAYON : Calcul du rayonnement thermique produit par un jet enflammé de gaz naturel sous pression.

Ces modèles permettent d'estimer les distances d'effets liées aux scénarios de rejet de gaz sous pression. Le logigramme (Figure 1) présente l'enchaînement retenu pour les calculs.

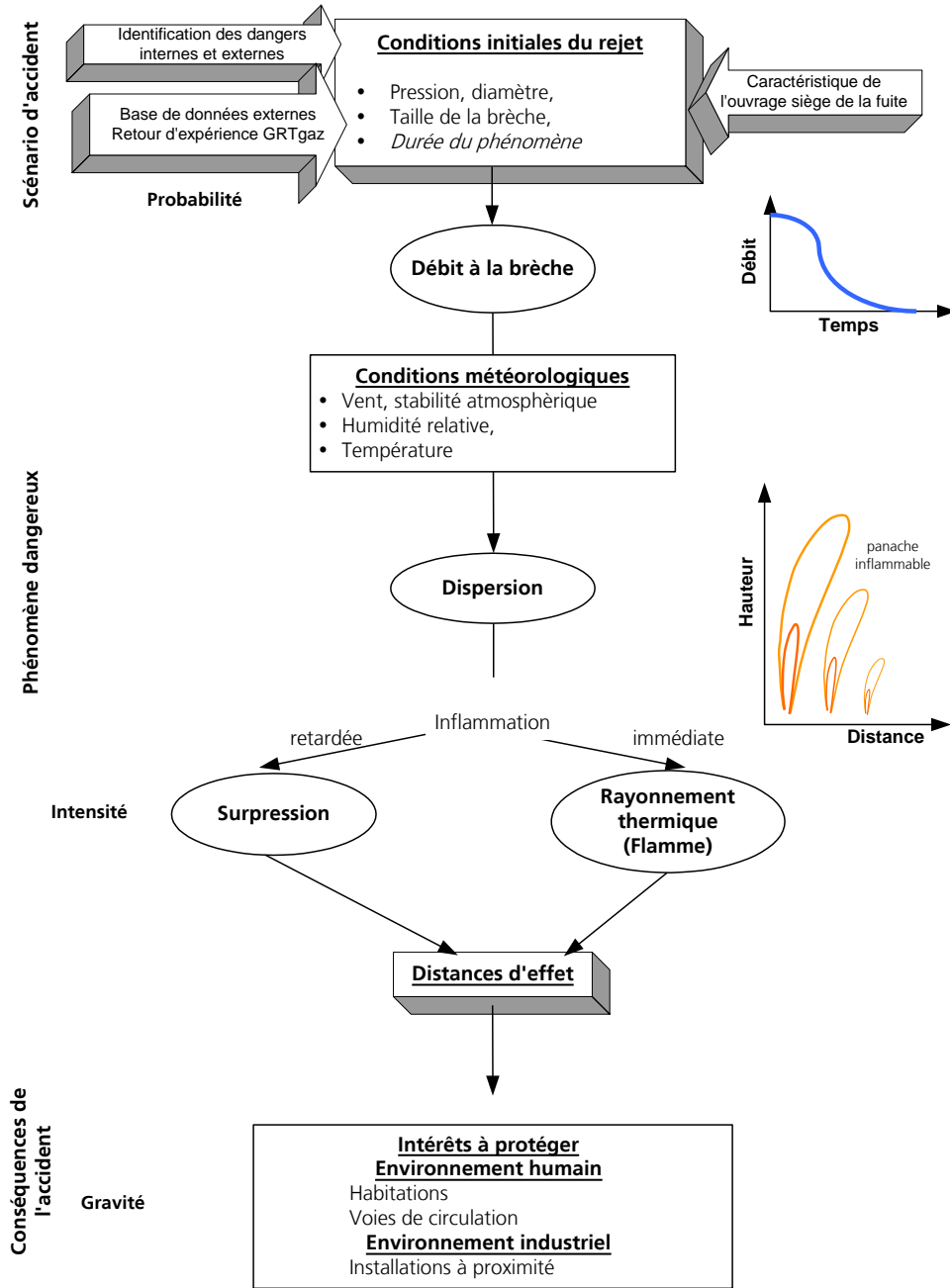


Figure 1 : Méthodologie retenue pour la quantification des effets des scénarios

### 1.2.1. Calcul du débit de gaz naturel émis à l'atmosphère

Les effets d'un phénomène dangereux sont estimés en fonction de l'évolution du débit de gaz à la brèche du scénario d'accident considéré :

- **L'évolution du débit au cours du temps est analysée :**
  - pour les scénarios de brèche (petite ou moyenne), le débit n'évolue pas ou très peu au cours du temps tant que la fuite n'est pas isolée;

- pour les scénarios de rupture de canalisation, le débit de gaz va décroître rapidement depuis une valeur initiale élevée pour se stabiliser après quelques minutes. L'évolution du débit dépend également des éventuelles coupures d'alimentation (isolement de fuite).

L'ensemble des lois et des hypothèses prises permet de calculer le débit de gaz s'échappant en cas de fuite en fonction notamment de la pression initiale, de la taille de la brèche, du diamètre, de la longueur de la canalisation concernée et des conditions d'alimentation.

La pression **initiale est supposée égale à la Pression Maximale de Service (P.M.S)** de l'ouvrage, ce qui est majorant puisque la pression réelle dans la canalisation est généralement inférieure à la P.M.S. De plus, la fuite est généralement supposée située à mi-distance des deux extrémités de la canalisation concernée par le scénario d'accident.

### 1.2.2. Étude de la dispersion du jet de gaz naturel

Le gaz naturel est inflammable lorsque sa concentration volumique dans l'air est comprise entre 5% et 15%. L'étude de la dispersion du jet de gaz naturel dans l'atmosphère a pour objectif de définir les contours de la partie inflammable du panache de gaz en fonction de différents paramètres qui peuvent l'influencer (vitesse du vent, inclinaison du jet), et pouvoir ainsi déterminer la zone d'inflammabilité du gaz naturel.

Les études expérimentales de la dispersion d'un jet de gaz naturel en milieu libre (décrites dans la suite du rapport) mettent en évidence les conclusions suivantes, considérées comme hypothèses de calcul :

- une très faible proportion des quantités rejetées est inflammable,
- un jet inflammable de gaz naturel ne dérive pas,
- le volume inflammable décroît en fonction du temps,
- une inflammation différée a des effets plus faibles qu'une inflammation dans les premiers instants.

### 1.2.3. Étude de la surpression en cas d'inflammation

En cas d'inflammation du panache de gaz naturel, une onde de surpression est générée au moment de cette inflammation. L'objectif de la modélisation proposée dans PERSEE est de déterminer les niveaux de surpression atteints afin d'évaluer les dégâts susceptibles d'être occasionnés sur le milieu environnant. La modélisation utilisée pour déterminer le niveau de surpression et sa validation sont présentées dans la suite.

Le calcul de surpression est réalisé en considérant une inflammation retardée (rejet établi) mais en considérant un débit représentatif du rejet dans les premiers instants qui suivent le début de la fuite. **L'effet maximal est ainsi évalué.**

### 1.2.4. Étude du rayonnement thermique

En cas d'inflammation du panache de gaz, les personnes et les biens sont soumis à la flamme et au rayonnement thermique émis. La grandeur requise pour caractériser le rayonnement thermique reçu à une distance donnée de la flamme est le flux thermique exprimé en kW/m<sup>2</sup>. Les dommages occasionnés sont directement liés au niveau de flux thermique.

La « dose thermique » permet de prendre en compte que, lors d'un accident, l'observateur n'est généralement pas soumis à un flux thermique constant entre les premiers instants et le moment où il se déplace. Cette dose correspond au cumul dans le temps de la valeur de chaque flux thermique reçu. Cette dose thermique s'exprime sous la forme d'une intégrale sur la durée :

$$\text{Exposition ou dose} = \int_{\text{temps}} I(t)^{4/3} \cdot dt \quad \begin{array}{l} \text{temps : durée de l'exposition au rayonnement thermique} \\ I(t) : \text{flux thermique reçu en kW/m}^2. \end{array}$$

Cette notion permet de mieux évaluer les effets sur les personnes, notamment lorsque le flux est variable. Des études statistiques conduites par Eisenberg sur des cas de brûlures accidentelles ont permis d'évaluer les

conséquences physiologiques de l'exposition au rayonnement thermique. Ces travaux ont été repris et complétés par Lees (et sont décrits plus en détail au paragraphe 10).

La notion d'exposition pour évaluer les effets du rayonnement thermique sur les personnes et le niveau d'exposition critique retenu, ainsi que les valeurs de référence, sont issus de l'annexe 6 du guide GESIP 2008/01 révision 2012.

### 1.3. Architecture logicielle

PERSEE est composé de deux parties :

- d'une part, des modules de calculs (en langage Fortran) correspondant à différents phénomènes physiques tels que le débit à la brèche, la dispersion de gaz naturel, le rayonnement thermique qui font intervenir environ deux cents variables traduisant la météo (vitesse du vent, stabilité atmosphérique, etc.), les caractéristiques de l'installation modélisée et son exploitation (diamètre et épaisseur de canalisation, pression de service, etc.), la description de l'incident simulé (position et taille de la brèche, etc.) et les caractéristiques du gaz naturel (masse molaire, PCI, etc.)
- d'autre part, une interface permettant à l'utilisateur de créer et d'exécuter des « scénarios », couplages d'une suite ordonnée de modules et de valeurs choisies pour les variables concernées. PERSEE restitue alors l'ensemble des résultats sous forme de graphiques et de tableaux: courbe d'évolution temporelle du débit à la brèche, contours du panache inflammable, etc.

## 2. DEBIT A LA BRECHE

### 2.1. Le phénomène physique

Dans le cas d'une rupture ou d'une perforation d'une canalisation pressurisée, le gaz naturel est rejeté dans l'atmosphère sous l'effet de la pression interne de cette canalisation. Les conséquences dépendent fortement de la quantité de gaz qui s'échappe. Il convient donc de prédire le plus précisément possible le débit de fuite au cours du temps.

La pression au niveau de l'orifice et le diamètre de brèche sont les paramètres principaux permettant d'estimer le débit émis dans l'atmosphère. Si la pression interne totale est inférieure à environ 2 bars, la vitesse à la brèche est inférieure à la vitesse du son dans le gaz. Au-delà d'environ 2 bars, la vitesse à la brèche est bloquée à la vitesse du son et le jet, dit alors "sous-détendu", continue sa détente dans l'atmosphère en traversant différentes ondes de chocs qui rendent le phénomène très bruyant.

Les quantités émises à l'atmosphère dépendent également beaucoup des conditions aux limites imposées (pression initiale, vanne amont fermée, etc...) dans la canalisation car elles contrôlent l'évolution temporelle de la pression au niveau du rejet. Le modèle proposé tient compte de ces paramètres.

### 2.2. Modélisation dans PERSEE : le modèle CALDEIRA

La modélisation dans CALDEIRA utilise les équations classiques décrivant les écoulements dans une conduite. L'écoulement est ainsi supposé mono dimensionnel, la section de la canalisation constante et uniforme. Cependant, d'autres hypothèses sont nécessaires afin d'obtenir un modèle robuste et performant, c'est à dire un modèle qui donne un résultat correct quelle que soit la configuration appliquée et qui nécessite un temps de calcul faible. Pour cela, les équations ont été simplifiées en supposant l'écoulement isotherme (calcul isotherme).

Trois variables inconnues sont prises en compte :

- le champ de pression  $P$ ;
- le champ de vitesse  $u$ ;
- le champ de masse volumique  $\rho$ .

Trois équations sont utilisées pour les déterminer :

- ❖ l'équation de conservation de la masse ;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} = 0$$

- ❖ l'équation de conservation de la quantité de mouvement ;

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial \rho u^2}{\partial x} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\lambda}{2D} \rho u |u| + \rho g \sin(\alpha) = 0$$

- ❖ l'équation d'état du gaz.

$$P = \rho r Z T$$

Dans les équations précédentes  $D$  correspond au diamètre de la conduite,  $r$  à la constante spécifique des gaz parfait,  $Z$  au facteur de compressibilité du gaz naturel,  $g$  à l'accélération de pesanteur,  $\alpha$  à l'angle entre la canalisation et l'horizontal et  $\lambda$  au coefficient de frottement dans la conduite.

Ces équations intrinsèques à une canalisation ne sont pas suffisantes pour modéliser complètement une rupture ou une perforation sur une canalisation. Il faut aussi définir les équations associées aux conditions aux limites en amont et en aval du rejet, et au niveau de la brèche. Le modèle CALDEIRA permet de définir actuellement les trois types suivants de conditions aux limites en amont et en aval.

Conditions	Extrémité amont	Extrémité aval
A	Pression constante	Débit de livraison ou consommation constant (souvent considéré comme nul)
B1	Débit d'entrée nul à partir d'un certain instant (vanne amont fermée)	Débit de livraison nul à partir d'un certain moment (vanne aval fermée)
B2	Débit d'entrée nul à partir d'un certain instant et purge d'un volume réservoir	Débit de livraison nul à partir d'un certain moment (vanne aval fermée)

Tableau 1 : Conditions aux limites dans Caldeira

Le problème et ses conditions aux limites sont ainsi bien définis.

La résolution des équations nécessite une discrétisation en temps et en espace. La discrétisation temporelle utilise pour des raisons de robustesse un schéma purement implicite. La discrétisation spatiale est d'ordre 2, centrée à mailles décalées. Cette discrétisation a l'avantage d'être intrinsèquement conservative, il n'y a pas création artificielle de gaz par cette discrétisation.

A la fin du calcul, le modèle CALDEIRA restitue à l'utilisateur l'évolution du débit de fuite au cours du temps. A partir de là, le modèle peut estimer des valeurs représentatives de cette évolution (pic initial, décroissance rapide et régime stabilisé).

**Le module CALDEIRA a été développé spécifiquement pour le gaz naturel. Il permet de traiter des configurations simples (au maximum deux canalisations de diamètres différents en série) mais avec des conditions aux limites variables. Pour traiter des cas plus complexes, il est possible de se ramener à une canalisations équivalente par des méthodes appropriées.**

## 2.3. Validation expérimentale

Ce modèle a été validé par comparaison avec plusieurs essais réels de rupture complète de canalisations en gaz et en air, décrits dans le Tableau 2 suivant :

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5
Gaz	Air	Air	Air	Gaz naturel	Gaz naturel
Diamètre (mm)	157	305	157	> 900	> 900
Longueur (km)	1,99	3,44	1,99	> 100	>100
Pression (bar abs.)	68,9	68,1	35	< 70 Haute pression	< 70 (Haute pression)

Tableau 2 : Essais de validation de CALDEIRA

D'une manière générale, le modèle CALDEIRA permet de calculer les débits avec une **précision estimée à +/- 10%**. La tierce expertise de PERSEE réalisée par DNV en 2004 a permis de confirmer ce niveau de précision.

Le domaine de validation du module CALDEIRA sur les essais expérimentaux est le suivant :

- pressions en canalisation comprises entre **35 et 70 bar abs.** ;
- diamètres nominaux de canalisation variant entre **150 à plus de 900 mm**;
- longueurs de canalisation variant de **2 à plus de 100 km** ;
- valeurs des débits de fuite moyens allant d'une **dizaine de m<sup>3</sup>(n)/s** à plusieurs **de milliers de m<sup>3</sup>(n)/s**.

On rappelle qu'une absence de données de validation ne signifie pas forcément une non pertinence des modèles qui s'appuient sur des lois physiques reconnues.



Le modèle CALDEIRA a été comparé avec succès au code classique de calcul d'écoulements appliqués à l'industrie gazière PipeLine Studio de la société Energy Solutions International dans de nombreuses configurations propres au transport de gaz. Les résultats sont toujours très similaires, avec en plus pour CALDEIRA l'avantage de la rapidité du calcul dans la mesure où il ne traite que des configurations simples pour lesquelles il a été spécialement conçu.

Plusieurs configurations propres au transport de gaz naturel ont été balayées pendant la phase de validation du modèle, y compris des perforations importantes (80 mm et 115 mm) et la rupture totale d'une canalisation.

## 2.4. Références

[1] Ph. GENILLON. "Présentation détaillée et validation du module CALDEIRA version 2.2". M.CERSTA N°98.I.1439.

[2] M.DEG.PCCMF.2003.104-EF : Dossier de validation du modèle CALDEIRA 3.0 « Débit à la brèche »

[3] W.C. CLIFF & V.A. SANDBORN. "Mass flow rate measurement from ruptured high pressure gas pipelines". BATTELLE Pacific Northwest Laboratories, 1979.

## 3. DISPERSION DU GAZ NATUREL

Lors d'un rejet gazeux à l'atmosphère, le produit rejeté se mélange à l'air et peut présenter un danger potentiel, lié au caractère toxique ou inflammable du produit considéré. L'étude de la dispersion atmosphérique a pour but de déterminer la zone de l'espace où ce danger existe.

Le gaz naturel n'étant pas toxique, le calcul de dispersion a ici pour but d'évaluer l'extension de la zone inflammable générée par le rejet.

### 3.1. Le phénomène de dispersion

#### 3.1.1. Rejets en milieux libres

Un rejet de gaz naturel sous pression présente deux caractéristiques très importantes vis-à-vis de la dispersion :

- une vitesse initiale élevée due à la pression sous laquelle le gaz est libéré,
- une faible densité par rapport à l'air. Les essais expérimentaux montrent que le léger refroidissement dû à la détente du gaz ne modifie pas ce comportement.

La dispersion d'un panache de gaz naturel sous pression est donc très différente de celle d'un gaz lourd (comme le gaz naturel liquéfié dont la température est très basse, le butane ou le propane pour lequel un effondrement du nuage sous son effet de sa propre densité est observé) ou de celui d'un gaz passif pour lequel les effets du vent et des turbulences naturelles de l'atmosphère jouent un rôle prépondérant dans la dispersion.

Lorsque du gaz sous pression est libéré dans l'atmosphère, le premier phénomène physique observé est un jet à grande vitesse. Pour un rejet vertical ou incliné le vent peut incliner le jet. En s'éloignant horizontalement de l'origine du rejet, la vitesse du gaz diminue pour se rapprocher de celle du vent.

De l'air est entraîné dans le panache tout au long de l'écoulement du gaz. Cet entraînement d'air a principalement lieu du fait de la différence de vitesse entre le jet et l'air ambiant (entraînement d'air par cisaillement). A mesure que la vitesse du gaz diminue, l'influence du vent et de la turbulence atmosphérique augmente. Le vent peut notamment incliner le panache et faciliter l'entraînement d'air à l'intérieur du mélange. La différence de densité entre le gaz et l'air peut également jouer un rôle lorsque que la vitesse a très fortement diminué.

Les dimensions du panache inflammable dépendent fortement du débit d'émission du gaz et du vent. Globalement, plus ce débit est élevé, plus celles-ci sont importantes. Lors d'une rupture de canalisation, le débit d'émission du gaz décroît rapidement du fait de la vidange progressive de la canalisation, les dimensions du panache inflammable décroissent elles aussi. Ainsi, à l'inverse de ce qui se produit généralement avec une nappe de gaz lourd dérivant sous l'effet du vent, une inflammation différée dans le temps provoque généralement des conséquences moindres qu'une inflammation dans les premiers instants du rejet : les quantités de gaz naturel pouvant participer à l'inflammation étant plus faibles (pas d'accumulation de masse au sein du panache).

Un rejet sous pression de gaz naturel présente donc les caractéristiques importantes suivantes :

- une très faible proportion de la quantité totale de gaz rejetée est contenue dans le panache inflammable,
- le panache reste à proximité de la source et ne dérive pas sous l'effet du vent,
- le panache a tendance à s'élever dans l'atmosphère et ne forme pas de nappe au niveau du sol.

#### 3.1.2. Particularités des rejets horizontaux

En fonction du débit et de la hauteur de jet par rapport au sol, un rejet pressurisé horizontal de gaz naturel peut être perturbé par la présence du sol. La conséquence sera de ralentir la vitesse du jet par frottement du fluide sur la rugosité du sol et également de limiter la surface périphérique d'entraînement d'air conduisant ainsi à une dilution du panache moindre que pour un rejet libre.

Il a été observé expérimentalement que la présence du sol a tendance à étaler le panache inflammable issu d'un rejet horizontal (parallèle au sol) dans une direction transversale alors que le panache issu d'un rejet libre conservera une section relativement symétrique. La longueur du panache est également plus importante que pour un rejet libre équivalent. Ces aspects doivent être pris en compte pour assurer une modélisation correcte du phénomène.

### 3.1.3. Rejets en milieux encombrés

L'impact direct du rejet sur un équipement, une canalisation, un mur ou le sol (ex : rejet vers le bas) modifie fortement la dispersion du gaz. Ce type de configuration ne peut pas être traité par le logiciel PERSEE.

## 3.2. Dispersion d'un rejet pressurisé de gaz naturel sans interaction avec le sol

### 3.2.1. Modélisation dans PERSEE: le modèle OOMS Dispersion

Les équations mathématiques de G. OOMS permettent de modéliser la dispersion d'un produit gazeux émis par une cheminée dans une atmosphère avec vent. [1]

Le principe de ce modèle est de supposer qu'en l'absence d'obstacles, un rejet vertical soumis à un vent perpendiculaire à l'axe du rejet peut être assimilé à un écoulement localement axisymétrique. L'influence du vent se traduit par l'inclinaison progressive de l'axe du panache.

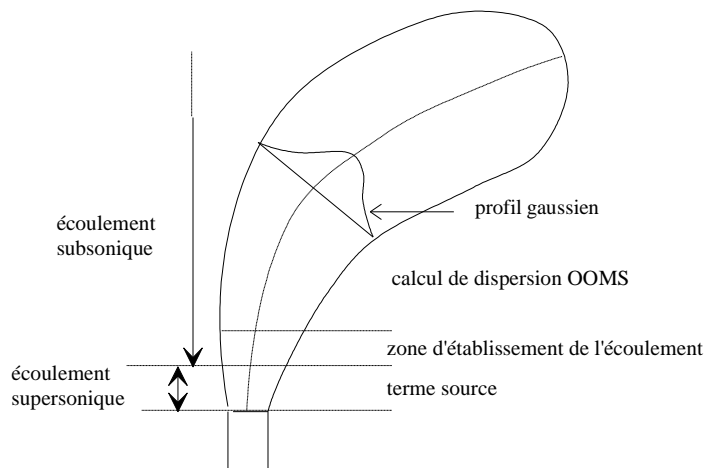


Figure 2 : Le panache inflammable se compose de plusieurs zones

En considérant une trajectoire pour l'écoulement et en approchant les profils radiaux de vitesse, de masse volumique et de concentration en gaz par des lois gaussiennes, les équations classiques de conservation sur une tranche perpendiculaire à l'axe du panache peuvent être intégrées (d'où le nom de "modèle intégral").

Le calcul est alors basé sur les calculs d'entraînement d'air dans le panache, de conservation de la masse de gaz émise, de la quantité de mouvement et de l'énergie.

Le modèle de G. OOMS ne peut traiter a priori que le cas des rejets subsoniques<sup>1</sup>. Dans le cas des rejets supersoniques<sup>2</sup>, un calcul de "terme source équivalent" permet de raccorder les conditions supersoniques de l'écoulement juste à la sortie de la brèche avec les conditions d'entrée du modèle de dispersion qui considère un gaz incompressible.

Dans la réalité, lorsque la pression est suffisante (1,86 bars pour le gaz naturel), l'écoulement au niveau de la brèche est sonique, et il se produit dans le jet une série d'ondes de choc appelées "disques de Mach", dues à des phénomènes successifs d'accélération et décompression, puis de décélération et re-compression. Un tel écoulement est très complexe à décrire et de nombreux modèles utilisent des méthodes de calcul de terme source équivalent, comme pour PERSEE.

<sup>1</sup> Un rejet subsonique est un rejet dont la vitesse du fluide est inférieure à la vitesse du son.

<sup>2</sup> Un rejet supersonique est un rejet dont la vitesse du fluide est supérieure à la vitesse du son.

Le principe du terme source est de remplacer le jet réel par un jet fictif subsonique ou faiblement supersonique. Pour cela, la surface qui serait occupée par un jet conservant le même débit et la même quantité de mouvement que le jet réel et qui serait à la pression ambiante est calculée. Cette surface permet de définir un diamètre équivalent utilisé ensuite dans le modèle de dispersion. Dans OOMS Dispersion, le calcul est fait en utilisant la formulation publiée par le Health and Safety Executive Britannique appelée « Sonic Jet method » et développée par Ewan et Moodie. [2]

**Le module OOMS Dispersion, basé sur la publication de G. Ooms et complété avec un modèle de calcul de terme source est un modèle intégral qui simule un rejet de gaz subsonique ou supersonique en régime permanent en présence de vent et sans obstacle.**

### 3.2.2. Validation expérimentale

Le code OOMS Dispersion a été validé sur de nombreux rejets expérimentaux de gaz naturel sous pression à grande échelle.

Les conditions expérimentales sont résumées dans le tableau suivant :

Diamètre de la brèche (mm)	Nombre d'essais	Direction du jet	Pression de stockage (bar abs.)
300	6	verticale	Subsonique
200	1	verticale	20
100	4	verticale	subsonique et 22
75	5	verticale, 45° et horizontale	21 et 73
fente 450 × 10 <sup>-2</sup>	2	verticale	21

Tableau 3 : Essais de validation du module OOMS Dispersion

Les résultats de la validation sont satisfaisants, notamment en ce qui concerne l'estimation numérique de la hauteur, de la longueur curviligne et de l'inclinaison du panache à 5%. Plus de 90% des estimations sont correctes avec une marge d'erreur de +/- 30% pour les événements. Il en est de même pour plus de 85% des estimations sur les perforations. Pour l'estimation de l'extension horizontale du panache, environ 64% des estimations sont correctes dans le cas des événements, et 57% dans le cas des perforations. Notons que dans le cas d'un jet vertical, le principal paramètre est la hauteur du panache.

**D'une manière générale, les résultats de OOMS Dispersion permettent de calculer l'extension maximale de la LIE et ½ LIE à +/- 30%.** Ce type d'écart est inhérent à la précision des modèles intégraux et des mesures expérimentales.

Le domaine de validation du module OOMS Dispersion sur les essais expérimentaux est le suivant :

- Diamètre de brèche : de **100 à 300 mm**,
- Vitesse du vent : de **2 à plus de 10 m/s**,
- Pression intérieure de la canalisation avant rupture: de **1,1 à 73 bar abs.**,
- Orientation du jet **vertical ou horizontal sans interaction avec le sol**.

On rappelle qu'une absence de données de validation ne signifie pas forcément une non pertinence des modèles qui s'appuient sur des lois physiques reconnues.

### 3.2.3. Références

[1] A new simulation for the calculation of the plume path of gases emitted by a stack, G. OOMS, Atm. Environment, vol 6, 1972.

[2] A velocity decay scheme for underexpanded sonic jets from vented vessels, B.C.R. EWAN, K. MOODIE (Health and Safety Executive), 5th International Symposium "Loss Prevention in the Process Industries", 1986.

[3] The structure and concentration decay of high pressure jets of natural gas, A.D. BIRCH, D.R. BROWN, M.G. DODSON, F. SWAFFIELD (British Gas), Combustion Science and Technology, 1984.

### 3.3. Dispersion d'un rejet horizontal de gaz naturel en interaction avec le sol

#### 3.3.1. Modélisation dans PERSEE : le modèle DISP\_H

La détermination des conditions de l'écoulement en sortie de la canalisation se fait en supposant une détente isentropique entre l'intérieur de la canalisation et l'orifice. Les paramètres spécifiés par l'utilisateur sont pris en entrée du modèle et les paramètres manquants sont déduits en utilisant les relations isentropiques reliant les rapports de pressions de température et de masse volumique au nombre de Mach.

Dans le cas d'un rejet supersonique la source subsonique équivalente est calculée en utilisant plusieurs méthodes possibles : Birch method, Improved Birch method ou Sonic jet method. Par défaut la méthode de « Sonic Jet » publiée par le HSE est utilisée dans PERSEE. [3]

Le calcul des propriétés à l'intérieur du panache est basé sur une approche intégrale, les équations de conservation pour les flux de masse, de quantité de mouvement du fluide dans les trois dimensions de l'espace sont résolues le long de la trajectoire du rejet. Les équations de la turbulence et sont également résolues le long de l'axe du rejet.

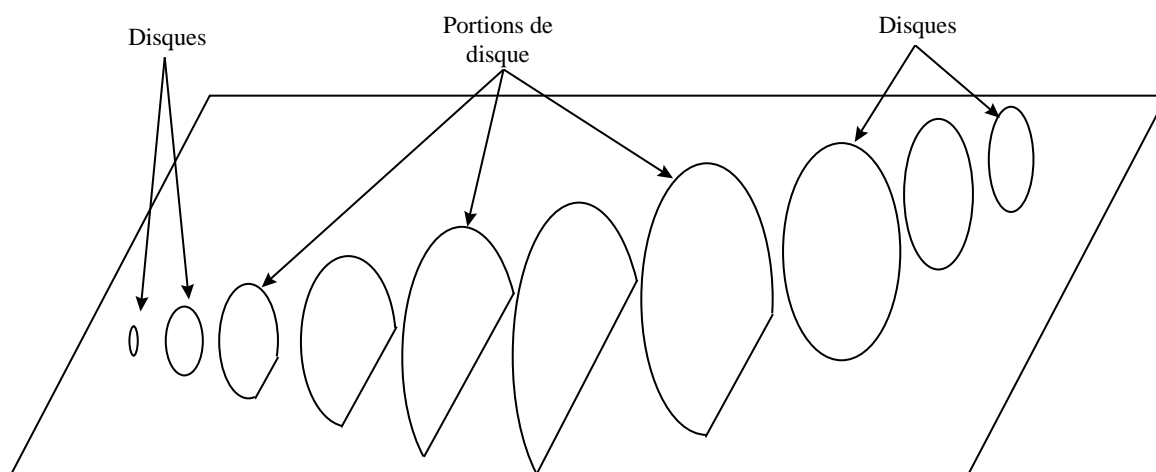


Figure 3 : Représentation schématique des surfaces de contrôle dans DISP\_H dans le cas d'une interaction avec le sol.

En cas d'interaction avec le sol le terme d'entraînement d'air dans l'équation de continuité est modifié pour prendre en compte le périmètre du jet en contact avec l'air (une partie n'étant plus en contact du fait de l'interaction avec le sol). L'effet du sol sur la quantité de mouvement horizontal est pris en compte par une modification de l'équation de conservation pour y inclure une force d'interaction. Les coefficients intervenant dans la formule d'entraînement d'air ont été calibrés sur des essais expérimentaux en soufflerie et à échelle 1.

#### 3.3.2. Validation expérimentale

Le module DISP\_H a été validé sur de nombreux rejets expérimentaux de gaz naturel sous pression à grande échelle.

La base de validation utilisée comporte :

- Des essais horizontaux et verticaux à échelle réduite réalisés en soufflerie,
- 2 essais à échelle 1 de jets horizontaux en interaction avec le sol,
- des essais horizontaux à échelle 1 de jets sans interaction avec le sol,
- des essais à échelle 1 verticaux de mises à l'évent.

Tableau 4 : Essais de validation de rejet du module DISP\_H

Diamètre de la brèche (mm)	Nombre d'essais	Direction du jet	Pression de stockage (bar abs.)
75	5	verticale, 45° et horizontale	21 bar et 73 bar
fente 450 × 10	2	verticale	21 bar

Les distances à la LIE sont estimées correctement, à +/- 25 % par rapport aux essais expérimentaux. Le domaine de validation du module DISP\_H sur les essais expérimentaux est le suivant :

- Diamètre de brèche : de **100 à 300 mm**,
- Vitesse du vent : de **2 à plus de 10 m/s**,
- Pression intérieure de la canalisation avant rupture: de **1,1 à 73 bar**,
- Orientation du jet vertical, **horizontal avec ou sans interaction avec le sol**.

On rappelle qu'une absence de données de validation ne signifie pas forcément une non pertinence des modèles qui s'appuient sur des lois physiques reconnues.

### 3.3.3. Références

- [1] S. L. Bragg, 1960. Effect of compressibility on the discharge coefficient of orifices and convergent nozzles. Journal of Mechanical Engineering Science, vol. 2, n°1, 35-44.
- [2] D.K. Cook, 1991. A one-dimensional integral model of turbulent jet diffusion. Combustion and Flame, 85, 143-154.
- [3] A.D. Birch, and D.R. Brown, 1989. The set of integral models for predicting jet flows. Mathematical in Major Accident Risk Assessment (Ed. R.A. Cox), Clarendon Press, Oxford.
- [4] R.P. Cleaver and P.D. Edwards, 1990. Comparison of an integral model for predicting the dispersion of a turbulent jet in a crossflow with experimental data Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 3 : 91-96.

## 4. SURPRESSION A L'INFLAMMATION

Lors d'un rejet accidentel d'hydrocarbures, le mélange gazeux formé avec l'air ne peut s'enflammer seulement si :

- la concentration volumique du gaz dans l'air est comprise entre les limites inférieure et supérieure d'inflammabilité (environ 5% et 15% en volume dans l'air pour le gaz naturel),

Et

- qu'une source d'inflammation suffisamment énergétique est présente dans la zone d'inflammabilité.

### 4.1. Le phénomène d'explosion

Une "explosion gazeuse" est un événement au cours duquel la combustion d'un mélange air-gaz combustible provoque une augmentation rapide et incontrôlée de la pression.

En effet, la combustion - qui est une réaction chimique hautement exothermique (c'est-à-dire qui dégage de la chaleur) - a pour effet de convertir rapidement les réactifs (gaz frais) en produits de combustion (gaz brûlés). Le front de flamme, où a lieu cette réaction, sépare les gaz frais des gaz brûlés. Cette flamme se propage quasi-sphériquement à partir du point d'allumage en milieu libre (sans obstacles ni confinement). Les gaz frais transformés en gaz brûlés sont portés à une température plus élevée et cherchent donc à se dilater. Le mélange non brûlé situé juste en aval du front de flamme se trouve comprimé. La pression à cet endroit augmente. Cette surpression se propage ensuite à la vitesse du son dans le mélange frais mis en mouvement. La surpression décroît en fonction de la distance du fait de l'atténuation de l'onde de pression lors de sa propagation.

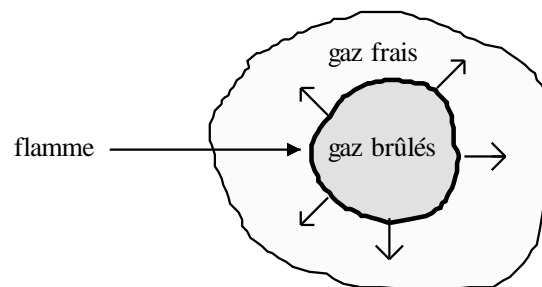


Figure 4 : Propagation d'une flamme lors d'une explosion

L'explosion peut se faire selon deux modes différents :

- **la déflagration**, mode le plus commun pour de nombreux hydrocarbures gazeux, où la propagation de la flamme se fait à vitesse de combustion subsonique. La surpression maximale générée est selon les produits, de l'ordre de quelques millibars à plusieurs centaines de millibars.
- **la détonation**, lorsque la flamme se propage à vitesse supersonique. C'est le régime des explosifs solides de type TNT. La surpression maximale est, généralement de quelques bars à quelques dizaines de bars.

Le gaz naturel est particulièrement peu réactif, car il se compose généralement de plus de 90% de méthane. Or le méthane possède une réactivité faible par rapport à l'ensemble des autres hydrocarbures gazeux (propane, étylène, etc ...). Les essais montrent que la masse de tétryl-équivalente doit être de plus de trois kilogrammes (soit plus de 15 kJ) pour initier la détonation d'un gaz naturel. Les sources potentielles d'inflammation habituellement présentes dans les situations industrielles courantes ne sont pas aussi puissantes. Les sources d'inflammation les plus probables sont des surfaces chaudes, des étincelles ou des flammes pilotes, d'énergie beaucoup plus faible (de l'ordre de quelques Joules). La détonation peut aussi être provoquée par une densité très importante d'obstacles. De nombreuses campagnes expérimentales avec une très forte densité d'obstacles (parfois très supérieures à ce qui est observé sur un site gazier) ont été réalisées et ont montré qu'il était très difficile de déclencher une détonation. La détonation directe d'un mélange air/gaz naturel en milieu libre est donc a priori physiquement impossible (hors acte de malveillance).

De nombreux essais expérimentaux (cf. chapitre suivant sur la validation expérimentale) ont permis de mettre en évidence un régime de déflagration dans le cas d'un rejet turbulent de gaz naturel en milieu libre. Les vitesses de flamme déduites des essais sont inférieures à 150 m/s et les surpressions allant de quelques millibar, dans la plupart des cas, à plusieurs dizaines de millibars (inférieures à 100 mbar). Ces essais ont eu lieu à moyenne échelle mais de nombreux experts estiment que, même à une plus grande échelle, le régime d'explosion restera limité à une déflagration avec des vitesses de flamme simplement légèrement plus élevées.

D'autre part, les essais ont montré que lorsque la sphère des gaz brûlés atteint le bord du panache inflammable, les gaz peuvent s'échapper librement dans l'atmosphère et la génération de surpression cesse. La quantité de gaz participant au phénomène d'explosion dans un rejet turbulent est donc la sphère inscrite dans le panache inflammable.

## 4.2. Modélisation : le modèle de déflagration à vitesse variable

Le module OOMS Surpression utilise le modèle piston ou modèle de déflagration à vitesse variable développé par DESHAIES et LEYER [3]. L'effet du front de flamme de la déflagration qui comprime les gaz frais situés en aval est simulé par l'action d'un piston sphérique semi-perméable et indéformable.

Les caractéristiques de la déflagration sont obtenues par la résolution analytique des équations du mouvement des gaz (équations non dissipatives d'Euler) en tenant compte de la conservation de la masse et de la quantité de mouvement, de l'équation d'état des gaz parfaits et de l'évolution isentropique des gaz. L'évolution de la vitesse du piston sphérique au cours du temps est déterminée à partir du calcul des champs de vitesse, de concentration et de turbulence dans le panache inflammable. Cette méthode permet d'évaluer le profil complet de l'onde de surpression générée localement par l'inflammation du panache.

## 4.3. Validation expérimentale

La validation a été faite pour le modèle OOMS Surpression couplé au modèle de OOMS Dispersion. Les résultats expérimentaux qui ont servis pour la validation de OOMS Dispersion sont :

- essais GDF-ENSMA (ou essais « CHEMERY ») : rejets de gaz naturel verticaux dans l'atmosphère en régime stationnaire (17 tests exploitables, 31 valeurs de surpression maximale, 12 profils de pression) ;
- essais SHELL-HOFF : rejets de gaz naturel verticaux dans l'atmosphère en régime stationnaire (14 tests exploitables, 27 valeurs de surpression maximale, aucun profil de pression) ;
- essais MERGE-INERIS : rejets transitoires (la pression n'était pas constante pour certains essais) de gaz naturel horizontal à 5 m de hauteur dans l'atmosphère (12 tests exploitables, 12 valeurs de surpression maximale, 1 seul profil de pression) ;
- essais INERIS-EXPLOJET : rejets transitoires (la pression n'était pas complétement constante pour certains essais) de gaz naturel horizontal à 5 m de hauteur dans l'atmosphère (38 tests exploitables, 227 valeurs de surpression maximale, 227 profils de pression).

Tableau 5 : Données de validation du module OOMS-SURPRESSION

Description	Nombre d'essais	Direction du jet	Débit de fuite (kg/s)
Essais GDF-ENSMA	17	Verticale	2-9
Essais SHELL-HOFF	14	Verticale	36-281
Essais MERGE-INERIS	12	Horizontal	3-29
Essais INERIS-EXPLOJET	38	Horizontal	~6

OOMS donne des résultats qui sont majorants dans plus de 80% des cas étudiés.

La comparaison des résultats OOMS Surpression / Essais montre que la méthode de déflagration à vitesse variable appliquée à un jet permet d'estimer de façon réaliste les effets de l'inflammation d'un rejet gazeux sous pression en régime permanent comme en régime transitoire.



Le domaine de validation du module OOMS Surpression sur les essais expérimentaux est le suivant :

- Type de rejet : jets libres de gaz naturel sous pression
  - **verticaux** (à 1 m de hauteur) ou **horizontaux (à 5 m de hauteur sans interaction avec le sol)**,
- Diamètre de brèche : de **36 à 100 mm**,
- Position du point d'inflammation sur l'axe du jet.

On rappelle qu'une absence de données de validation ne signifie pas forcément une non pertinence des modèles qui s'appuient sur des lois physiques reconnues.

Pour affiner, le domaine de validation du modèle OOMS Surpression, GDF SUEZ et l'INERIS ont mené conjointement des travaux sur la thématique des explosions de jets (2009-2013). Les objectifs étaient de définir une limite d'utilisation de OOMS Surpression en lien avec les essais expérimentaux précédemment cités et d'améliorer la compréhension de ce phénomène pour étendre le domaine de validation actuel. **Pour des rejets de 12 mm jusqu'à 250 barg, de 25 mm jusqu'à 250 barg et de 50 mm jusqu'à 150 barg il a été conclut que OOMS Surpression pouvait être utilisé. [5]**

#### 4.4. Références

- [1] An experimental study of the ignition of natural gas in a simulated pipeline rupture, A.B.M. HOFF (Shell), Combustion and flame, 49, 1983.
- [2] The overpressure generated by the ignition of a large scale free natural gas jet, R. ARNAUD et al., 7th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Taormina, Italie, 1992.
- [3] Les flammes sphériques : propagation divergente et combustion stationnaire, B. DESHAIES, Thèse de doctorat, Université de Poitiers, 1981.
- [4] Analyse des explosions air-hydrocarbure en milieu libre - Études déterministe et probabiliste du scénario d'accident, prévisions des effets de surpression, A. LANNOY, Bulletin EDF/DER, série A, 1984.
- [5] Distances d'effets génériques de scénarios accidentels impliquant des équipements de gaz naturel sur des sites de stockages souterrains. Rapport d'étude INERIS- DRA-10-115312-12052A, 26/11/2010.

## 5. RAYONNEMENT THERMIQUE

### 5.1. Le phénomène physique

Lors de la perte de confinement de gaz naturel, un panache inflammable peut s'enflammer pour conduire à un jet enflammé. L'énergie chimique libérée par la combustion se transforme en énergie thermique. Une fraction de cette énergie est dissipée par rayonnement (environ 20%) et le reste par convection autour de la flamme.

D'une manière générale une flamme émet deux types de rayonnement :

- le rayonnement visible qui correspond à une émission de lumière ;
- le rayonnement thermique ou rayonnement infrarouge qui correspond à une émission de chaleur.

Le rayonnement thermique issu d'une flamme de gaz naturel ou, plus généralement d'hydrocarbures, provient de deux sources :

- $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$ , sous forme gazeuse, qui émettent essentiellement dans le proche infrarouge et qui ne contribuent pas à la lumière visible,
- des particules solides non brûlées (suies) provenant d'une combustion incomplète, qui émettent de façon continue dans la bande de longueurs d'ondes qui va du visible à l'infrarouge. Ce sont ces particules qui émettent la majeure partie de la lumière visible venant de la flamme.

Avant d'atteindre un point, le rayonnement doit traverser une certaine épaisseur d'air qui n'est pas complètement transparente car le gaz carbonique et surtout la vapeur d'eau absorbent une partie du rayonnement thermique. Il apparaît donc un "coefficient de transmittivité" entre la source du rayonnement et la cible. Celui-ci dépend essentiellement de l'humidité relative de l'air et de l'épaisseur de la tranche traversée.

De plus, le flux reçu par une cible est proportionnel à l'angle solide sous lequel celle-ci voit la flamme. Ce qui se traduit par un coefficient, appelé "facteur de forme", qui se calcule à partir de la géométrie de la flamme et de sa position par rapport à la cible.

Les rejets qui peuvent être influencés par la présence du sol sont les rejets horizontaux ayant un débit important ; la valeur de 30 kg/s est retenue dans PERSEE pour basculer d'un régime de jet enflammé sans interaction à un régime de jet en interaction avec le sol. Elle est issue de modélisations en considérant une hauteur caractéristique de rejet de 1 m, représentative de la hauteur des installations aériennes.

Le modèle RAYO\_H permet de prendre en compte cette interaction du jet enflammé avec le sol. La présence du sol va avoir tendance à aplatir la flamme et à l'élargir. De plus, la proximité du sol va générer une force de traînée qui ralentit le jet et modifie la forme de la flamme.

Ces aspects sont donc pris en compte pour assurer une modélisation correcte du phénomène. Pour les rejets horizontaux, les effets de flottabilité liés à la haute température de la flamme donnent une forme incurvée à la flamme qui s'élève en son extrémité, lorsque la vitesse de l'écoulement est fortement diminuée. Ce type de phénomène est rarement modélisé dans les modèles simples classiques mais est correctement pris en compte dans PERSEE.

### 5.2. Rayonnement thermique d'un rejet enflammé sans interaction avec le sol

#### 5.2.1. Modélisation dans PERSEE : le modèle RAYON

Le modèle utilisé dans RAYON a été développé par CHAMBERLAIN [1], de la société SHELL RESEARCH LTD, pour pouvoir déterminer correctement les niveaux de rayonnement thermique produits par des torches dans le champ proche. A l'origine, il répond aux besoins de calcul sur les plates-formes offshore. GDF SUEZ a modifié le modèle initial, notamment pour élargir son domaine de validité vers les hautes pressions et pour rendre les résultats du modèle plus proches des essais expérimentaux de rejets enflammés de gaz naturel. GDF SUEZ a ainsi développé le module RAYON.

Dans le cas des rejets à haute pression, il faut tenir compte de la géométrie particulière du jet au départ de l'orifice due à la présence d'ondes de chocs. Le rejet est ramené à un cas faiblement supersonique décollé équivalent en introduisant un "terme source" en tant que condition de sortie à la brèche. La flamme est modélisée par un tronc de cône dont l'émissivité est uniforme et les caractéristiques de la flamme sont calculées par des corrélations semi-empiriques.

Le flux rayonné reçu par une cible est donné par :  $\phi = f \times \phi_{se} \times \tau$

avec :

$\phi$	flux reçu par la cible (kW/m <sup>2</sup> ),
$f$	facteur de forme,
$\phi_{se}$	flux surfacique émis par la flamme (kW/m <sup>2</sup> ),
$\tau$	facteur de transmittivité de l'atmosphère.

Le flux surfacique émis est défini comme le rapport de la puissance rayonnée sur la surface de la flamme A (m<sup>2</sup>). La puissance rayonnée s'exprime simplement comme le produit de la puissance totale de combustion Q (kW) par la fraction rayonnée F<sub>s</sub> :

$$\phi_{se} = \frac{F_s \cdot Q}{A}$$

La puissance totale de combustion s'exprime directement comme le produit du Pouvoir Calorique Inférieur (PCI) du gaz (en kJ/m<sup>3</sup>) et du débit volumique (en m<sup>3</sup>/s).

On assimile la flamme à un tronc de cône émettant uniformément sur toute sa surface (Figure ci-dessous)

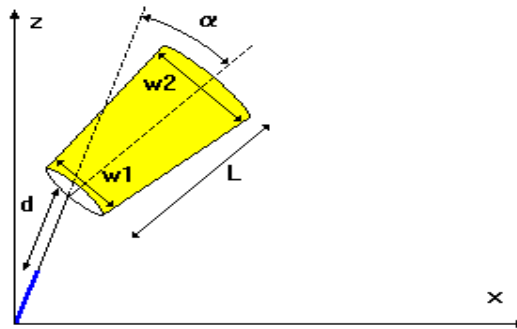


Figure 5 : Forme de la flamme adoptée

Les 5 paramètres définissant la forme de la flamme sont :

L :	longueur du tronc de cône (m),
$W_1$ :	petite base du tronc de cône (m),
$W_2$ :	grande base (m),
$\alpha$ :	angle entre la flamme et la direction du rejet (degrés),
d :	longueur de décollement : sur laquelle l'écoulement est non réactif (m) (aucun décollement de flamme n'est considérée lors des ruptures de canalisations enterrées.)

La connaissance de ces paramètres permet de calculer la surface du cône et son orientation.

Ces paramètres, ainsi que la fraction rayonnée, sont déterminés à partir de corrélations empiriques faisant intervenir essentiellement le rapport de la vitesse du vent à la vitesse du gaz et le nombre de Richardson (nombre adimensionnel permettant de mesurer l'influence relative de la quantité de mouvement et de la flottabilité). Ces corrélations s'appliquent pour des rejets subsoniques ou faiblement supersoniques.

Dans le cas des rejets à forte pression, un modèle de terme-source défini d'après la formulation de BIRCH [2] est utilisé afin de se ramener à un écoulement faiblement supersonique.

Le facteur de forme doit prendre en compte l'angle solide sous lequel une cible "voit" l'émetteur. Le calcul exact du facteur de forme a été effectué en distinguant plusieurs zones de l'espace pour lesquelles la surface visible est différente.

Le coefficient de transmission  $\tau$  traduit la façon dont le milieu environnant la flamme atténue le rayonnement émis par la flamme.  $\tau$  dépend de plusieurs paramètres qui sont la température de l'air ambiant, son taux

d'humidité relative, la température de la source et le chemin optique (épaisseur de la couche à traverser pondérée par le coefficient d'extinction). La température de la source est prise égale à 1500 K et la distribution spectrale est celle d'un corps noir. Le coefficient de transmittivité  $\tau_a$  a été calculé en utilisant un modèle statistique à bande large exploité par le CORIA.

### 5.2.2. Validation expérimentale

Le modèle de CHAMBERLAIN [1] a été testé par ses développeurs sur un total de 98 essais en laboratoire. GDF SUEZ a ensuite validé les modifications apportées au modèle sur des essais menés par SHELL et sur des essais confidentiels jusqu'à une pression de 67 bars.

Description	Nombre	Diamètre Brèche (m)	Pression interne (bar)	Débit ((n)m <sup>3</sup> /s)	Hauteur Rejet (m)	Vitesse vent (m/s)
Événements-Perforations-Silencieux	30	0,08-0,6	0,9-73	0,2-150	0 - 6	0,2 -17
Rupture En cratère	2	0,9	>60 bars	Jusqu'à 6000	(cratère)	0-5
Shell [J,F BENETT]	8 horizontaux	0,152 / 0,075/0,02	1-67	3-10	1,5/3	0,3-9

Tableau 6 : Description des essais de validation du module RAYON

Pour les événements sub-verticaux, les longueurs de flamme sont calculées de manière très satisfaisante mais RAYON a tendance à sous-estimer les hauteurs de décollement de flamme, ce qui est cependant majorant pour les calculs en champ proche (flamme plus proche des cibles au sol). Cependant, les hauteurs de décollement de flamme évaluées par RAYON sont plus proches des valeurs expérimentales qu'avec le modèle original de CHAMBERLAIN.

Les observations des essais expérimentaux de rupture de canalisations enterrées montrent qu'il n'y a pas de décollement de flamme. Ainsi le modèle RAYON étire le tronc de cône représentant la flamme vers le sol à la place du décollement théoriquement calculé par le modèle de CHAMBERLAIN modifié et correspondant à un rejet sur une canalisation aérienne.

Globalement les niveaux de rayonnement sont en accord pour l'ensemble des essais et des radiomètres, avec moins de 30% d'écart pour environ 80% des mesures. Les cas pour lesquels l'écart dépassait cette valeur sont essentiellement en champ lointain, dans la zone où le flux est inférieur à 3 kW/m<sup>2</sup> (l'incertitude de la mesure expérimentale est importante pour les faibles flux thermiques). C'est contre le vent que les résultats sont les moins bons, mais dans plus de 90% des cas où l'écart est important, ces flux sont majorés. Il est, par ailleurs, usuel de calculer les distances de dangers en considérant un vent dans l'axe du rejet.

Le domaine de validation du module RAYON sur les essais expérimentaux est le suivant :

- Rejets de gaz naturel aériens pour des orifices circulaires allant jusqu'à **0,9 m de diamètre**.
- Pressions et débits allant respectivement jusqu'à **73 bar**
- Vitesses de vent de **1 m/s jusqu'à 17 m/s**

On rappelle qu'une absence de données de validation ne signifie pas forcément une non pertinence des modèles qui s'appuient sur des lois physiques reconnues.

### 5.2.3. Références

[1] Development in design methods for predicting thermal radiation from flare, G.A. CHAMBERLAIN, Chem. Eng. Res. Des, Vol 65, Février 1987.

[2] The structure and concentration decay of high pressure jets of natural gas, A.D. BIRCH, D.R. BROWN, M.G. DODSON & F. SWAFFIELD, Combustion Sciences and Technology, 1984.

[3] A model for predicting the thermal radiation hazards from a large scale horizontally released natural gas jet fires, A.D. JOHNSON, H.M. BRIGHTWELL & A.J. CARSLEY, Hazards XII European advances in process safety, Manchester, Avril 1994.

## 5.3. Rayonnement thermique d'un rejet horizontal en interaction avec le sol

### 5.3.1. Modélisation : le modèle RAYO\_H

La modélisation du phénomène de jet enflammé en interaction avec le sol utilise une démarche similaire à celle utilisée par le modèle DISP\_H : il est basé sur une approche intégrale. Les équations de conservation sont résolues le long de la trajectoire du rejet et les conditions à l'orifice sont obtenues en utilisant les mêmes hypothèses.

Pour modéliser le rayonnement thermique de la flamme, des équations supplémentaires décrivant la combustion du mélange gazeux sont résolues le long de l'axe du rejet. Le modèle intégral de combustion inclut un modèle à deux équations pour la fraction massique et la densité particulaire de la suie. La combustion du méthane est décrite en faisant l'hypothèse d'une flamme turbulente non pré-mélangée à chimie rapide. Les fluctuations causées par la turbulence sont modélisée par une approche de type  $\beta$ -PDF. L'effet du transfert radiatif de chaleur sur les températures calculées est pris en compte par l'ajout d'une perte de chaleur de 20% dans l'équation de bilan d'énergie (valeur déterminée en accord avec des mesures expérimentales de flamme de diffusion gaz naturel/air).

Les réactions chimiques de formation et de consommation de suies dans la flamme sont relativement lentes comparée aux échelles de temps des réactions en phase gazeuse ; Le schéma de réaction pour la combustion du gaz est par conséquent étendu pour inclure le mécanisme de formation et de consommation de la suie. Le modèle est fermé en supposant que les particules de suies sont sous forme sphérique et que la taille des particules est homogène dans tout l'écoulement.

Les flux radiatifs internes à la flamme sont calculés à partir des températures moyennes des concentrations de gaz et des fractions volumiques de suies. La surface externe de la flamme est supposée agir comme un émetteur uniforme de rayonnement thermique. Le flux émis par la surface est calculé en fonction des flux radiatifs internes de la flamme. Les flux radiatifs reçus en des points extérieurs de la flamme sont ensuite évalués via des facteurs de formes.

### 5.3.2. Validation expérimentale

RAYO\_H a été validé sur des rejets horizontaux avec ou sans interaction avec le sol comprenant notamment :

- Des rejets à 20 kg/s sans interaction avec le sol,
- Des rejets à 60 kg/s en interaction avec le sol,
- Des rejets à moins de 10 kg/s (Shell) avec ou sans interaction avec le sol.

Description	Nombre	Diamètre Brèche (m)	Pression interne (bar)	Hauteur du rejet (m)
Rejet sans interaction avec le sol	2	0,075	20	4,5
Rejet avec interaction avec le sol	2	0,075	70	0-0,75
Essais Shell	8 horizontaux	0,152 / 0,075/0,02	1-67	1,5/3

Tableau 7 : Essais de validation du module RAYO\_H

Les distances aux flux thermiques sont estimées par RAYO\_H à  $\pm 30\%$  dans toutes les directions, excepté dans l'axe « upstream », soit en amont du rejet (résultats majorants).

Le domaine de validation du module RAYO\_H sur les essais expérimentaux est le suivant :

- Rejets de gaz naturel aériens pour des orifices circulaires allant jusqu'à **0,075 m de diamètre**.
- Pressions allant jusqu'à **73 bar**
- Vitesses de vent de **0,3 m/s jusqu'à 9 m/s**

On rappelle qu'une absence de données de validation ne signifie pas forcément une non pertinence des modèles qui s'appuient sur des lois physiques reconnues.

### 5.3.3. Références

- [1] S. L. Bragg, 1960. Effect of compressibility on the discharge coefficient of orifices and convergent nozzles. Journal of Mechanical Engineering Science, vol. 2, n°1, 35-44.
- [2] D.K. Cook, 1991. A one-dimensional integral model of turbulent jet diffusion. Combustion and Flame, 85, 143-154.
- [3] A.D. Birch, and D.R. Brown, 1989. The set of integral models for predicting jet flows. Mathematical in Major Accident Risk Assessment (Ed. R.A. Cox), Clarendon Press, Oxford.
- [4] R.P. Cleaver and P.D. Edwards, 1990. Comparison of an integral model for predicting the dispersion of a turbulent jet in a crossflow with experimental data Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 3 : 91-96.

## 6. ECHAUFFEMENT DE CANALISATION

Si une canalisation est soumise à un flux thermique, il est important d'évaluer la température qu'elle va atteindre, afin de savoir si son intégrité est menacée ou non.

### 6.1. Phénomène physique

La présence d'un feu à proximité d'une canalisation pressurisée peut endommager cette dernière et conduire à des inflammations en cascade sur un site industriel comportant plusieurs conduites aériennes.

Sous l'effet d'un flux thermique rayonné par une flamme ou sous l'effet de la convection des gaz chauds, la température de la canalisation va augmenter. Cette augmentation de température dépend des caractéristiques de la conduite (diamètre, épaisseur, conductivité, masse volumique du matériau constitutif, ...) mais aussi du débit de gaz la traversant et du refroidissement par le vent extérieur. La conduction à l'intérieur du métal va également jouer un rôle dans l'élévation et la répartition de la température en l'homogénéisant sur l'ensemble de la conduite.

Les propriétés de résistance de l'acier diminuent à mesure que la température s'élève : la conduite perd ainsi en intégrité et ne peut plus supporter la pression intérieure. Sous l'effet de la chaleur, la température du gaz contenu dans la conduite augmente conduisant ainsi à une élévation de la pression. Les deux effets combinés peuvent conduire à la rupture de la canalisation.

### 6.2. Modélisation de l'échauffement de la canalisation

La modélisation de l'échauffement de la canalisation et de sa résistance au feu se décompose en trois 3 étapes :

**Etape 1 : Modélisation des transferts thermiques dans la paroi de la canalisation pour déterminer l'évolution de sa température au cours du temps.**

La canalisation métallique échange de l'énergie thermique avec les milieux qui l'environnent par convection et par rayonnement. Ces flux sont les suivants :

- $\Phi_{ext}$  : flux rayonné par la flamme et absorbé par la canalisation,
- $\Phi_{ro}$  : flux rayonné par l'air ambiant et absorbé par la canalisation,
- $\Phi_{rex}$  : flux rayonné ré-émis par la face extérieure de la canalisation,
- $\Phi_{cex}$  : flux convectif le long de la surface extérieure de la canalisation,
- $\Phi_{ci}$  : flux convectif d'échange entre la paroi et le fluide à l'intérieur de la canalisation.

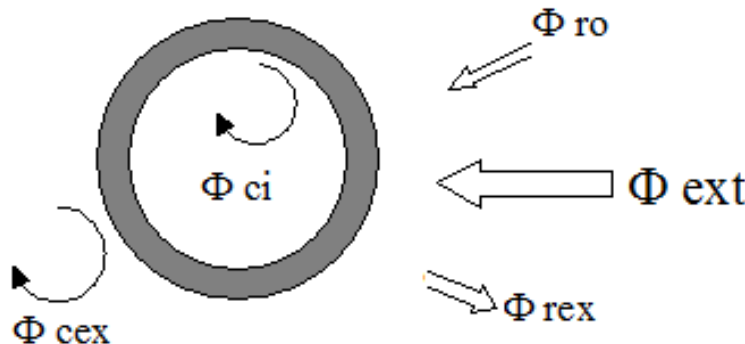


Figure 6 : Flux de chaleur sur une canalisation soumise à un rayonnement

Dans le métal proprement dit, le transfert de chaleur se fait par conduction suivant la loi de Fourier. La canalisation est discrétisée suivant un angle " $\theta$ " par rapport à l'horizontale pour prendre en compte l'orientation du flux incident et suivant leur distance à l'axe "r" pour prendre en compte le gradient de température entre la face intérieure et la face extérieure du tube.

Les calculs de convection dans le gaz et dans l'air nécessitent l'estimation de coefficients  $h_1$  et  $h_2$  évalués à partir de corrélations empiriques classiques. Il n'existe pas de formulation exacte connue.

Pour le coefficient d'échange  $h_1$  avec l'air ambiant, la formulation de Morgan [1] est retenue.

Pour le coefficient d'échange  $h_2$  avec le fluide intérieur, trois configurations sont à distinguer :

1. Si le fluide est en mouvement turbulent, le domaine est celui de la convection forcée : la formulation de Colburn est retenue ([1] et [2]).
2. Si le fluide n'est pas en mouvement, la convection est libre. Il n'y a pas de formule réellement utilisable confirmée. La littérature propose pour le coefficient  $h_2$  une valeur de 10 W/m<sup>2</sup>K.
3. Le dernier cas est intermédiaire et correspond à un écoulement laminaire. Le fluide s'échauffe un peu en circulant lentement et il faudrait alors tenir compte de la longueur de canalisation exposée au rayonnement pour estimer cet échauffement. Ce cas n'est pas pris en compte actuellement, ECHAUF impose arbitrairement un fluide au repos. Cette hypothèse est cependant majorante.

## Etape 2 : Calcul de la température critique admissible par la canalisation (température à partir de laquelle la canalisation peut rompre) :

A chaque pas de temps, une comparaison est effectuée dans le module ECHAUF entre la contrainte interne initiale subie par la canalisation et la résistance mécanique de son acier en fonction de la température.

Dans l'actuelle version d'ECHAUF la température critique est déterminée uniquement à l'instant initial. L'augmentation de pression pouvant survenir dans un tronçon isolé due à la dilatation thermique du gaz s'échauffant n'est actuellement pas pris en compte dans la version du module. Cette approche est tout à fait valide pour les canalisations avec circulation de fluide mais n'est pas conservative pour les canalisations isolées exposées sur une durée importante. Le fluage est également pris en compte dans le calcul de la température critique.

**Etape 3 : Détermination du temps de rupture de la canalisation** : Le croisement de la courbe d'évolution de température de la canalisation avec sa température critique admissible définit le temps de rupture. Enfin si la variable « Calcul du Flux critique » est activée dans ECHAUF, le module affichera en supplément le flux minimum conduisant à la rupture de la canalisation au bout d'un certain temps d'exposition défini par l'utilisateur.

## 6.3. Validation expérimentale

Le modèle ECHAUF a pu être validé par comparaison avec des essais réalisés par l'INERIS [3].

	Test 1	Test 2
Diamètre intérieur	115 mm	115 mm
Épaisseur d'acier	4,5 mm	4,5 mm
Flux thermique et durée d'exposition	4,9 kW/m <sup>2</sup> pendant 1500 s 5,3 kW/m <sup>2</sup> pendant 1500 s 4,7 kW/m <sup>2</sup> pendant 600 s	6,3 kW/m <sup>2</sup> pendant 1500 s 5,6 kW/m <sup>2</sup> pendant 1500 s 6,9 kW/m <sup>2</sup> pendant 600s
Température ambiante	12 °C	15 °C
Vent	4 m/s	2,5 m/s

Tableau 8 : Essais de validation du module ECHAUF

L'émissivité du matériau est une donnée délicate à fixer car elle varie de manière disparate avec la longueur d'onde du rayonnement absorbée ou émise. Pourtant ce paramètre est important pour obtenir un flux thermique net satisfaisant. Il peut en fait varier en pratique de 0,1 à 1 (corps noir). La valeur de 0,6 donne des résultats très satisfaisants pour ces deux essais et a donc été choisie comme valeur par défaut.



La comparaison entre la modélisation et les essais permet de constater une bonne corrélation entre prévisions et mesures, la prévision donnée par le modèle étant dans les deux cas légèrement supérieure aux résultats observés.

On rappelle qu'une absence de données de validation ne signifie pas forcément une non pertinence des modèles qui s'appuient sur des lois physiques reconnues.

## 6.4. Références

- [1] J.TAINE & J.P.PETIT, *"Transferts thermiques, mécanique des fluides anisothermes"* - Dunod Université, 1989
- [2] N.MIDOUX *"Mécanique et rhéologie des fluides en génie chimique"*, Editions Lavoisier, 1985
- [3] MARLAIR, DERVEAUX, BERTRAND, INERIS " *Procès verbal de mesures de températures et de flux thermiques sur des joints isolants pour canalisations de gaz* ", , Nov. 1997

## 7. FEUX DE FORETS

### 7.1. Le phénomène physique

Les rayonnements émis par des feux de forêt aux abords des installations de transport ou stockage de gaz naturel sont susceptibles de les impacter.

La propagation des feux de forêt est influencée par :

- la densité et la composition de la végétation,
- le vent, qui apporte l'oxygène et facilite ainsi la combustion,
- le relief,
- l'action de l'homme.

Le rayonnement transporte l'énergie de combustion des végétaux vers les cibles à proximité (Trabaud, 1992 [1]), comme par exemple, d'autres végétaux ou des installations urbaines ou industrielles. Les fumées ayant tendance à s'élever verticalement dans l'atmosphère contribue moins à la propagation du feu. Cette énergie rayonnante se propage en ligne droite à partir de la source de chaleur et décroît fortement avec la distance.

### 7.2. Modélisation : le modèle EFAISTOS

La dynamique d'un feu de forêt est un phénomène complexe qui peut difficilement être décrit par un outil simple. Il existe des modélisations plus précises utilisées par les experts du domaine qui sont elles-mêmes fortement corrélées sur des mesures de terrain. La démarche utilisée a été choisie dans un esprit majorant à partir de relations empiriques reconnues pour estimer, les effets d'un feu de forêt sur les installations industrielles.

L'objectif du modèle EFAISTOS (Effet des Feux de Forêts Autour des Installations de Surface eT des Ouvrages de Transport) est de fournir des ordres de grandeurs et des indications sur les flux reçus par les installations. Le module EFAISTOS repose sur une modélisation physique simplifiée similaire au modèle proposé par Chevrou en 2000 [2]. La puissance du feu est calculée grâce à un tableau regroupant des feux « types » ou par la puissance de feu donnée par l'étude terrain des experts. La hauteur de flamme est calculée par la formule de Trabaud [1], la température de flamme est obtenue via la corrélation de Chandler [3] et le flux émis est obtenu en assimilant la flamme à un corps noir rayonnant suivant la loi classique de Stefan-Boltzmann. Le facteur de forme est calculé en assimilant le front de flamme à un plan incliné rayonnant sur l'ensemble de sa surface et la vitesse de propagation est basée sur la formule de Valabre [4] qui est valable sur sol plat.

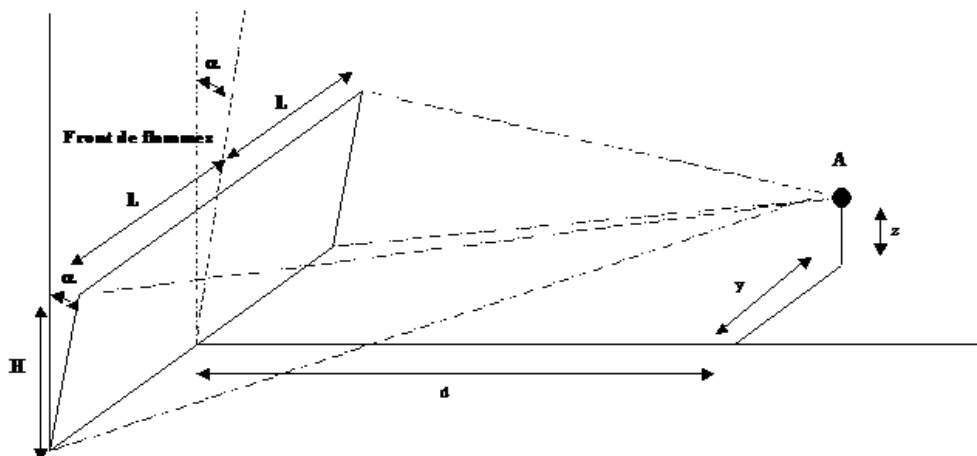


Figure 7 : Calcul du flux reçu par une cible sous l'effet d'un feu de forêt

EFFAISTOS ne prend en compte que l'effet du rayonnement thermique d'un feu de forêt. En réalité, 90% de l'énergie dégagée par un incendie est évacuée sous forme de convection et 10% seulement sous forme de rayonnement thermique. Pour des terrains faiblement pentus et des vents relativement faibles, la colonne de convection est généralement verticale, le rayonnement thermique est alors prépondérant.

### 7.3. Validation

Le module EFFAISTOS n'a pas fait l'objet de validation expérimentale, mais il repose sur des formules issues du retour d'expérience des différents feux de forêt ayant eu lieu par le passé. De plus, des inter-comparaisons entre EFFAISTOS et d'autres méthodes utilisées par le CEREN montrent que le module donne un ordre de grandeur satisfaisant et de plus majorant [4].

### 7.4. Références

- [1] Trabaud L., (1992), Les feux de forêts : mécanismes, comportement et environnement, France-Sélection, Aubervilliers, 278p.
- [2] Chevrou R.B., (2000), « Rayonnement thermique émis par un front de flammes et reçu à distance ; calcul, lutte, danger, Incendies de forêts catastrophes – prévention et protection, Conseil Général du GREF, pp. 117-128.
- [3] Chandler C., Cheney P., Thomas P., Trabaud L., Williams D., (1983), Fire in Forestry, Forest Fire Behaviour and Effects (Vol.1), Willey-Interscience, New York, 411p.
- [4] Dossier de validation d'EFFAISTOS (Module de Rayonnement des feux de forêts), Rapport interne GDF SUEZ, M.DRX.ESC.2002.02J61184.FFRD, 21 novembre 2002.

## 8. INFLAMMATION DE PANACHE INFLAMMABLE

### 8.1. Le phénomène physique

Une "explosion gazeuse" est un événement au cours duquel la combustion d'un mélange air-gaz combustible peut provoquer une augmentation brutale de la pression, si la concentration volumique du gaz dans l'air est comprise entre les limites inférieure et supérieure d'inflammabilité (5 % et 15 % en volume dans l'air pour le gaz naturel) et si une source d'inflammation suffisamment puissante est présente. La surpression générée au niveau de la flamme se propage à la vitesse du son dans le mélange frais mis en mouvement et au-delà dans l'air environnant. Elle décroît en fonction de la distance, du fait de l'atténuation de l'onde de pression lors de sa propagation.

Le phénomène de l'explosion gazeuse est relativement complexe. Le régime de l'explosion et ses effets en milieu extérieur dépendent de nombreux paramètres, en particulier :

- la nature du gaz inflammable, le gaz naturel étant relativement peu réactif,
- la concentration du mélange, la combustion étant parfaite à la stœchiométrie,
- la quantité totale de gaz inflammable, déterminée entre autres par la taille du panache inflammable,
- la nature et l'énergie de la source d'inflammation,
- la position du point d'inflammation,
- la turbulence initiale au sein du mélange inflammable,
- la présence d'obstacles, qui génèrent de la turbulence et ont pour effet d'accélérer la flamme et d'augmenter la force de l'explosion.

### 8.2. Modélisation : le module CIMEX

Le module CIMEX intégré à la plateforme PERSEE, contient une méthode de simulation permettant de calculer l'effet de l'explosion d'un panache de gaz naturel : la méthode multi-énergie.

#### La méthode Multi-Energy

La méthode multi-énergie [2] repose sur l'idée de base que tout le panache inflammable ne participe pas de manière égale à la génération de la surpression : seule la partie du mélange inflammable qui est comprise dans des zones encombrées ou semi-confinées explose réellement, le gaz situé en milieu libre ne faisant que brûler sans générer de surpressions significatives. Dans le cas où le panache inflammable contient plusieurs zones encombrées distantes les unes des autres, il est nécessaire de les considérer séparément et notamment de déterminer un indice d'explosion pour chacune des zones. Les indices d'explosion vont de 1 à 10. A chaque indice correspond une surpression maximale et une vitesse de flamme supposée constante. Le choix de cet indice est réalisé par l'utilisateur et nécessite une évaluation des paramètres influençant la sévérité de l'explosion (listés au paragraphe 8.1) et une comparaison aux bonnes pratiques issues du retour d'expérience expérimental.

Supposons par exemple qu'un panache inflammable comprenne deux régions d'obstacles, la zone entre ces deux régions étant libre (cf. Figure 8). Si l'allumage a lieu dans la région A, une première explosion se produit en A. La vitesse de flamme diminue en se propageant à l'extérieur de A. Dans la région libre, la vitesse devient tellement faible que la génération de pression est négligeable. Quand la flamme atteint la région B, la flamme s'accélère de nouveau du fait de la présence des obstacles et engendre une nouvelle onde de surpression. En se positionnant au point C extérieur aux deux zones, deux ondes de surpression sont observables, provenant respectivement de la première explosion dans la zone A et de la seconde explosion dans la zone B.

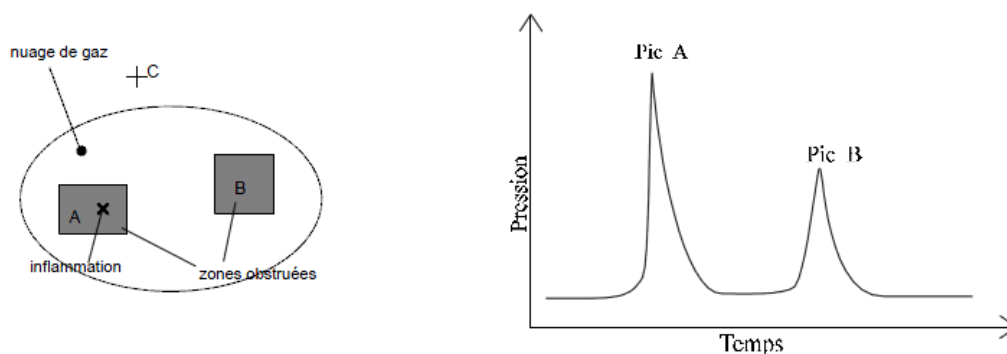


Figure 8 : Application du principe de la méthode multi-énergie dans le cas de deux zones encombrées

De ce fait, chaque zone du panache est caractérisée par une onde de surpression, dont les caractéristiques sont fonction de la "violence" de l'explosion dans cette zone. D'où le qualificatif de "multi-énergie".

### 8.3. Validation

La base de validation du module du module CIMEX s'appuie sur plusieurs séries d'expériences comprenant :

- Des essais sur des panaches de GNL [3] de volume allant de 6400 m<sup>3</sup> à 12800 m<sup>3</sup> en milieu confiné ou semi-confiné avec un faible encombrement,
- La campagne d'essais MERGE [4] qui consiste en l'explosion de jet de gaz inflammable ayant un volume allant de 46 m<sup>3</sup> à 353 m<sup>3</sup> en milieu libre ou semi-confiné avec un encombrement faible ou moyen,
- La campagne d'essais Harrison & Eyre [5] couvrant des essais d'explosion d'un panache de 3500 m<sup>3</sup> en milieu partiellement confiné avec différents niveaux d'encombrement (allant de faible à important),
- La campagne d'essais du CERCHAR [6] qui consiste en des essais d'explosion de mélanges méthane/air dans différentes configurations faiblement confinées et faiblement encombrées.

Les préconisations d'emploi de la méthode multi-energy permettent d'obtenir des estimations de surpressions réalistes et conservatives. La méthode ne permet cependant pas d'être toujours conservatif dans les cas d'explosion très sévère, en particulier si la source d'inflammation est très puissante. En cas d'inflammation de faible énergie d'un panache libre de gaz naturel, les recommandations fournies pour la méthode multi-energy fournissent des estimations de surpressions majorantes, généralement d'un ordre de grandeur. La justesse des résultats obtenus par cette méthode est conditionnée par le choix de l'indice de sévérité de l'explosion.

### 8.4. Références

- [1] Les flammes sphériques : propagation divergente et combustion stationnaire, B. DESHAIES, Thèse de doctorat, Université de Poitiers, 1981.
- [2] The multi-energy method, a framework for vapour cloud explosion blast prediction, A.C. van den BERG, Journal of Hazardous Materials, 12, 1985.
- [3] Experimental investigations into the deflagration of flat, premixed hydrocarbon/air gas clouds, H.PFÖRTNER, H. SCHNEIDER, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1988.
- [4] Modelling and experimental research into gas explosions, W.P.M. MERCX, Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, 1995.
- [5] The effect of obstacle arrays on the combustion of large premixed gas/air clouds, A.J. HARRISON, J.A. EYRE, Combust. Sci. and Tech., vol 52, 1987.
- [6] Explosions de mélanges gazeux en ballons, rapport CERCHAR CEO-JWi/ML"CI" F42e/48, mars 1975.

## 9. SURPRESSION A LA RUPTURE

### 9.1. Le phénomène physique

Les canalisations utilisées dans les installations gazières sont pressurisées à des niveaux pouvant atteindre plusieurs centaines de bars. En cas de rupture de ces canalisations ou d'autres équipements pressurisés, le gaz contenu va être libéré par une détente brutale dans l'atmosphère engendrant une onde de surpression.

Une fois l'énergie pneumatique libérée l'onde de pression va se propager dans l'atmosphère jusqu'à son atténuation. Ce phénomène doit être distingué de la surpression engendrée par l'explosion d'un panache inflammable, l'énergie libérée étant de nature pneumatique alors que dans le cas d'une explosion l'énergie est issue de la combustion du gaz.

### 9.2. Modélisation : le modèle SURPRUPT

L'idée sur laquelle repose le modèle est de calculer l'énergie libérée lors de la détente du gaz puis d'utiliser les données sur les explosifs pour calculer la propagation de l'onde de surpression. Cependant, lors de la détonation d'un explosif tel le TNT, l'énergie est libérée de manière extrêmement rapide, si bien qu'on aboutit quasi instantanément à la formation d'une onde de choc, alors que dans le cas de la rupture d'une canalisation, l'énergie est libérée relativement lentement. On peut donc supposer que seule une fraction de l'énergie totale contenue dans le gaz qui se détend participe à la formation du maximum de surpression. M.R. Baum [1] propose une méthode pour calculer cette fraction.

Pour calculer cette fraction de l'énergie totale, on suppose que celle-ci correspond à la phase où la surface de contact entre le gaz et l'atmosphère est en accélération. Cette phase dure tant qu'il existe une forte différence de pression de part et d'autre des parois de la canalisation. On peut estimer la durée de cette phase à  $4R/a_0$ ,  $R$  étant le rayon de la canalisation et  $a_0$  la vitesse du son dans le gaz avant rupture. Cette expression correspond au temps mis par l'onde de raréfaction qui se crée au point de rupture pour se réfléchir sur la paroi opposée et revenir à son point de départ.

L'énergie recherchée vaut alors :

$$E = \int_0^{\frac{4R}{a_0}} 3\rho(a^*)^3 A dt$$

Avec  $R$  le rayon de la canalisation,  $a_0$  la vitesse du son dans le gaz avant la rupture,  $\rho$  la masse volumique critique du gaz,  $a^*$  la vitesse du son critique du gaz et  $A$  la surface de brèche. En considérant que la surface de la brèche est une fonction linéaire du temps on obtient

$$E = 140,16P_0R^3 \left( -\frac{dP}{dZ} \right) \left[ 1 - \left( \frac{P_{am}}{P^*} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]$$

Avec  $P_0$  la pression du gaz dans la canalisation avant rupture,  $R$  le rayon de la canalisation,  $P_{am}$  la pression atmosphérique,  $P^*$  la pression critique du gaz,  $\gamma$  le rapport des chaleurs spécifiques et  $Z=a_0*t/R$ .

Le terme  $dP/dZ$  est calculé en supposant que la canalisation s'ouvre sous forme d'une charnière

On utilise ensuite les données sur les surpressions créées par une charge de TNT pour en déduire la surpression maximale créée dans le cas de la rupture.

On calcule la distance réduite :

$$\xi = \frac{x}{W^{\frac{1}{3}}}$$

avec x la distance au point centre de la rupture et W la masse de TNT équivalente à l'énergie dégagée par le gaz.

Ce paramètre permet par similitude de calculer les effets de l'explosion d'une charge de taille quelconque connue à partir des données sur une charge de référence à la géométrie semblable. En effet, la surpression ne dépend alors que de ce paramètre.

### 9.3. Validation

Le modèle a été validé en comparant les résultats donnés par le calcul avec des résultats obtenus expérimentalement par des essais de rupture sur une canalisation contenant du gaz naturel sous haute pression [6]. La partie de la canalisation concernée lors de l'essai se trouvait dans un cratère de longueur 20 m, de largeur 10 m et de profondeur maximale 3 m, et n'était donc pas recouverte.

Pour provoquer une rupture précise et contrôlée d'une longueur exacte de 12 m, un système de charges explosives commandées a été utilisé. Le gaz fut enflammé tout de suite après la rupture. Les surpressions enregistrées par les appareils de mesure indiquent deux événements distincts : le premier est la surpression engendrée par l'expansion du gaz sous pression et le second correspond à la surpression générée par l'inflammation du panache de gaz dans l'air. C'est le premier de ces deux événements qui nous intéresse ici. La mise en place du dispositif commença en juillet 1991 et les essais eurent lieu en 1992 au Canada.

Les paramètres pour cet essai étaient les suivants:

Diamètre extérieur	Epaisseur de la paroi	Longueur de la brèche	Pression atmosphérique	Pression initiale du gaz
914 mm	8.8 mm	12 m	992 mBar	59 Bar

Les résultats donnés par le modèle ont alors été comparés avec les mesures :

Distance	15 m	40 m	80 m	150 m	300 m
Résultats expérimentaux	100,9 mBar	27,1 mBar	11,6 mBar	5,7 mBar	3,4 mBar
Résultats calculés	90,5 mBar	27,2 mBar	10,8 mBar	4,8 mBar	2,5 mBar
Erreur relative	-10,3%	+0,3%	-6,8%	-15,7%	-26,4%

### 9.4. Références

- [1] Blast waves generated by the rupture of gas pressurised ductile pipes, M.R. Baum, Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Vol. 57, n°1, Janvier 1979; p.15-23
- [2] Les explosifs occasionnels, Louis Medard, Techniques et Documentation, Lavoisier, 1987, p. 285-288
- [3] Loss Prevention in the Process Industries, Frank P. Lees, Butterworths, London, 1983, Volume 1, p.575
- [4] Explosive Shocks in Air, G.F. Kinney, MacMillan London, 1962
- [5] The Physics of Fluids, M.N. Plooster, 13(11), 2665, 1970
- [6] An experimental Study of the Rupture of a large Natural Gas Pipeline, SRI International, Juillet 1993

## 10. CALCUL DE LA DOSE THERMIQUE

### 10.1. Présentation du module RISQUES

Le module RISQUES intégré à la plate-forme PERSEE permet le calcul de la dose thermique reçue par une personne s'éloignant progressivement d'un feu, ainsi que l'estimation de l'échauffement d'un rail de chemin de fer suite à un accident sur une canalisation.

Le module RISQUES propose à son utilisateur 3 post traitements :

- « Tableau des doses (cas classique) » : éloignement de la personne suivant une trajectoire en ligne droite
- « Tableau des doses (trajectoire non rectiligne) » pour traiter le cas où un obstacle gênerait l'éloignement de la personne (falaises, voie de chemin de fer, autoroute...),
- « Echauffement de rail ».

#### 10.1.1. Calcul de la dose pour une fuite des personnes en trajectoire rectiligne ou non rectiligne

Le calcul de la dose thermique par le module RISQUES nécessite des données issues du module « rayonnement thermique » du logiciel PERSEE. La possibilité est offerte à l'utilisateur de RISQUES d'étudier une trajectoire rectiligne ou non pour le calcul de dose.

La dose thermique permet de prendre en compte que, lors d'un accident, l'observateur n'est généralement pas soumis à un flux thermique constant au cours des premiers instants et lorsqu'il se déplace. Cette dose correspond au cumul dans le temps de la valeur de chaque flux thermique reçu. Cette dose thermique est définie par la formule ci-dessous :<sup>3</sup>

$$dose = \int_t I^{4/3}(d(t), t) dt \quad [kW/m^2]^{4/3}.s$$

I = Flux reçu en kW/m<sup>2</sup>, provenant du calcul du rayonnement thermique

d(t) = Distance en m, à l'instant t, entre la personne exposée et la position de la fuite ou de la brèche

t = Temps en seconde

Pendant une première phase correspondant au temps de réaction de la personne, celle-ci ne bouge pas. Dans un second temps, la personne s'éloigne. La distance qui la sépare de la brèche est fonction du temps. Le flux reçu dépend alors à la fois de la position par rapport à la source et du temps.

d<sub>init</sub> = Distance initiale de la personne à la brèche. C'est cette distance initiale de la personne par rapport à la brèche qui est affichée comme résultat par RISQUES dans le « tableau des doses ».

#### 10.1.2. Calcul de l'échauffement d'un rail soumis à un rayonnement thermique

Un modèle d'échauffement de rail est intégré au module RISQUES. Ce modèle permet d'estimer si l'échauffement du rail est suffisamment important pour provoquer sa déformation et ainsi potentiellement un déraillement du train le parcourant.

Le calcul de l'échauffement d'un rail se traduit par la résolution classique des équations de la thermique. Seuls les effets du rayonnement thermique et de la convection sont pris en compte. Les transferts thermiques par conduction avec le sol sont négligés ainsi que le flux de chaleur provenant d'une auto-inflammation éventuelle des traverses si celles-ci sont en bois.

L'équation de bilan thermique du rail s'écrit par unité de longueur :

<sup>3</sup> L'exposant 4/3 est utilisé pour les brûlures profondes et les effets létaux. Il correspond à un calcul de dose où la distance correspondante à 1% de létalité est étudiée. Néanmoins si la distance au seuil des brûlures du premier degré était souhaitée l'exposant 1,15 semblerait plus adapté (travaux d'Eisenberg) ce qui n'est pas le cas dans le contexte actuelle des études de dangers.



$$\underbrace{\rho AC \frac{dT}{dt}}_{\substack{\text{variation} \\ \text{interne} \\ \text{de l'énergie du rail}}} = \underbrace{l_{\text{eff}} \phi_1}_{\substack{\text{flux reçu} \\ \text{de la flamme}}} - \underbrace{l_{\text{tot}} \varepsilon \sigma (T^4 - T_{\text{ext}}^4)}_{\substack{\text{perte par} \\ \text{rayonnement}}} - \underbrace{hl_{\text{tot}} (T - T_{\text{ext}})}_{\substack{\text{perte par} \\ \text{convection}}} \quad [3.1]$$

- $\rho$  : Masse volumique de l'acier du rail (7844 kg/m<sup>3</sup>)  
 $A$  : Section du rail (59.5 cm<sup>2</sup>)  
 $C$  : Capacité thermique de l'acier (465 J/kg.K)  
 $L_{\text{eff}}$  : Périmètre du rail exposé au rayonnement du jet (17 cm)  
 $\phi_1$  : Flux rayonné par le jet  
 $l_{\text{tot}}$  : Longueur totale du contour du rail (38 cm)  
 $\varepsilon$  : Emissivité du rail (pris comme une fonction linéaire de la température 0.4 à 0°C et 0.8 à 800 °C)  
 $h$  : Coefficient d'échange convectif avec l'air ambiant (56 W/m<sup>2</sup>.K)<sup>4</sup>  
 $\sigma$  : Constante de Stephan-Boltzmann = 5,67.10<sup>-8</sup> W.m<sup>-2</sup>.K<sup>4</sup>

L'intégration numérique de l'équation [3.1] fournie pour une exposition à un flux thermique donne l'évolution de la température du rail au cours du temps (la température initiale du rail étant fixée à 54°C<sup>5</sup>). Le flux reçu par le rail étant fonction de la distance à la brèche à un instant donné, la température atteinte par le rail au bout d'une durée totale fixée par l'utilisateur est ainsi obtenue en fonction de la distance à la source de rayonnement. Enfin un calcul final est effectué pour trouver la distance correspondant aux températures seuils pour le rail. Cette température seuil de déformation du rail est une variable d'expertise (non accessible par un utilisateur standard). Par défaut, elle est fixée à 96°C pour les lignes classiques et de 117°C pour les lignes TGV. [1]

La validation du modèle a été principalement effectuée à partir du retour d'expérience de l'accident de Velaux (1977)[2].

## 10.2. Références

- [1] G. CHATELET, S. AUDEBERT, B. BAUER, M. ZAREA, Effets du rayonnement thermique sur les personnes et les structures, Rapport interne GDF SUEZ, Novembre 1991.
- [2] G. CHATELET, Etude de l'accident de Velaux validation de modèles à partir d'un cas réel, Rapport interne GDF SUEZ, Mai 1992.

<sup>4</sup> Le calcul du coefficient d'échange est tiré de l'ouvrage « Transferts thermiques Mécanique des fluides anisotherme » de J. TAINE et J-P PETIT (Dunod Université).

<sup>5</sup> Seuil retenu par la SNCF pour ses études de tenue des rails soumis à un fort ensoleillement naturel.

## 11. UTILISATION DE PERSEE POUR DES SCENARIOS S'ECARTANT DES DONNEES EXPERIMENTALES

Les modèles utilisés dans le logiciel PERSEE pour quantifier les phénomènes dangereux associés au gaz naturel ont été comparés à des essais expérimentaux proches des configurations réelles d'exploitation. Cet effort de recherche et de validation a nécessité la réalisation de nombreuses campagnes expérimentales à moyenne et grande échelles pour couvrir la gamme des scénarios d'accident considérés dans les études de dangers, de la petite perforation à la rupture franche de canalisation. A l'heure actuelle, ce type de validation n'est pas disponible pour toutes les autres industries amenés à manipuler ou transporter des substances inflammables ou toxiques. En effet, seule une collaboration étroite entre de nombreuses compagnies gazières internationales a permis le montage technique et financier de tels essais.

Pour des raisons économiques et environnementales, il n'est pas possible de réaliser des essais pour chaque configuration exploitée industriellement, compte tenu de la variabilité des pressions d'exploitation, des diamètres de canalisation et des tailles de brèches notamment. La démarche adoptée consiste donc à utiliser des modèles physiques qui permettent d'extrapoler les résultats en dehors des conditions expérimentales testées. Les modèles employés pour des logiciels simples comme PERSEE, ou PHAST par exemple, sont généralement dit « semi-empiriques » puisqu'ils allient à la fois une description simplifiée des phénomènes physiques (ex : équations de conservation de masse, quantité de mouvement, énergie, etc.) et des calages expérimentaux. Selon les modèles employés, le calage expérimental est plus ou moins important et influence sur les résultats. L'approche suivie pour le développement du logiciel PERSEE a généralement été d'adapter des modèles existants, de vérifier leur validation sur les essais à grande échelle et/ou d'en améliorer le calage expérimental. A titre d'exemple, le logiciel PERSEE reprend le modèle de Chamberlain pour modéliser les feux de jet verticaux et adapte son calage, initialement réalisé à petite échelle et pas uniquement avec du gaz naturel, pour qu'il donne de meilleurs résultats avec l'ensemble des tests disponibles en gaz naturel, notamment à plus grande échelle.

Les modèles utilisés dans le logiciel PERSEE s'appuient donc sur des lois physiques reconnues dont certains ont fait l'objet de tierces expertises par DNV GL (terme source, dispersion et feux de jet) ainsi que par l'INERIS (échauffement de canalisation soumis à un flux thermique radiatif). Des comparaisons avec les modèles développés par d'autres institutions ont également été réalisées à la fois sur le plan théorique (vérification que les modélisations s'appuient sur les mêmes principes physiques) et sur les résultats de calculs de scénarios de références. Ces études ont montré que les modèles utilisés dans PERSEE étaient cohérents avec les meilleures pratiques industrielles couramment utilisées dans le monde.

**Ces modèles peuvent ainsi être utilisés pour des configurations qui diffèrent des essais de validation sous réserve que les hypothèses d'application de ces modèles restent en accord avec les mécanismes physiques mis en jeux.** Pour de nouveaux scénarios de rejets ou de nouvelles conditions d'exploitation, des analyses peuvent être réalisées pour définir si les hypothèses des modèles sont toujours applicables. Ces travaux de recherche sont continuellement réalisés par GDF SUEZ pour développer des modèles qui répondent aux nouvelles configurations rencontrées dans l'industrie gazière.

## ANNEXE N° 5 : HYPOTHÈSES POUR LES CALCULS DES EFFETS

Les principales hypothèses retenues pour le calcul des distances d'effets dans les cas standards, en accord avec le l'annexe 9 du guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014, sont les suivantes :

Variables	Gaz Naturel	Unités
Altitude du rejet	Voir ci-dessous	m
Angle du rejet	90	°
Angle vent/axe X	0	°
Durée totale	600	s
Flux minimum d'effet	1,6	kW/m <sup>2</sup>
Humidité relative	70	%
Inclinaison canalisation	0	°
Longueur canalisation	Voir tableau ci dessous	
Position fuite	Milieu du tronçon	m
Pression atmosphérique	1,013	bar
Pression interne initiale	PMS dans le tube au moment de la brèche	bar
Rugosité canalisation	30	µm
Temps de réaction des personnes	3	s
Température air	15	°C
Température interne	15	°C
Vitesse de fuite des personnes	2,5	m/s
Vitesse du vent	5	m/s
Stabilité atmosphérique	Classe de Pasquill D <sup>(#)</sup>	

<sup>(#)</sup> peu d'influence pour les rejets haute pression de gaz légers comme le gaz naturel.

### **Altitude du rejet :**

- Canalisation enterrée : -1 m
- Canalisation en fosse : au cas par cas dans l'étude spécifique
- Canalisation aérienne sur site clos : + 1 m
- Event de soupape : + 2 m
- Traversées aériennes : + 1 m en base

**Longueur canalisation :**

Longueur d'ouvrage	Gamme de Pression		
Gamme de diamètre	≤ 25 bar	40 et 67,7 bar	≥ 80 bar
DN < 125	1 km		1 km
125 ≤ DN < 150			10 km
150 ≤ DN < 300	10 km		20 km
300 ≤ DN < 400			20 km
400 ≤ DN	10 km	20 km	

-ooOoo-

---

## ANNEXE N° 6 : EVALUATION DE LA GRAVITE – DÉCOMPTÉ DES PERSONNES

---

Extrait du guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014, Annexe 7

Le décompte des personnes dans le périmètre des zones d'effets est réalisé selon les règles du guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014 basées sur la fiche n°1 « Éléments pour la détermination de la gravité des accidents » de la partie 1 de la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

### □ Bâtis

En l'absence de données spécifiques, l'effectif total d'un bâti est à prendre en compte et les règles définies ci-dessous sont retenues.

- **Habitation isolée** : pour un logement individuel, le taux moyen d'occupation de l'INSEE est retenu à savoir **2,5 habitants par logement**.
- **Habitat collectif** : pour un immeuble collectif, le nombre de logements est calculé à partir de la surface du toit sur la base d'une superficie moyenne de 90 m<sup>2</sup> par logement et en retenant 2,7 m de hauteur pour un étage, et un **taux d'occupation moyen par appartement de 2,5 personnes**.
- **ERP** (Établissement Recevant du Public) (*bâtiments d'enseignement, de service public, de soins, de loisir, religieux, grands centres commerciaux, etc.*) : la capacité maximum d'accueil (au sens des catégories du code de la construction et de l'habitation) associée à l'établissement est retenue ou à défaut le seuil haut de la catégorie. Pour mémoire :
  - × ERP 1ère catégorie : > 1500 personnes,
  - × ERP 2ème catégorie : de 701 à 1500 personnes,
  - × ERP 3ème catégorie : de 301 à 700 personnes.

Les commerces et ERP de catégorie 5 dont la capacité n'est pas définie peuvent être traités de la façon suivante :

- × 10 personnes par magasin de détail de proximité (boulangerie et autre alimentation, presse, coiffeur)
- × 15 personnes pour les tabacs, cafés, restaurants, supérettes, bureaux de poste.

Le nombre de personnes exposées est comptabilisé et localisé en prenant en compte en base la partie du bâtiment accueillant le public. Toutefois, dans certains cas le public pourra être localisé (tout en ne le comptant pas deux fois) dans les zones extérieures aux bâtiments de l'ERP et à l'intérieur de l'enceinte privée qui sont susceptibles d'accueillir le public lorsqu'il est manifeste que le public peut être présent durablement dans ces zones extérieures (cours d'école,...).

- 
- **ERP de plein air partiellement exposé** : si l'occupation est homogène, le nombre de personnes exposées est calculé au prorata des surfaces réellement exposées de l'ERP. Sinon, le positionnement réel des personnes est pris en compte.
  - **Locaux industriels ou commerciaux** ne recevant pas habituellement de public : effectif à l'adresse.
  - **Locaux "services tertiaires"** : effectif à l'adresse ou à défaut prendre une superficie de 20m<sup>2</sup> par employé, en retenant 2,7 m par étage.
  - **IGH** : les IGH sont des bureaux ou des logements collectifs ou des locaux "services tertiaires" ou des ERP. En l'absence de données spécifiques, on utilise les règles correspondantes à ces catégories décrites ci-dessus.

#### ☐ Voies de circulation

Si des données spécifiques (trafic, capacité de transport, ...) sont connues, une méthode plus précise que les règles générales énoncées ci-dessous peut être utilisée.

- voies de circulation automobile :

n'ont à être prises en considération que si elles sont empruntées par un nombre significatif de personnes qui ne sont pas déjà comptées parmi les personnes exposées dans d'autres catégories d'installations (en tant qu'habitation, commerce, etc.) situées dans la même zone d'effets, les temps de séjours en zone exposée étant généralement très supérieurs aux temps de trajets. Ne sont donc retenus que les axes principaux en comptant 0,4 personne permanente par km exposé de la route dans le cercle des effets par tranche de 100 véhicules/jour.
- voies ferroviaires (trains de voyageurs) :

1 train est équivalent à 100 véhicules (soit 0,4 personne exposée en permanence par km et par train), en comptant le nombre réel de trains circulant quotidiennement sur la voie,
- lignes de tramway :

par analogie, 1 rame est équivalente à 50 véhicules (soit 0,2 personne exposée en permanence par km et par tram), en comptant le nombre réel de trams circulant quotidiennement sur la voie,
- voies navigables :

0,1 personne permanente par km exposé et par bateau/jour.
- chemin de promenade, de randonnée :

2 personnes permanentes par km exposé.

#### ☐ Terrains non bâtis

- Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais...) :

1 personne par tranche de 100 ha.
- Terrains aménagés mais peu fréquentés (jardins et zones horticoles, vignes, zones de pêche, gares de triage...) :

1 personne par tranche de 10 hectares.

- Terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés (parkings, parcs et jardins publics, zones de baignades surveillées, terrains de sport (sans gradin néanmoins...)) :

Capacité du terrain et a minima 10 personnes à l'hectare.

Dans les cas de figures précédents, le nombre de personnes exposées devra en tout état de cause être au moins égal à 1, sauf démonstration de l'impossibilité d'accès ou de l'interdiction d'accès.

- Cas des parkings :
  - × parkings hors grande surface (*magasin de plus de 1000 m<sup>2</sup>*): **10 personnes à l'hectare impacté**,
  - × parkings de grande surface : 60 personnes à l'hectare impacté.

Cette densité est estimée à partir de la norme NF P91.100 de Mai 1994 "Parcs de stationnement accessibles au public - Règles d'aptitude à la fonction - Conception et dimensionnement" qui implique que l'on peut placer jusqu'à 566 véhicules par hectare et en considérant que les passagers d'un véhicule sur 15 sont présents sur le parking et qu'ils représentent en moyenne 1,5 personnes, d'où une densité résultante de 56,6 arrondie à 60 personnes à l'hectare,

- × si un bâtiment et le parking qui lui est affecté sont présents dans la bande d'effet, seul le bâtiment est pris en compte,
- × si une partie seulement de la capacité du bâtiment est prise en compte, le parking est pris en compte,
- × si le bâtiment ou le parking est présent dans la bande d'effet, seul celui présent dans la bande est pris en compte,
- × en l'absence d'affectation d'un parking à un bâtiment, le bâtiment et le parking sont pris en compte.

#### Sites avec occupation temporaire

Pour des locaux présentant une occupation temporaire manifeste (en dehors d'heures ouvrées), il peut être retenu un temps d'occupation réduit (exemples : lieux de culte, salles de spectacles, spectacles sous chapiteaux, festivals en plein air, terrains de sport, ...).

Dans le cas d'occupation très hétérogène de locaux dans le même cercle des effets, les situations d'occupations simultanées sont identifiées ainsi que les temps d'occupation si besoin.

La prise en compte d'un temps d'occupation inférieur à 100 % ne peut pas se cumuler avec la prise en compte d'un comptage intégrant déjà un calcul moyen de présence.

#### Sites industriels du transporteur et autres sites ICPE

Le site industriel du transporteur ou le site ICPE ("site" dans la suite de ce paragraphe) peut :

- être situé à proximité d'une canalisation de transport (concerné par ses effets),
- être desservi par une canalisation ou une canalisation peut en être issue,
- être relié à d'autres ICPE par une ou plusieurs canalisations.

En base, l'effectif du site exposé au risque de la canalisation est compté, pour déterminer la gravité des scénarios, en retenant l'effectif à l'adresse indiquée. Si les informations relatives à la présence

simultanée ou non de l'ensemble des personnes et à leur positionnement vis-à-vis des zones d'effets sont disponibles, le nombre de personnes exposées peut être réduit en conséquence.

**Si le site et la canalisation ont le même Exploitant, l'effectif du site n'est pas pris en compte.**

Enfin, l'effectif du site n'est pas non plus pris en compte si les conditions suivantes sont remplies :

- l'Exploitant X de la canalisation et l'exploitant Y du site disposent d'un PSI/POI ou le site de Y est inclus dans le PSI élaboré par X,
- le POI et le PSI sont rendus cohérents notamment :
  - a. par l'existence dans le POI de Y de la description des mesures à prendre en cas d'accident chez X,
  - b. par l'existence d'un dispositif d'alerte / de communication permettant de déclencher rapidement l'alerte chez Y en cas d'activation du PSI chez X,
  - c. par une information mutuelle lors de la modification d'un des deux PSI/POI,
  - d. le cas échéant, en précisant lequel des chefs d'établissement prend la direction des secours avant le déclenchement éventuel du PPI,
  - e. par une communication par X auprès de Y sur les retours d'expérience susceptibles d'avoir un impact chez Y,
  - f. par une rencontre régulière des deux chefs d'établissements ou de leurs représentants chargés des plans d'urgence,
- un exercice commun POI/PSI est organisé régulièrement.

Nota : cette exclusion de certains personnels pour l'analyse de risque ne s'applique pas au calcul de la catégorie d'emplacement.

**☐ Cas des ERP sensibles, tribune de stade ou de prison :**

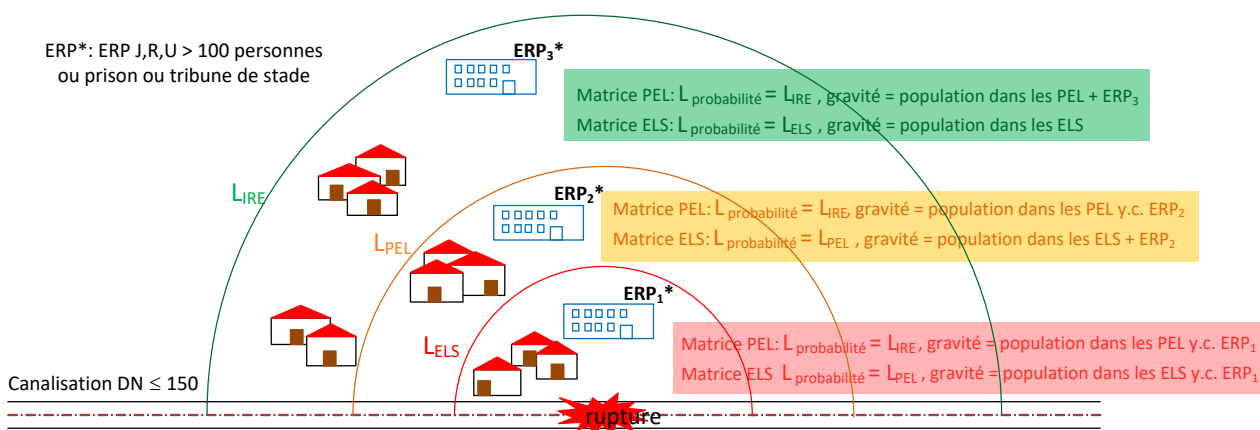
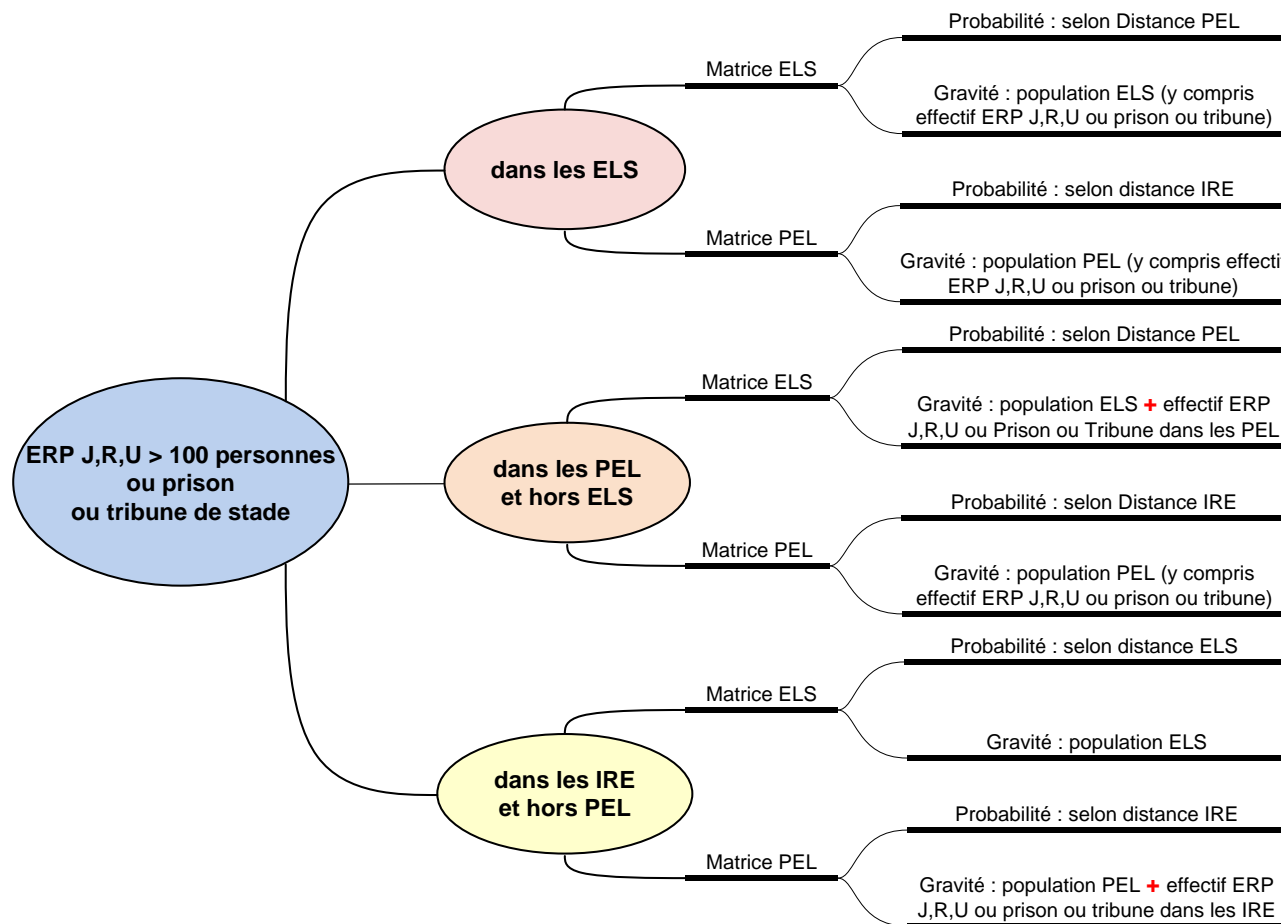
Conformément au guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014 (annexe 9, § 2.1), les distances d'effets des phénomènes dangereux sont calculées en prenant en compte l'éloignement des personnes. Cette hypothèse conduit à examiner de manière plus attentive les situations dans lesquelles il existe des enjeux humains significatifs à proximité de la canalisation et des raisons de douter de la capacité des personnes à s'éloigner. C'est le cas notamment pour les établissements réputés recevoir des personnes à mobilité réduite ou nulle. Ainsi, les ERP de type **J** (*structures d'accueil pour personnes âgées et personnes handicapées, ce qui inclut les maisons de retraite*), **R** (*établissements d'éveil, d'enseignement, de formation, centres de vacances, centres de loisirs sans hébergement, ce qui inclut les crèches, pour autant que le public visé soit très jeune ou handicapé*) et **U** (*établissements sanitaires, ce qui inclut les hôpitaux*), et les tribunes de stade ou les prisons font l'objet d'une analyse particulière.

Celle-ci porte sur une bande supplémentaire, plus large que la bande définie par les distances calculées au Chapitre 5 § 2.1.1. Cette bande supplémentaire est majorée par la distance calculée sans éloignement des personnes. Pour le gaz naturel, elle est définie comme la zone des effets irréversibles, calculée avec hypothèse d'éloignement, associée à la rupture des canalisations de gaz naturel pour les canalisations jusqu'au DN150 inclus (au-delà de ce diamètre, les écarts entre les distances



calculées avec et sans éloignement des personnes sont suffisamment faibles pour ne plus justifier une analyse spécifique).

L'approche est explicitée dans le schéma et la figure suivants :



**Prise en compte des ERP JRU, prison ou tribune de stade à proximité des canalisations de DN ≤150**

-ooOoo-



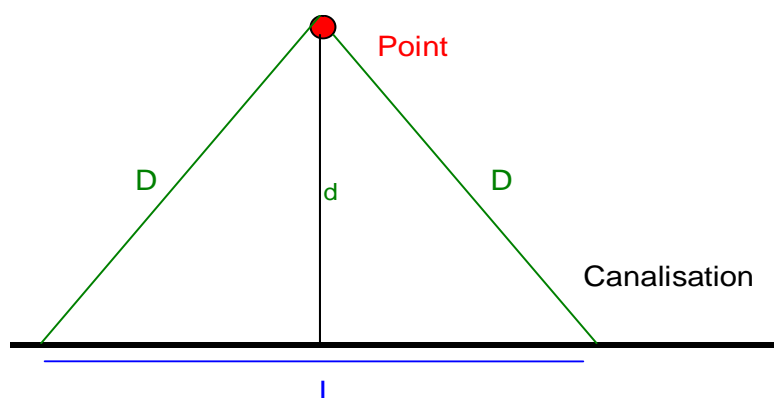
## ANNEXE N° 7 : DÉTERMINATION DE LA PROBABILITÉ D'ATTEINTE D'UN POINT DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CANALISATION

### □ Cas général

Extrait du guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014, paragraphe 4.2.5

Le calcul de la probabilité d'atteinte d'un point pour un segment donné de canalisation s'appuie sur la distance d'effets (D) des premiers effets létaux ou des effets létaux significatifs suivant le cas. Cette probabilité est définie comme étant la probabilité d'avoir des effets supérieurs ou égaux aux effets considérés (premiers effets létaux, effets létaux significatifs). Elle est indépendante de la longueur du segment considéré.

Le schéma général permettant de définir la probabilité d'atteinte d'un point est le suivant :



La longueur L de canalisation à prendre en compte pour le calcul de la probabilité est donc :

$$L=2(D^2-d^2)^{1/2}, d \text{ étant la distance entre la canalisation et le point considéré.}$$

En première approche, le calcul peut être fait en considérant le point situé sur la canalisation (d=0), et donc avec la longueur L égale à 2 x D.

Pour tenir compte, à la fois des données issues des statistiques de fuites et de la situation propre de la canalisation concernée, le calcul de la probabilité pour un point identifié, un scénario de fuite retenu (rupture totale, brèche importante, brèche limitée) et un effet considéré, est alors :

$$P_{(\text{atteinte point})} = F(\text{fuite}/(\text{km.an})) \times \text{Prob}_{(\text{inflammation})} \times L_{(\text{effet considéré})} \times (\sum(\text{EMC}_i \times P_{(\text{facteur de risque})_i} \times C_i)) \times P_{(\text{présence})}$$

avec :

$P_{(\text{atteinte point})}$  : s'exprime en  $\text{an}^{-1}$ , c'est la probabilité d'atteinte du point pour une plage de létalité donnée.

$F_{(\text{fuite}/(\text{km.an}))}$  : fréquence générique de base d'un scénario de fuite exprimée en  $(\text{km.an})^{-1}$

**Prob**<sub>(inflammation)</sub> : probabilité d'inflammation dans le cas où la distance d'effets est calculée à partir d'un phénomène nécessitant inflammation (flux thermique ou explosion). Dans les autres cas, ce terme est égal à 1.

**L**<sub>(effet considéré)</sub> : longueur du tronçon homogène de la canalisation concernée sur lequel une fuite peut atteindre le point de l'environnement avec un effet au moins égal à l'effet considéré. Elle s'exprime en km en fonction de la distance D de l'effet considéré. Ainsi :

**L**<sub>ELS</sub> = longueur du tronçon homogène de canalisation sur lequel une fuite peut atteindre le point à un taux au moins égal aux effets létaux significatifs. Elle s'exprime en km en fonction de la distance des ELS avec un maximum égal à 2 fois la distance des ELS.

**L**<sub>PEL</sub> = longueur du tronçon homogène de canalisation sur lequel une fuite peut atteindre le point à un taux au moins égal aux premiers effets létaux. Elle s'exprime en km en fonction de la distance des PEL avec un maximum égal à 2 fois la distance des PEL.

**E**<sub>MCi</sub> : efficacité des mesures mises en place vis à vis du facteur de risque "i" à l'origine du calcul de la distance d'effets. Elle varie de 0 à 1, la valeur 1 correspondant à l'absence de mesures spécifiques de réduction du risque. Elle peut être le produit de plusieurs EMC traitant le même facteur de risque dans la mesure où les MC peuvent se combiner. L'annexe 8 donne des valeurs sur l'efficacité des mesures identifiées. **E**<sub>MCi</sub> est le produit de tous les **E**<sub>MC</sub> s'appliquant à un facteur de risque.

**P**<sub>(facteur de risque)i</sub> : nombre entre 0 et 1 représentatif d'un facteur de risque "i" donné lié à un type de brèche (exemple le facteur de risque "travaux de tiers" est à l'origine d'environ 75 % des ruptures pour l'EGIG et 80% pour GRTgaz - TIGF).

**C**<sub>i</sub> : facteur correctif égal à 1 sauf pour le facteur de risque "travaux de tiers" pour lequel il tient compte de la configuration particulière de la canalisation, et est égal au produit d'un **C**<sub>env</sub> lié à l'environnement et d'un **C**<sub>prof</sub> lié à la profondeur d'enfouissement tels que définis à l'annexe 8.

**P**<sub>(présence)</sub> : nombre entre 0 et 1 représentatif du taux d'occupation. Ce paramètre tient compte de l'occupation des locaux.

Notes :

- Lorsque plusieurs facteurs de risque concourent à un scénario de fuite, le calcul doit être fait pour chaque facteur de risque puis cumulé. Cette approche permet d'intégrer, dans le calcul, l'efficacité des mesures compensatoires qui agissent par nature sur un ou plusieurs facteurs de risque identifiés.
- Le facteur de risque mouvement de terrain ne peut pas être pris en compte de manière probabiliste.

#### Cas des canalisations de DN ≤ 150

**Dans le cas où le DN de la canalisation étudiée est inférieur ou égale à 150**, le scénario de brèche moyenne est assimilé à la rupture complète de la canalisation. En effet, il est physiquement impossible de maintenir une brèche moyenne de 70 mm sur une canalisation de DN inférieur 150.

Dans ce cas, afin de calculer la probabilité d'atteinte du tronçon étudié, GRTgaz :

- agrège les fréquences de brèche moyenne avec celle de la rupture (cf. Chapitre 5 - § 3.2.1),

- retient les valeurs les plus pénalisantes entre la BM et la rupture, à savoir pour :
  - × la probabilité d'inflammation, celle de la rupture (cf. Chapitre 5 - § 3.2.2),
  - × le facteur travaux tiers, celui de la brèche moyenne,
  - × les distances d'effets, celles de la rupture.

Une autre méthode, consistant à considérer séparément les deux scénarios Rupture et Brèche Moyenne puis à sommer les probabilités d'atteinte, répond à la « bonne » utilisation du facteur de risque travaux tiers mais conduit au final à des probabilités plus faibles (cf. tableau ci-dessous) que dans la méthode précédente. GRTgaz a fait le choix ne pas retenir ce mode de calcul qui, tout en étant moins conservatoire, présente l'inconvénient d'effectuer un calcul de probabilité d'atteinte par le scénario de Brèche moyenne, scénario qui n'est pas physiquement possible pour ce DN.

L'exemple présenté ci-après pour une canalisation de DN80 à la PMS de 67,7 bar, démontre que l'approche retenue est conservative par rapport à la sommation directe des probabilités d'atteinte de deux scénarios BM et RF. Le calcul est présenté pour la matrice ELS, pour la matrice PEL seule la distance d'effets change.

Probabilité d'atteinte Matrice ELS		Brèche moyenne	Rupture	P <sub>BM</sub> + P <sub>RU</sub> Approche GRTgaz	P <sub>BM</sub> + P <sub>RU</sub> Autre approche non retenue par GRTgaz
Fréquence (km.an)		4,56.10 <sup>-4</sup>	1,65.10 <sup>-4</sup>	6,21.10 <sup>-4</sup>	
Probabilité Inflammation		0,02	0,1	0,1	
Facteur de risque travaux tiers		1	0,8	1	
Cenv	(urbain)	0,8	0,8	0,8	
	(rural)	3	3	3	
Cprof		0,66	0,66	0,66	
Deffet ELS (km)		0,026 <sup>(#)</sup>	0,01	0,01	
		0,01 <sup>(##)</sup>			
EMC		0,6	0,6	0,6	
Probabilité d'atteinte P (rural) (/an)		7,51.10 <sup>-8</sup> (#)	4,18.10 <sup>-8</sup>	1,97.10 <sup>-7</sup>	7,51.10 <sup>-8</sup> + 4,18.10 <sup>-8</sup> = 1,17.10 <sup>-7</sup> (#)
		2,82.10 <sup>-8</sup> (##)			2,82.10 <sup>-8</sup> + 4,18.10 <sup>-8</sup> = 7,07.10 <sup>-8</sup> (##)
Probabilité d'atteinte P (urbain) (/an)		2,89.10 <sup>-7</sup> (#)	1,57.10 <sup>-7</sup>	7,38.10 <sup>-7</sup>	2,89.10 <sup>-7</sup> + 1,57.10 <sup>-7</sup> = 4,39.10 <sup>-7</sup> (#)
		1,08.10 <sup>-7</sup> (##)			1,08.10 <sup>-7</sup> + 1,57.10 <sup>-7</sup> = 2,65.10 <sup>-7</sup> (##)

(\*) Distance d'effets disponible pour le DN immédiatement supérieur (DN150 dans le cas présent) : 13 m pour les ELS et 25m pour les PEL

(\*\*) Distance d'effets du scénario de rupture

-ooOoo-



---

## ANNEXE N° 8 : CRITERES DE DÉFINITION DES TRONÇONS HOMOGÈNES

---

Conformément à la méthodologie proposée dans le guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014, les calculs sont effectués en chaque point de l'ouvrage, les points étant ensuite regroupés suivant leurs caractéristiques de sécurité, en « **tronçons homogènes** ». Ceux-ci permettent de prendre en compte aussi bien les spécificités de l'ouvrage que celles de son environnement.

En base, les critères retenus sont les suivants :

- DN et PMS identiques,
- critères d'implantation de l'ouvrage (article 6),
- plage de gravité de tous les phénomènes dangereux pour les ELS/PEL,
- plage de probabilité de tous les phénomènes dangereux pour les ELS/PEL,
- position dans la matrice de risque du scénario de rupture pour ELS/PEL,
- position dans la matrice de risque du scénario de brèche moyenne pour ELS/PEL,
- position dans la matrice de risque du scénario de petite brèche pour ELS/PEL,
- coefficient d'environnement,
- présence d'ERP sensibles (J,R, U et tribunes de stade) dans les IRE pour les DN  $\leq 150$  ;

La modification d'un seul de ces critères conduit à la définition d'un nouveau tronçon.

A chaque tronçon homogène est ensuite attribué un **nom** du type SEF-XXX-XXX-INSEE-numéro[-i], avec :

- SEF-XXX-XXX : nom du segment fonctionnel dans le SIG GRTgaz. Un segment fonctionnel SEF est une portion de canalisation située entre deux points susceptibles d'avoir une action sur le flux du gaz. Il relève d'une description fonctionnelle du réseau. Pour le réseau en service en gaz, les points extrémités sont matérialisés par :
  - × les brides,
  - × les robinets,
  - × les éléments de piquage,
  - × les fonds bombés,
  - × les plaques pleines.
- INSEE : code INSEE de la commune traversée,
- numéro : numéro d'ordre du segment homogène dans la commune,
- « i » : optionnel, uniquement quand le segment ne se trouve pas sur la commune du calcul, mais impacte la commune étudiée.

Cette codification permet de garantir l'identification unique des tronçons homogènes reportés dans les tableaux des fiches communales.

Ensuite les points particuliers - présence de TA (traversées aériennes) ou TSF (traversées sous fluviales) - nécessitant une analyse spécifique sont examinés.

-ooOoo-





## ANNEXE N° 9 : TABLEAU DE FACTEURS DE RÉDUCTION OU D'AGGRAVATION DES RISQUES

Extrait du guide GESIP 2008/01 – Edition Janvier 2014. *Les évolutions du guide GESIP entre la version 2008 et 2012 sont mentionnées en bleu dans les tableaux suivants.*

Le transporteur doit s'assurer du maintien dans le temps de l'efficacité des mesures mises en place (introduction dans le plan de maintenance le cas échéant).

### Facteur correctif (C)

Ces facteurs correctifs permettent de tenir compte de la configuration particulière de la canalisation et de son environnement. Chaque facteur correctif est supérieur ou inférieur à 1 en fonction du caractère aggravant ou améliorant de la situation rencontrée. Ils peuvent être combinés.

Emplacement de la canalisation	C <sub>env</sub>	Source
Zone rurale ( <i>non urbanisée</i> ) définie par la densité de population (< 8 pers./ha) dans la zone de maîtrise des travaux à proximité des ouvrages, soit 50 m de part et d'autre de la canalisation	0,8	Rapport Inéris <sup>(1)</sup>
Zone suburbaine ou urbaine définie comme n'étant pas rurale ( <i>voir ci-dessus</i> )	3	Rapport Inéris <sup>(1)</sup>
Parking standard ( <i>espace non clos sur une commune sans exploitant identifié</i> ) espace matérialisé et délimité situé dans une zone suburbaine ou urbaine	1	Dire d'expert
Parking géré ( <i>espace clos géré par un exploitant identifié</i> ) en intégrant l'information de l'exploitant local identifié	0,1	Dire d'expert
Parcelle lotie et close habitat existant et mesure intégrant l'information du propriétaire et de l'éventuel locataire	0,05	Dire d'expert facteur meilleur que celui du rural
Profondeur d'enfouissement	C <sub>prof</sub>	Source
Prise en compte, le cas échéant, de la hauteur réelle de couverture de la canalisation	2 à 0,01 voir ci-dessous	Littérature et dire d'expert

<sup>(1)</sup> DRA 15 - Opération B - Mesures compensatoires pour contrôler les accidents dus aux agressions par travaux tiers du 21 février 2005.

A partir des informations issues de la littérature (reprises dans le rapport DRA 15 précité), les facteurs correctifs suivants pourront être retenus en fonction de la profondeur d'enfouissement :

---

Profondeur d'enfouissement (m)	Facteur correctif
0,6	x 2
0,8	1
1	1/1,5
1,2	1/3
1,4	1/5
1,6	1/8
1,8	1/12
2	1/16
> 3	1/100

#### □ Efficacité des mesures mises en place (EMC)

L'efficacité des mesures mises en place s'exprime à travers un facteur de réduction du risque à l'origine du calcul de la distance d'effets. Elle varie de 0 à 1, la valeur 1 correspondant à l'absence de réduction du risque.

Nota 1 : la réduction de la pression maximale en service peut être utilisée comme une mesure compensatoire, mais elle se traduit par le calcul de nouvelles distances d'effets et donc une nouvelle évaluation.

Nota 2 : pour un même facteur de risques, les règles d'association des mesures compensatoires, et donc de multiplication des coefficients  $E_{MC}$ , sont les suivantes :

- chaque groupe de mesures est indépendant des autres,
- les coefficients des mesures appartenant à des groupes différents peuvent être multipliés sans compter deux fois la mesure ex : dalle avec grillage et grillage, parcelle lotie et close et bande de servitude grillagée.

Nota 3 : les guides GESIP 2008/02 "dispositions compensatoires", 2006/05 "profondeur d'enfouissement" et 2007/04 "surveillance et réparations" précisent le contenu des mesures compensatoires citées ci-après.

N°	Mesures compensatoires vis-à-vis des travaux tiers	E <sub>MC</sub>	Sources	1	2	3	4	5	6	7	8
tt1	Épaisseur tube supérieure supérieur à l'épaisseur "travaux de tiers" (11 à 15 mm)	0,01	Etudes GDF Suez		x	x	x	x	x	x	x
tt2	Bande de servitude grillagée avec indication de la canalisation	0,01	Dire d'expert	x		x		x	x		
tt3	Protection mécanique de la canalisation par :			x	x		x		x	x	x
	Dalle béton armée ou fibrée avec grillage avertisseur ou signalétique intégrée	0,01	HSE 372/2001								
	dalle béton non armée/fibrée mais avec grillage avertisseur	0,05	HSE 372/2001								
	dalle béton armée/fibrée mais sans grillage avertisseur	0,05	HSE 372/2001								
	dalle béton non armée/fibrée et sans grillage avertisseur	0,2	HSE 372/2001								
	plaque acier avec grillage avertisseur	0,01	Dire d'expert								
	plaque acier sans grillage avertisseur	0,02	Dire d'expert								
	plaque PE d'épaisseur supérieure à 12 mm avec grillage avertisseur ou signalétique intégrée	0,01	Etude GDF Suez								
	demi-coquille armée/fibrée et avec grillage avertisseur	0,01	Dire d'expert								
	demi-coquille armée/fibrée mais sans grillage avertisseur	0,05	Dire d'expert								
	demi-coquille non armée/fibrée et sans grillage avertisseur	0,2	Dire d'expert								
gaine ou enrobage béton	0,01	Dire d'expert									
grillage continu à haute résistance mécanique signalétique intégrée	0,05	Dire d'expert									
tt4	Marquage renforcé (bornes, balises, plaques au sol, ...)	0,3	Dire d'expert	x		x		x	x	x	
	Marquage continu au sol seul	0,05	Dire d'expert								
tt5	Marquage par dispositif avertisseur enterré seul (grillage)	0,6	HSE 372/2001	x	x		x		x	x	x
tt6	Surveillance renforcée (nb : nombre de passages mensuels pour détection des chantiers non déclarés)	1/nb	Dire d'expert	x	x	x	x	x		x	x
	Surveillance permanente (caméra, ...)	0,01	Dire d'expert								
tt7	Informations/sensibilisation :		Dire d'expert	x		x	x	x	x		x
	- des propriétaires ou exploitants en domaine privé,	0,3									
	- DDT, collectivités locales en domaine public	0,5									
	- entreprises de BTP	0,8									
tt8	Merlon de terre (en fonction de la hauteur de couverture résultante – voir tableau définissant C <sub>prof</sub> ) Son entretien régulier doit être intégré dans le programme de surveillance et de maintenance.	jusqu'à 0,01	Littérature et dire d'expert	x		x		x	x	x	

La combinaison de plusieurs mesures ne peut conduire à un facteur global de réduction du risque meilleur que 0,001.

N°	Mesures compensatoires vis-à-vis de la corrosion externe	E <sub>MC</sub>	Sources
C1	Programme de contrôle de la qualité de la PC (référence norme EN 12954 - mesures périodiques, analyses détaillées annuelle et triennale, ...)	0,2	Dire d'expert
C2	Télesurveillance de la protection cathodique (postes de soutirage et de drainage) ou surveillance a minima hebdomadaire	0,5	Dire d'expert

C3	Inspection par campagne de mesures électriques de surface (MES) et fouilles associées - fréquence selon le -guide GESIP 2007/04 "surveillance, maintenance et réparations"	0,1	Dire d'expert
----	--	-----	---------------

N°	Mesures compensatoires vis-à-vis de la corrosion interne et externe	E <sub>MC</sub>	Sources
C5	Inspection par racleurs instrumentés de type "perte de métal" et fouilles de validation associées - fréquence selon le guide GESIP 2007/04 "surveillance, maintenance et réparations" traitant à la fois la corrosion interne et externe (un passage systématique tous les 10 ans avec réparations associées permet de retenir 0,01)	0,01 min	Dire d'expert

N°	Mesures compensatoires vis-à-vis du facteur de risque "construction, défaut matériau"	E <sub>MC</sub>	Sources
cm1	<b>Fabrication des tubes (chacune de ces mesures est valorisée avec l'E<sub>MC</sub> indiquée) :</b> - qualification des fournisseurs avec contrôle de l'appareil de production - utilisation de tubes sans soudure (justification à apporter) - cahier des charges plus sévère que les normes de fabrication, et mise à jour du retour d'expérience et de l'évolution de la technique (nécessité de produire les documents justificatifs)	0,5 0,1 0,5	Dire d'expert
cm2	<b>Construction :</b> contrôle non destructif à 100 % des soudures par procédé autre que visuel avec contrôle du revêtement des joints de chantier	0,1	Dire d'expert
cm3	<b>Détection et suivi de défauts potentiels :</b> - point zéro avec racleur instrumenté ou MES plus excavations après la pose - contrôle en exploitation : <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ fouilles ciblées pour le contrôle externe des tubes</li> <li>♦ passage de piston instrumenté (idem C5)</li> </ul>	0,1 0,1 0,01 min	Dire d'expert

-ooOoo-

## ANNEXE N° 10 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN POSTE DE LIVRAISON

Compte tenu de la multiplicité de configurations des postes de livraison tant DP que client industriel, le principe de fonctionnement est explicité pour un seul type de poste à savoir un poste simple ligne avec montage monitor et bipasse (cf. figure n° 10.1).

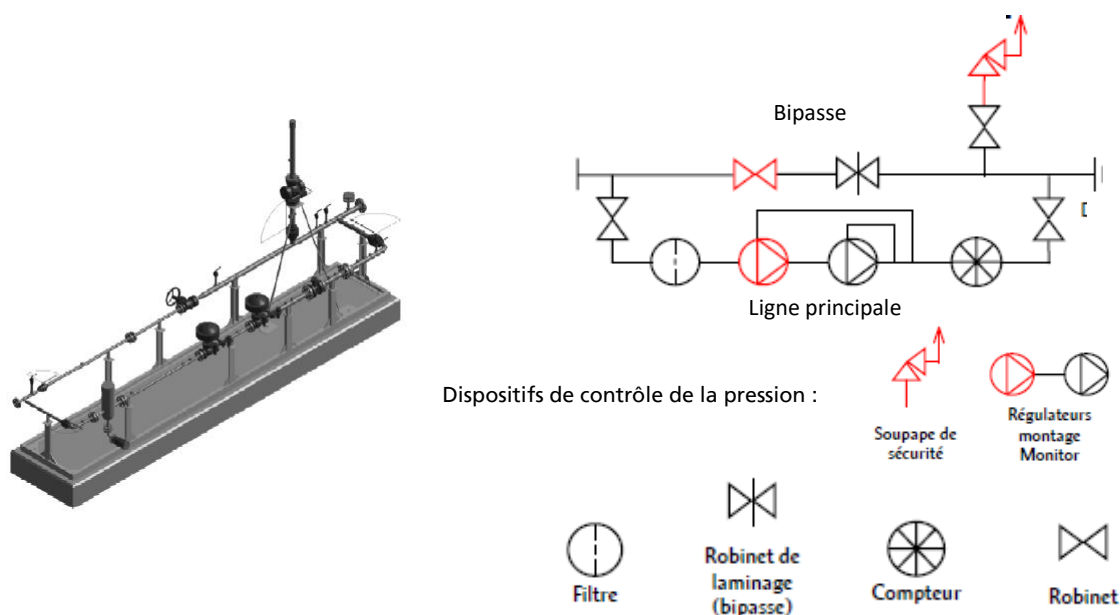


Figure n° 10.1 : Schéma de principe d'un type poste de livraison

### ❑ Fonctionnalité du poste de livraison

Globalement, chaque poste permet de fournir du gaz pour des débits variant entre 5 et 100 % du débit maximal.

La pression relative de livraison est généralement maintenue avec une précision de 2,5 %, dans la plage de 10 à 100 % du débit maximal. En deçà, la précision est dégradée.

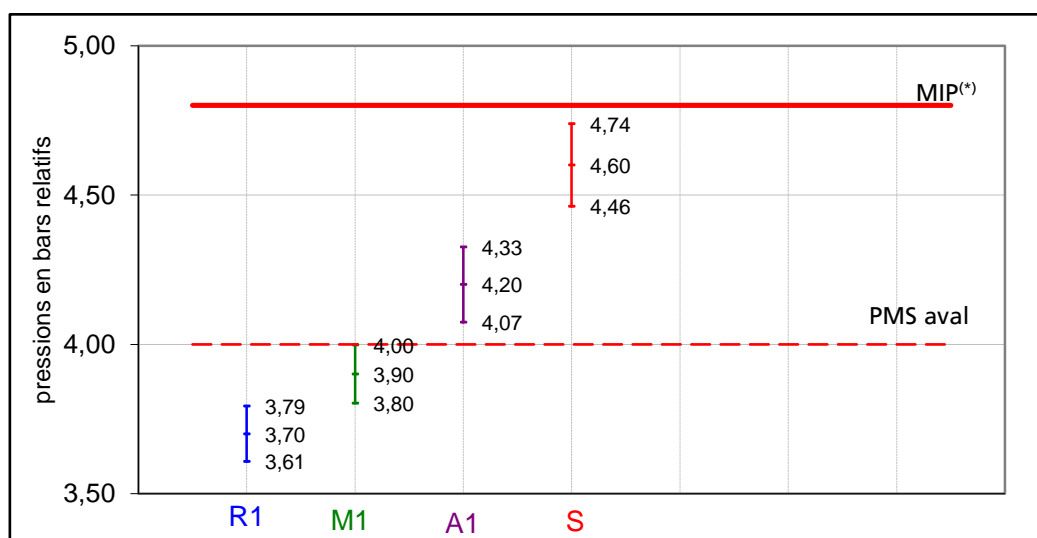
### ❑ Protection du réseau aval

Tous les postes conçus selon la norme NF EN 12186 ont un niveau de sécurité conforme à la réglementation en vigueur, à savoir qu'ils sont équipés de 2 dispositifs de sécurité en série dès que la différence de pression est supérieure à 16 bar.

- Le premier niveau de sécurité est en général réalisé via un montage Monitor. Il s'agit de deux régulateurs montés en série dont l'un est destiné à la régulation de pression proprement dite. L'autre, situé à l'amont, prend le relais en cas de dysfonctionnement du premier. Il constitue un organe de sécurité tout en permettant de poursuivre l'alimentation en gaz à une pression légèrement supérieure (cf. figure n° 10.2).
- La seconde sécurité est garantie soit par un dispositif de coupure type vanne de sécurité, soit par une soupape (cf. figure n° 10.1).

### □ Bypass

Lorsque le réseau aval n'est pas maillé, le poste est équipé d'un bypass (cf. figure n° 10.1) qui permet à l'exploitant d'une part de réaliser des opérations de maintenance sans coupure d'alimentation du réseau aval et d'autre part d'assurer la (re)mise en service.



		Précision
<b>R1</b>	Régulateur ligne 1	2,5%
<b>M1</b>	Régulateur moniteur ligne 1	2,5%
<b>A1</b>	Accélérateur de fermeture du Moniteur 1	3,0%
<b>S</b>	Soupape de sûreté plein débit	3,0%

Figure n° 10.2 : Exemple de réglage pour un poste dont la PMS amont est de 67,7 bar, la PMS aval de 4 bar et la pression de livraison de 3,7 bar.

-ooOoo-