



# **Considérations des accidents majeurs pour l'enfouissement d'un gazoduc à haute pression selon un système de conduite à double enveloppe et/ou avec différentes profondeurs de recouvrements**

(Octobre 2016)

## **1 Introduction**

### **1.1 Situation de départ**

La démographie croissante autour des installations de gaz naturel à haute pression a entraîné, au cours des dernières années, davantage de conflits d'intérêts et une augmentation des risques dans les installations existantes. Une groupe de travail, se composant de représentants de l'industrie gazière suisse (Swissgas), de l'Inspection fédérale des pipelines (IFP), de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), des cantons de Zurich et Genève, et de suisseplan Ingenieure, a entrepris des recherches de mesures pour réduire les risques résultant des gazoducs à haute pression dans des zones avec une densité de population élevée.

Le rapport a été mis en consultation auprès des services cantonaux. L'écho fut positif et les demandes de modification ont été prises en compte.

### **1.2 Descriptions des mesures de réduction du risque**

Comme mesures possibles de réduction du risque (risque pour la population) pour des gazoducs à haute pression, le système de conduite à double enveloppe (tube d'acier placé dans un tube d'acier) et/ou l'augmentation de la profondeur d'enfouissement sont décrits dans le présent document.

Ces deux mesures sont indépendantes l'une de l'autre et techniquement intègre, validées à l'international depuis de nombreuses années et correspondent à l'état de la technique de construction des pipelines. Des systèmes de parois ou de conduites à double enveloppe sont déjà employés entre autres pour les camions citernes, les bateaux pétroliers, les oléoducs, les industries chimiques, etc.

Dans la solution de conduite à double enveloppe, le gazoduc haute pression (la conduite de transport) sera disposé à l'intérieur d'un tube extérieur (tube enveloppe) et enfoui dans le sous-sol. Ce faisant les deux tubes d'acier doivent remplir les exigences relatives aux gazoducs à haute pression selon les directives de l'IFP (tube enveloppe fermé aux extrémités et résistant à

la pression maximale de service admise techniquement (maximal operation pressure (MOP)), test de pression et d'étanchéité des deux tubes en acier avec 90% de la limite élastique minimale garantie pour l'acier utilisé, contrôle non destructif des soudures, garantie de la fonction de la protection cathodique du tube enveloppe).

L'espace entre les deux tube sera rempli de gaz inerte, afin que la protection anticorrosion soit garantie pour la conduite de transport. Le gaz inerte doit présenter une surpression (5-20 bar par exemple) et un contrôle de pression de l'espace entre les parois doit être possible.

### **1.3 Considérations des accidents majeurs en complément du rapport cadre**

Le rapport cadre pour les analyses de risque standardisées [1] ne définit pas, jusqu'à présent, ce système de conduite à double enveloppe comme une mesure applicable. Le rapport cadre 2010 ne contient également aucune information sur les conduites avec un recouvrement supérieur à 4 mètres.

Le présent document contient les considérations des accidents majeurs se basant sur un arbre modifié des causes et des événements pour un enfouissement d'une conduite avec un recouvrement élevé et pour un enfouissement de conduite d'un système de tube à double enveloppe. Ces deux mesures de réduction des risques peuvent aussi bien être réalisées individuellement qu'être combinées. Les situations suivantes seront traitées en particulier dans le présent document:

- système de conduite à double enveloppe
- gazoduc à haute pression avec recouvrement élevé (4 - 15 m) et
- gazoduc à haute pression avec recouvrement très élevé (>15 m)

Les cas spéciaux, comme le système de conduite à double enveloppe intégré dans des systèmes de construction types galeries ou canaux, ne se seront pas traités dans ce document.

## **2 Arbre des causes et des événements : Interventions de tiers**

### **2.1 Fréquence de rupture**

#### **2.1.1 Fréquence de rupture à la suite d'interventions de tiers : recouvrement élevé (>4 m)**

L'augmentation du recouvrement d'une conduite rend l'apparition d'une fuite par intervention de tiers toujours plus improbable. L'exploitation des statistiques de rupture du 9<sup>ème</sup> rapport de l'EGIG met en avant le fait que le recouvrement est un des facteurs les plus importants pour la fréquence de rupture à la suite d'interventions de tiers. Les fréquences de rupture lors d'un recouvrement additionnel (c'est-à-dire recouvrement >1 m) ne sont toutefois pas répertoriées de façon plus différenciée dans les statistiques de l'EGIG.

La réduction de la fréquence de rupture due à des interventions de tiers lors d'une augmentation du recouvrement ne peut pas être pour cette raison quantifiée statistiquement

avec les données de l'EGIG à disposition. Elle doit être évaluée de façon indirecte (par exemple sur la base de considérations concernant des procédés de construction possibles pour des recouvrements élevés, au moyen de facteurs de correction se basant sur les directives d'autres pays, sur l'évaluation des travaux de construction de tiers dans la zone d'influence directe des gazoducs).

Avec un recouvrement additionnel, on ne retrouve plus toutes les causes de dommage de la catégorie "intervention de tiers" issue des statistiques de l'EGIG. Avec un recouvrement élevé ou très élevé, un endommagement d'une conduite suite à des travaux d'excavation est à peine pensable. Lorsqu'un gazoduc à haute pression se trouve à une profondeur significativement en-dessous de la profondeur usuelle d'enfouissement des canalisations, un endommagement par inadvertance dû à l'intervention de tiers tendrait à devenir plutôt improbable. Des endommagements de la conduite sont toutefois envisageables lors d'un forage par inadvertance (sondes géothermiques, sondages géologiques, enfouissement sans excavation d'autres canalisations, etc.), de la mise en place de pieux, de tirant d'ancrages, de palplanches ou de parois moulées, etc.

L'évaluation des demandes concernant des travaux de tiers auprès des exploitants suisses de gazoducs à haute pression, entre les années 2008 et 2014, montre que plus de 90% des demandes concernant des travaux de tiers pour des travaux à proximité directe de gazoducs portent jusqu'à une profondeur d'environ 4 m. Pour bien 5% des demandes concernant des travaux de tiers, il s'agit de travaux à une profondeur supérieure à 4 m. Environ 1% des travaux de construction atteignent une profondeur supérieure à 15 m. Les 4% environ restants des demandes concernant des travaux de tiers représentent des procédés, auxquels aucune profondeur n'a été attribuée dans l'inventaire. Ces données montrent qu'en Suisse le nombre de travaux de construction avec des recouvrements élevés (4-15 m) ne représente qu'un dixième de tous les travaux de construction et plus qu'un centième environ seulement pour des recouvrements très élevés (>15 m). Ainsi les endommagements d'un gazoduc à des profondeurs d'enfouissement >4 m devraient également significativement diminuer par rapport à la fréquence des ruptures moyenne suite à l'intervention de tiers enregistrée par les statistiques de l'EGIG.

Le nombre d'interventions extérieures possibles est également dépendant des données locales du tronçon de la conduite (par exemple la faisabilité de sondes géothermiques dans la zone du tracé de la conduite (par exemple sur la base de cartes de sondes géothermiques, etc.), la position des conduites à l'intérieur ou à l'extérieur d'une route et de ses alentours, la longueur des palplanches en fonction du sous-sol, etc.). La détermination de la probabilité de rupture spécifique pour un lieu donné, sur la base de considérations générales, ne sera toutefois pas effectuée dans le présent document.

En analogie à la méthode du rapport cadre 2010, la présente estimation de l'influence d'un recouvrement élevé se base en outre sur des valeurs statistiques (statistiques de l'EGIG) et sur des facteurs de correction basés sur des références bibliographiques portant sur la probabilité

de contacts et d'endommagements d'une conduite lors d'un recouvrement croissant. Les valeurs employées dans les différentes directives présentent une certaine dispersion:

- IGEM/TD/2 edition 2 [2]:  $K = 0.2$  pour un recouvrement de 2.5 m
- GESIP n°2008/01 (édition de janvier 2014) [3]:  $K = 0.01$  pour des profondeurs d'enfouissement  $>3$  m
- IRO Band 38 (2013): Beitrag II.D.1 (Spiekout und Gielisse) [4]:  $K = 1/11$  pour 1 mètre de recouvrement ajouté (se basant sur le "Reference Manual Bevi Risk Assessments", RIVM 2009).

Pour une conduite avec un recouvrement élevé à très élevé, une rupture totale de la conduite devient de plus en plus improbable, car la part des travaux d'excavation avec pelleuse diminue et qu'il faut plutôt s'attendre à des forages souterrains, etc. A la différence d'endommagements à la suite de travaux d'excavation avec pelleuse, lesquels peuvent conduire en général à des longueurs de fissures et des dimensions de fuites conséquentes, il faut ainsi s'attendre, à cause des diamètres standards des appareils de forage (150 mm), uniquement à des dimensions de brèche équivalentes. On est d'avis que pour cette raison, aussi bien la fréquence de rupture à la suite d'interventions de tiers que la part des ruptures totales ("ruptures totales" correspond à "rupture" selon EGIG report: "Rupture: the effective diameter of the hole is larger than the pipeline diameter") suite à des interventions de tiers, sont réduites en conséquence lorsque l'épaisseur du recouvrement croit. La fuite de gaz résultant d'une brèche moyenne ("brèche moyenne" correspond à "hole" selon EGIG report: "Hole: the effective diameter of the hole is larger than 2 cm and smaller than or equal to the diameter of the pipe") au travers d'un trou de forage d'environ 15 cm de diamètre est du même ordre de grandeur qu'une fuite de gaz lors d'une rupture totale d'une conduite de diamètre 4" (hypothèse de surface de fuite de gaz lors d'une rupture totale selon le rapport cadre 2010 = le double de la section de la conduite). Une brèche d'environ 15 cm de diamètre est par conséquent équivalente à la rupture totale d'une conduite de 4"/70 bar. Du point de vue des impacts sur la population, une rupture avec une brèche d'environ 15 cm est ainsi équivalente à une rupture totale d'une conduite de 4"/70 bar. En règle générale ce cas n'est pas pertinent en matière d'accidents majeurs car les rayons de létalité d'une conduite de 4"/70 bar calculés selon le rapport cadre 2010 sont relativement petits par rapport aux distances de sécurité de 10 m pour des bâtiments occupés par des personnes (Ordonnance concernant les prescriptions de sécurité pour les installations de transport par conduites, art. 12).

Les facteurs de correction suivants seront appliqués sur la fréquence moyenne de rupture à la suite d'interventions de tiers, c'est-à-dire à la fréquence de rupture selon les statistiques de l'EGIG :		
Tronçon du gazoduc avec	Fréquence de rupture (pour les fuites de toutes les dimensions)	Proportion de ruptures totales
recouvrement normal (1-4 m)	Selon le rapport cadre ( $0.5 \leq K \text{ (recouvrement)} \leq 1.1$ )	Selon le rapport cadre (20%)
recouvrement élevé (4-15 m)	$K \text{ (recouvrement)} = 0.1 *$	15% **
recouvrement très élevé (>15 m)	$K \text{ (recouvrement)} = 0.01 *$	5% **

\* Les valeurs K définies ci-dessus ont été déduites de l'évaluation des demandes concernant des travaux de tiers des 7 dernières années pour un recouvrement supérieur à 4 m.

\*\* La proportion de ruptures totales a été fixée par le groupe de travail au cours d'une discussion entre experts (voir argumentation dans le dernier paragraphe de la page 4 de ce document).

### 2.1.2 Fréquence de rupture à la suite d'interventions de tiers : effet protecteur du système de conduite à double enveloppe

L'effet protecteur de la conduite à double enveloppe contre un possible endommagement des gazoducs suite à l'intervention de tiers est entre autres dépendant du type d'interventions de tiers. Un système de conduite à double enveloppe procure par la combinaison épaisseur de paroi, matériel et rayon extérieur, une protection mécanique élevée contre des travaux d'excavation par pelleteuse et des travaux de forage.

Les gaines en acier d'épaisseur 10 mm figurent dans le "Guide Professionnel GESIP n°2008/02" comme mesure de protection. Aucune source bibliographique sur la quantification de l'effet protecteur des tubes enveloppes en acier n'a été toutefois trouvée. La présente estimation simplifiée de l'effet protecteur s'appuie pour cette raison sur des sources bibliographiques, avec des facteurs de corrections pour des situations semblables:

- GESIP rapport n°2008/01 [3]:  $K = 0.02$  pour des plaques acier (épaisseur  $\geq 20$  mm) et  $K = 0.01$  pour plaques acier avec grillage avertisseur
- HSE, Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments (28/06/2012) [5]: Failure frequency for double walled Pressure Vessels en comparaison au Failure frequency for single walled Pressure Vessels: Facteur 1/100

Des enquêtes effectuées par le groupe de travail auprès d'entreprises ont montré que l'effet protecteur d'une conduite à double enveloppe en acier est évalué différemment selon le type de travaux de construction. Pour des forages dirigés, par exemple, le trépan à molette dérapera vraisemblablement au contact d'un tube en acier. Lors d'un procédé par pression, il est possible que la conduite à double enveloppe soit fortement endommagée. De grands appareils à

palplanche peuvent traverser un tube en acier, de même pour un appareil de forage à vis ou par enfouissement. Les résistances (des conduites) avec recouvrement élevé seront en règle générale interprétées sur le chantier comme des résistances naturelles (rocher isolé, etc.).

On utilisera pour cette raison en relation aux facteurs de réduction utilisés par le GESIP un facteur correcteur de  $K=0.01$  pour un système de conduite à double enveloppe avec effets d'avertissement et d'alerte (surpression dans l'espace entre les deux parois de la conduite à double enveloppe), sur le taux de rupture à la suite d'interventions de tiers.

On supposera que la proportion de ruptures totales des conduites à double enveloppe est réduite en comparaison à celle d'un gazoduc à haute pression enterré : le tube extérieur est également dimensionné pour la pression de service. L'influence de la dimension de la brèche générée par le trou de forage sur l'affaiblissement général du tube est à prendre en compte. Par conséquent un trou de forage de 150 mm affaiblit moins un tube enveloppe que le tube de transport, lequel présente un plus petit diamètre que le tube enveloppe. Le tube de transport et le tube enveloppe sont à considérer comme des systèmes statiques indépendants. Après l'endommagement du tube de transport, l'exploitant aura les moyens, à la réception d'une alarme "augmentation de pression dans le tube enveloppe", de réagir rapidement. Une défaillance progressive est très invraisemblable. Après l'endommagement du tube extérieur l'exploitant peut réagir à la réception d'une alarme "chute de pression dans le tube enveloppe".

Pour l'effet protecteur du système de conduite à double enveloppe avec une surpression dans l'espace entre les deux parois, le facteur de correction suivant est appliqué sur la fréquence de rupture moyenne de la conduite de transport suite à l'interventions de tiers, c'est-à-dire à la fréquence de rupture selon les statistiques de l'EGIG :

–  $K$  (système de conduite à double enveloppe) = 0.01

Ce facteur de correction prend en compte l'effet protecteur du système de conduite à double enveloppe et est indépendant du recouvrement.

La proportion de ruptures totales du système de conduite à double enveloppe sur la fréquence de rupture à la suite d'interventions de tiers sera supposée de 10% \*.

\* La proportion de ruptures totales a été fixée par le groupe de travail au cours d'une discussion en cercle d'experts (Arguments voir 3<sup>ème</sup> paragraphe de cette page).

## **2.2 Ampleur des dommages**

### **2.2.1 Ampleur des dommages en cas d'une rupture à la suite d'interventions de tiers : recouvrement élevé (>4 m)**

L'ampleur des dommages en cas d'une rupture d'un gazoduc à haute pression sera calculée indépendamment du recouvrement et de façon conservative selon le rapport cadre.

Des réflexions supplémentaires sur le déroulement d'un incident de défaillance lors d'une rupture totale d'un gazoduc avec recouvrement élevé (formation de cratères, etc.) ne sont pas contenues dans le présent document.

### **2.2.2 Ampleur des dommages en cas d'une rupture à la suite d'interventions de tiers : système de conduite à double enveloppe**

Puisque le volume entre les deux parois d'un système de conduite à double enveloppe est faible en comparaison de la quantité de gaz libérée sur une courte période lors d'une rupture (totale), on étudiera les scénarii d'incendies et l'ampleur des dommages liée à toute la quantité de gaz libérée par la fuite sur la conduite de transport. Les cas de défaillance, où la fuite du tube enveloppe est plus petite que la taille de la fuite lors de la rupture totale du tube de transport, seraient ainsi calculés de façon trop conservative. Pour prendre ceci en considération dans les analyses de risques pour un système de conduite à double enveloppe, la proportion des ruptures totales d'une conduite à double enveloppe lors d'une rupture due à l'intervention de tiers est fixée par le groupe d'experts à la moitié de la valeur des statistiques de l'EGIG (10%).

L'ampleur des dommages pour un système de conduite à double enveloppe est calculée de façon conservative avec la quantité de gaz libérée en se basant sur la dimension de la fuite de la conduite de transport selon le rapport cadre, c'est-à-dire que les rayons de létalité selon le rapport cadre sont utilisés pour calculer l'ampleur des dommages.

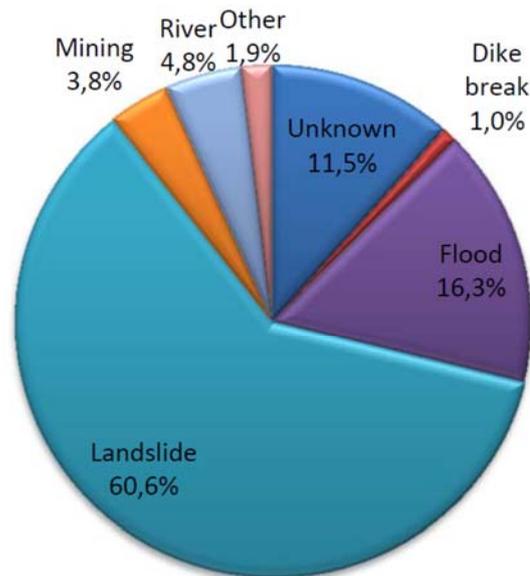
### 3 Arbre des causes et des événements : Mouvements de terrain / Dangers naturels (Ground Movement)

#### 3.1 Fréquence de rupture

##### 3.1.1 Fréquence de rupture à la suite de mouvements de terrain : recouvrement élevé (>4 m)

Le graphique suivant, extrait des statistiques de l'EGIG, représente la répartition des causes de dommage à l'intérieur du groupe "Ground Movement":

Fig. 1 Répartition statistique des "sub-causes" en cas d'une rupture à la suite de "Ground Movement" (9<sup>ème</sup> rapport de l'EGIG, février 2015 [6])



**Figure 62: Distribution of the sub-causes of ground movement (1970-2013)**

La cause de dommage "Landslide" occasionne plus de la moitié des ruptures dues à un "Ground Movement". Les eaux comme cause de rupture ("Flood", "River", "Dike Break") représentent ensemble un peu plus de 20% des ruptures à la suite de "Ground Movement".

Avec un recouvrement croissant, une rupture (totale) à la suite d'événements naturels devient toujours plus invraisemblable, puisque à cette grande profondeur certaines des causes de dommage selon les statistiques de l'EGIG ("sub-causes of ground movement") ne sont plus probables: "Flood" n'entrent pas en jeu pour des grandes profondeurs, "River" est fortement réduit pour un recouvrement élevé de la conduite, de même "Landslide" apparaîtra moins fréquemment à grande profondeur. Une quantification directe de l'influence du recouvrement se basant sur les statistiques de l'EGIG est difficile. Presque la moitié des conduites du réseau de

gazoducs répertorié présente un recouvrement  $\leq 1$  m, un recouvrement  $> 1$  m n'est pas détaillé de façon plus précise dans les statistiques.

Avec l'approche présentée, on part toutefois du principe que la fréquence des mouvements de terrain / dangers naturels avec un recouvrement élevé ou très élevé (recouvrement  $> 4$  m) diminue fortement par rapport aux conduites normales enterrés (1-4 m).

Les facteurs de correction suivants sont à appliquer sur la fréquence moyenne de rupture à la suite de mouvements de terrain et de dangers naturels, c'est-à-dire sur la fréquence de rupture selon les statistiques de l'EGIG, pour autant que l'on puisse démontrer d'une façon scientifiquement fondée, pour la zone de l'axe de la conduite, qu'il n'y a aucun danger naturel qui peut déclencher une rupture de la conduite :

- Pour les tronçons de conduite avec un recouvrement de 1 - 4 m, les facteurs de correction sur la fréquence de rupture à la suite de mouvements de terrain et de dangers naturels s'appliquent selon le rapport cadre.
- Tronçon du gazoduc avec un recouvrement de 4 - 15 m :  $K = 0.1$
- Tronçon du gazoduc avec un recouvrement  $> 15$  m :  $K = 0.05$

Des autres facteurs de correction que les chiffres susmentionnés, c'est-à-dire des chiffres inférieurs aux chiffres susmentionnés, doivent être justifiés par une expertise géologique afin de faire valoir une éventuelle adaptation.

Pour l'évaluation d'une menace due aux dangers naturels, on peut également s'appuyer sur

- l' "Aide à l'exécution concernant la gestion des dangers dus aux glissements de terrain, aux chutes de pierres et aux coulées de boue", OFEV, 2016  
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01850/index.html?lang=fr>
- des recommandations pour "Prise en compte des dangers dus aux crues dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire", OFFE, OFAT, OFAT, OFEFP, 1997  
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00786/index.html?lang=fr>
- les cartes de dangers naturels des cantons
- que d'autres données appropriées.

On calculera avec la proportion moyenne de ruptures totales suite à des événements naturels et des mouvements de terrain (correspondant à 40% selon les statistiques de l'EGIG et le rapport cadre). L'influence supplémentaire possible sur la proportion de ruptures totales aussi bien de la hauteur du recouvrement que du système de conduite à double enveloppe n'a pas été évaluée dans le cadre de ce groupe de travail.

### **3.1.2 Fréquence de rupture à la suite de mouvements de terrain : effet protecteur du système de conduite à double enveloppe**

Un système de conduite à double enveloppe peut fournir une bonne protection du tube de transport contre des forces agissantes dues à des dangers naturels. L'effet réducteur de risque d'un système de conduite à double enveloppe est toutefois très dépendant du type de

l'événement naturel et du mouvement de terrain et doit, pour cela, être déterminé au cas par cas en fonction de la situation géologique.

Si le mouvement de terrain, respectivement l'événement naturel, ne contient aucune force à apparition rapide importante, par ex. la plastification ou le fluage du terrain, un système de conduite à double enveloppe peut offrir temporairement une bonne protection mécanique pour le gazoduc à haute pression. Cette protection élevée du système de conduite à double enveloppe contre les mouvements de terrain peut être garantie d'une part par l'utilisation d'un volume libre entre les deux parois des tubes enveloppe et de transport comme compensateur respectivement amortisseur des déplacements transversaux, bien que la fonctionnalité des entretoises doive pour cela être vérifiée et optimisée en conséquence.

Une rupture simultanée des deux tubes lors de mouvements lents est considérée par le groupe de travail comme suffisamment improbable, si bien qu'on peut la négliger dans les considérations des accidents majeurs.

Lors de l'apparition d'une fuite du tube enveloppe ou du tube de transport avant la rupture des deux conduites, l'exploitant serait averti par un changement de pression dans le volume entre les deux parois, si bien que des mesures de sécurité et organisationnelles pourraient être mises en place.

Lors de mouvements de terrain rapides, le groupe de travail ne s'attend pas à un effet protecteur du système de conduite à double enveloppe.

Pour le système de conduite à double enveloppe, les effets protecteurs suivants peuvent être attendus lors d'une rupture à la suite de dangers naturels, en comparaison à la fréquence de rupture moyenne due à des mouvements de terrain et des dangers naturels (EGIG):

- Déplacement lent (fluage, tassement, déplacement, remontée, etc.) :  
En règle générale une bonne action protectrice du système de conduite à double enveloppe, soit un facteur de correction (action protectrice du système de conduite à double enveloppe)  $K = 0$  sur la fréquence de rupture moyenne à la suite de mouvements de terrain et de dangers naturels, c'est-à-dire sur la fréquence de rupture selon les statistiques de l'EGIG.
- Action de force à apparition rapide importante (glissement de terrain, effondrement, inondation avec charriage, etc.) :  
En règle générale aucune action protectrice grâce au système de conduite à double enveloppe, soit un facteur de correction (action protectrice du système de conduite à double enveloppe)  $K = 1$  sur la fréquence de rupture moyenne due à des mouvements de terrain et des dangers naturels, c'est-à-dire sur la fréquence de rupture selon les statistiques de l'EGIG.

Pour l'effet protecteur du système de conduite à double enveloppe, le facteur de correction suivant est à appliquer sur la fréquence moyenne de rupture due à des mouvements de terrain et des dangers naturels (EGIG):

- Facteur de correction (effet protecteur du système de conduite à double enveloppe)  $K = 0$  sur la fréquence de rupture moyenne due à des mouvements de terrain et des dangers naturels, c'est-à-dire sur la fréquence de rupture selon les statistiques de l'EGIG, pour les mouvements lents (fluage, tassements, déplacements, remontées, etc.)
- Facteur de correction (effet protecteur du système de conduite à double enveloppe)  $K = 1$  sur la fréquence de rupture moyenne de la conduite de transport due à des mouvements de terrain et des dangers naturels, c'est-à-dire sur la fréquence de rupture selon les statistiques de l'EGIG, pour des actions de force à apparition rapide importante (glissement de terrain, chute, crue avec charriage, etc.)

Ce facteur de correction pour les dangers naturels et les mouvements de terrain est à évaluer au cas par cas avec une expertise géologique sur les mouvements de terrain et les dangers naturels.

On calculera avec la proportion moyenne de ruptures totales suite à des événements naturels et des mouvements de terrain (correspondant à 40% selon les statistiques de l'EGIG et le rapport cadre). L'influence supplémentaire possible sur la proportion de ruptures totales aussi bien de la hauteur du recouvrement que du système de conduite à double enveloppe n'a pas été évaluée dans le cadre de ce groupe de travail.

## **3.2 Ampleur des dommages**

### **3.2.1 Ampleur des dommages en cas d'une rupture à la suite de mouvements de terrain : recouvrement élevé (>4 m)**

L'ampleur des dommages lors d'une rupture d'une conduite enfouie en profondeur est calculée selon le rapport cadre. Le présent document ne contient pas de réflexions sur le déroulement d'incidents de défaillance lors d'une rupture totale d'un gazoduc à haute pression avec un recouvrement élevé (jet de cratères etc.).

### **3.2.2 Ampleur des dommages en cas d'une rupture à la suite de mouvements de terrain : système de conduite à double enveloppe**

Comme le volume entre les deux parois d'un système de conduite à double enveloppe est faible en comparaison à la quantité de gaz libérée sur une courte période lors d'une rupture (totale), on étudiera les scénarii d'incendies et l'ampleur des dommages de toute la quantité de gaz libérée par la fuite sur la conduite de transport.

L'ampleur des dommages pour un système de conduite à double enveloppe est calculée de façon conservative avec la quantité de gaz libérée en se basant sur la dimension de la fuite de la conduite de transport selon le rapport cadre, c'est-à-dire que les rayons de létalité selon le rapport cadre sont utilisés pour calculer l'ampleur des dommages.

## **4 Arbre des causes et des événements : Défauts de matériau et de construction**

### **4.1 Fréquence de rupture**

#### **4.1.1 Fréquence de rupture à la suite de défauts de matériau et de construction : recouvrement élevé (>4 m)**

La fréquence de rupture du tube de transport suite à des défauts de matériau et de construction ne change pas lors d'un enfouissement plus en profondeur de la conduite par rapport aux données des statistiques de l'EGIG.

#### **4.1.2 Fréquence de rupture à la suite de défauts de matériau et de construction : effet protecteur du système de conduite à double enveloppe**

La fréquence de rupture du tube de transport à la suite de défauts de matériaux et de construction ne change pas lors de son insertion dans un tube enveloppe par rapport aux données des statistiques de l'EGIG.

### **4.2 Ampleur des dommages**

#### **4.2.1 Ampleur des dommages en cas d'une rupture à la suite de défauts de matériau et de construction : recouvrement élevé (>4 m)**

L'ampleur des dommages lors d'une rupture d'une conduite enfouie en profondeur est calculée selon le rapport cadre. Le présent document ne contient pas de réflexions sur le déroulement d'un incident de défaillance lors d'une rupture totale d'un gazoduc à haute pression avec un recouvrement élevé (jet de cratères, etc.).

#### **4.2.2 Ampleur des dommages en cas d'une rupture à la suite de défauts de matériau et de construction : effet protecteur du système de tube à double paroi**

Comme le tube enveloppe est dimensionné pour la pression autorisée (MOP) du tube de transport, le gaz libéré du tube de transport lors d'un défaut de matériau et de construction sera complètement retenu par le tube enveloppe résistant à la pression.

Une rupture d'un gazoduc à haute pression ne conduit pas à un dommage sur la population et n'a ainsi aucune influence sur l'ampleur des dommages. C'est pourquoi cette cause de dommage ne sera pas considérée dans les calculs correspondants des courbes cumulatives pour un système de conduite à double enveloppe.

## 5 Arbre des causes et des événements : vue d'ensemble

### 5.1 Vue d'ensemble des facteurs de réduction

Tab. 1 Vue d'ensemble des facteurs de correction utilisés sur les fréquences moyennes (basées sur les statistiques de l'EGIG) pour un recouvrement élevé

Recouvrement	Interventions de tiers		Mouvements de terrain	Défauts de matériau et de construction
	<i>Fréquence de rupture</i>	<i>Proportion de ruptures totales</i>	<i>Fréquence de rupture *</i>	<i>Fréquence de rupture *</i>
1 - 4 m	Selon rapport cadre: $0.5 \leq K_{\bar{u}} \leq 1.1$	Selon rapport cadre: 20%	Selon rapport cadre	Selon rapport cadre: $K_{\bar{u}} = 1$
4 - 15 m	$K_{\bar{u}} = 0.1$	15%	$K_{\bar{u}} \leq 0.1$ (expertise géologique)	$K_{\bar{u}} = 1$
>15 m	$K_{\bar{u}} = 0.01$	5%	$K_{\bar{u}} \leq 0.05$ (expertise géologique)	$K_{\bar{u}} = 1$

(Calcul de l'ampleur des dommages indépendamment du recouvrement d'une façon conservatrice avec la quantité de gaz libérée en se basant sur la dimension de la fuite de la conduite de transport selon le rapport cadre, c'est-à-dire avec les rayons de létalité selon le rapport cadre).

Tab. 2 Vue d'ensemble des facteurs de correction utilisés pour les fréquences moyennes (basées sur les statistiques de l'EGIG) pour le système de conduite à double enveloppe (Doppelrohrsystem, DRS)

Système	Interventions de tiers **	Mouvements de terrain *	Défauts de matériau et de construction
Système de conduite à double enveloppe	$K(\text{DRS}) = 0.01$	mouvements lents: $K(\text{DRS}) = 0$ * ou actions force à apparition rapide importante: $K(\text{DRS}) = 1$	$K(\text{DRS}) = 0$ , c'est-à-dire que la cause de dommage n'est pas prise en compte dans l'analyse de risque
	Proportion de ruptures totales: 10%	Proportion de ruptures totales: 40% selon rapport cadre	

\* Les facteurs de correction mentionnés sont appliqués sur la fréquence de rupture de la conduite de transport.

(Calcul de l'ampleur des dommages indépendamment du recouvrement d'une façon conservatrice avec la quantité de gaz libérée en se basant sur la dimension de la fuite de la conduite de transport selon le rapport cadre, c'est-à-dire avec les rayons de létalité selon le rapport cadre).

## 5.2 Probabilité d'inflammation

Pour les probabilités d'inflammation lors d'une libération de gaz en surface, les mêmes facteurs que dans le rapport cadre seront supposés, c'est à dire 0.4375 (inflammation spontanée et retardée).

## 6 Bibliographie

- [1] Industrie gazière suisse et suisseplan Ingenieure AG, 2010 : Sécurité des installations de gaz naturel à haute pression, rapport cadre de l'estimation de l'ampleur des dommages et de l'étude de risque standardisées, 1.12.2010
- [2] Institution of Gas Engineeris & Managers (IGEM) /TD/2 edition 2 : Assessing the risks from high pressure Natural Gas pipelines
- [3] Groupe d'étude de sécurité des industries pétrolières et chimiques (GESIP) Guide professionnel GESIP n°2008/01 (édition de Janvier 2014) : Guide méthodologique pour la réalisation d'une étude de dangers concernant une canalisation de transport (hydrocarbures liquides ou liquéfiés, Gaz naturel ou assimilé et produits chimiques)
- [4] Schriftenreihe aus dem Institut für Rohrleitungsbau Oldenburg (iro) Band 38 (2013) : Beitrag II.D.1 (Spiekout und Gielisse): Deterministischer und probabilistischer Ansatz im Rohrleitungsentwurf – was sind die Unterschiede – wie wichtig ist das im Endergebnis? Die Vorgehensweise in den Niederlanden
- [5] Health and Safety Executive (HSE), Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments (28/06/2012)
- [6] 9th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (EGIG) (period 1970 – 2013), Feb. 2015