

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/333654627>

# Etude de la fiabilité des canalisations de transport d'hydrocarbures corrodées, estimation et analyse de sensibilité

Conference Paper · April 2017

CITATIONS

0

READS

48

3 authors, including:



**Mourad Bettayeb**

University M'Hamed Bougara of Boumerdes

17 PUBLICATIONS 34 CITATIONS

SEE PROFILE



**Noureddine Abdelbaki**

19 PUBLICATIONS 31 CITATIONS

SEE PROFILE

### 3<sup>ème</sup> Conférence Internationale de Mécanique – Annaba – 2017

## Etude de la fiabilité des canalisations de transport d'hydrocarbures corrodées, estimation et analyse de sensibilité

Mourad BETTAYEB\*, Noureddine ABDELBAKI, Elahmoune BOUALI

Université M'hamed Bougara de Boumerdes, Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

Laboratoire de Fiabilité des Equipements Pétroliers et Matériaux, Avenue de l'Indépendance 35000, Boumerdes,

\*bettayeb\_mourad@yahoo.fr

### Résumé

Le transport des hydrocarbures par canalisations est une activité intermédiaire dans la chaîne pétrolière ; caractérisé par son rôle important dans l'acheminement des produits des gisements d'hydrocarbures vers les centres de traitements et de liquéfaction à savoir : raffineries et complexes GNL. A cet effet, la disponibilité des installations, leur sûreté de fonctionnement, dans le but d'honorer les contrats avec les clients, ne peuvent être satisfaits qu'à travers une fiabilité bien assurée, au stade de la conception et de l'exploitation de ces installations. Cependant de multiples accidents plus ou moins graves, notamment dus à la corrosion, peuvent affecter de nombreux ouvrages, provoquant parfois, des dégâts importants. Dans ce contexte notre étude c'est basée sur le calcul de la fiabilité des canalisations de transport d'hydrocarbures avec défauts de corrosion en utilisant une approche probabiliste basée sur les méthodes de la fiabilité des structures.

**Mots clés:** Fiabilité des structures, Pipeline, Corrosion, Analyse de sensibilité

### 1. Introduction

La majorité des canalisations de transport d'hydrocarbures dans le monde ont aujourd'hui plusieurs années de service. Ces dernières ne peuvent pas être remplacées dans leur totalité. Par conséquent, la réparation ou la réhabilitation de ces pipelines constituent donc une solution préconisée, qui consiste à effectuer un contrôle d'intégrité détaillé via un programme d'inspections en ligne par outil intelligent, dans le but d'obtenir les données nécessaires à l'évaluation de l'état de la ligne. Sachant que, l'interprétation des résultats de diagnostic en ligne, constitue une phase importante de toute opération de réhabilitation réussie des pipelines, et vu les incertitudes de ces résultats, ainsi que le caractère aléatoire des caractéristiques mécaniques du matériau utilisé, dans la construction des pipes, et la variation de la pression de service; une approche probabiliste a été utilisée pour étudier l'intégrité de ces canalisations, par un calcul de probabilité de défaillance [1], en se basant sur les techniques de la fiabilité des structures, la méthode d'approximation de niveau 2: *FORM* (First Order Reliability Method) [2, 3].

### 2. Evaluation de la fiabilité par la méthode *FORM*

L'évaluation de la fiabilité a été décrite par plusieurs auteurs [4-8]. Si la fonction de densité conjointe est connue, la probabilité de défaillance  $P_f$  est définie par :

$$P_f = P(Z \leq 0) = P(g(X) \leq 0) = \int_{g(X) \leq 0} f_X(x_1, \dots, x_n) dx_1 \dots dx_n \quad (1)$$

Où, La marge de sécurité  $Z$ , correspondant à cette fonction d'état limite  $g(X)$ , est une variable aléatoire généralement définie par  $Z = g(X)$ , et  $f_X(x_1, \dots, x_n)$  représente la densité de probabilité conjointe des variables aléatoires. La fiabilité ce n'est que le complément de la probabilité de défaillance  $P_f$ .

Une des étapes les plus importantes de l'évaluation de  $P_f$ , est le choix de la fonction d'état-limite, à partir des critères de défaillance obtenus par une analyse déterministe. Relativement à ce point, notre choix de la fonction d'état- limite, s'est basé sur deux fonctions, issues des normes internationales existantes dans le domaine de transport d'hydrocarbures par canalisations, à savoir: Shell 92, ASME B31G Modifiée [9,10], représentant respectivement le cas le plus pessimiste et le plus optimiste, où la fiabilité calculée est surestimé [11].

Sachant qu'aujourd'hui il est possible dans de nombreux cas d'avoir une description complète du vecteur aléatoire  $X$  ; la probabilité de défaillance peut être calculée par l'intermédiaire de la méthode *FORM* où sa mise en œuvre repose sur les étapes suivantes [12]:

- La transformation des variables de base  $x_i$  en variables aléatoires Normales centrées réduites  $u_i$  statiquement indépendantes. Par conséquent, l'espace des variables de base (y compris la fonction d'état limite) se transforme en un espace normale standard, cette transformation est appelée transformation isoprobabiliste, elle est notée  $T$  :

$$\mathbf{T} : X=(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \mathbf{U} = (u_1, u_2, \dots, u_n) \quad (2)$$

- Dans l'espace normale standard des variables  $u_i$ , l'objectif est de déterminer le point de conception de la surface d'état-limite,  $P^* = (u_1^*, \dots, u_n^*)$ , qui est le point le plus proche de l'origine. Il correspond à l'indice de fiabilité d'*Hasofer-Lind*  $\beta_{HL}$ , il est le point de défaillance le plus probable, où ses coordonnées définissent la combinaison de variables qui sont les plus susceptibles de provoquer une défaillance. Le problème se réduit donc à trouver la valeur minimale de la distance  $OP^*$  donnée par

$$D = OP^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^{*2}} \quad (3)$$

Il devient donc, un problème d'optimisation:

$$\beta = \beta_{HL} = \min D = \min \left( \sqrt{\mathbf{U}'\mathbf{U}} \right) \quad (4)$$

Sous la contrainte :  $g(X) = g(U) = 0$

Une fois le point de contrôle est déterminé, la probabilité de défaillance peut être estimée à l'aide des résultats applicables à l'espace normale standard. Ainsi, dans une approximation de premier ordre *FORM*, la surface d'état limite  $g(U) = 0$  exprimée dans le nouvel espace est approchée par son hyperplan tangent au point de conception  $P^*$  (fig. 1). La probabilité de défaillance est alors donnée par :  $(P_f)_{FORM} = \Phi(-\beta_{HL})$  (5)

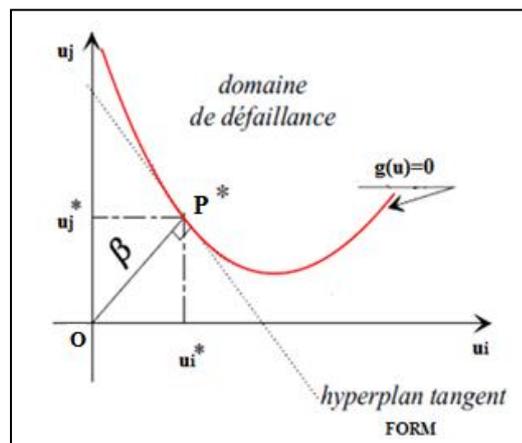


Figure 1: Illustration de l'approximation du premier ordre de la surface d'état limite

L'algorithme itératif HL-RF (Hasofer-lind-Rackwitz-Fiessler) a été utilisé [13], dans l'espace normale standard réduit pour la détermination du point de conception de la surface d'état-limite. A cet effet nous devons résoudre le problème de minimisation de distance. Le calcul a été effectué au moyen d'un programme écrit en Matlab [14], en se basant sur les outils d'analyse fiabiliste du code *FERUM* (Finite-Element Reliability Using Matlab) [15].

### 3. Etude de cas

Dans le cadre de cette étude, un calcul de fiabilité par approche probabiliste a été fait, sur un oléoduc de 26'' de diamètre en acier API 5L X52 de 45 km de longueur, soumis à une pression interne seule, en présence de défauts de corrosion externes. Les données de cette étude, sont portées sur le tableau ci-dessous, ainsi que les caractéristiques mécaniques du matériau [16]. On donne aussi en (mm), les différentes profondeurs et longueurs des défauts de corrosions externes détectées par outil intelligent, tout le long de la distance étudiée.

Symbole	Description	Type	Valeur moyenne	Ecart-type	Cov
d	Profondeur du défaut	Normal	2.4 mm	0.24	0.10
D	Diamètre	Normal	660.4 mm	19.81	0.03
L	Longueur longitudinale	Normal	112mm	5.6	0.05
P <sub>0</sub>	Pression de service	Normal	5 MPa	0.5	0.10
t	Epaisseur	Normal	8.2 mm	0.41	0.05
SMYS	Limite élastique minimale spécifié	Log-normal	358	25.06	0.07
SMTS	Limite de résistance à la traction minimale spécifié	Log-normal	455 MPa	31.85	0.07

Tableau. 1 : Variables aléatoires Utilisées

La fonction d'état-limite, représentant le critère de défaillance de l'oléoduc, en présence de défauts de corrosion, s'écrit en fonction de  $P_0$  et la pression ultime  $P_u$  sous la forme suivante :

$$g(X) = P_u - P_0 \quad (6)$$

### 4. Résultats et discussions

#### 4.1 Calcul de la probabilité de défaillance $P_f$

La variation de  $P_f$  obtenue par la méthode *FORM*, pour différentes pressions de service  $P_0$ , en utilisant les normes ASME B 31G Modifiée et SHELL 92 est illustrée dans la figure2.

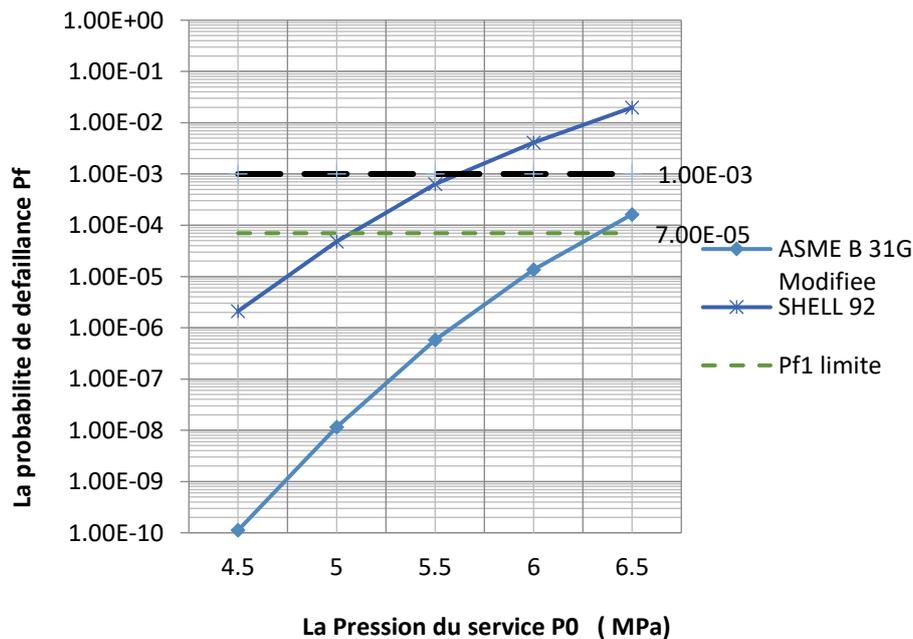


Figure 2 : Variation de  $P_f$  en fonction de la pression de service  $P_0$

L'analyse des résultats obtenus, font ressortir que la probabilité de défaillance, augmente avec la pression de service. Cette augmentation est plus importante dans le cas de la norme ASME B31G Modifiée, relativement à la norme SHELL 92 . En comparant les résultats des deux normes, on remarque des probabilités de défaillances plus importantes, données par Shell 92, par rapport à celles données par l'ASME B31G Modifiée.

Si on considère que les pipelines font partie, de la catégorie des éléments de structures dont leurs défaillances peuvent avoir des conséquences lourdes, on choisi donc une probabilité de défaillance cible autorisée  $P_f = 7.10^{-5}$ . Cette dernière, nous permettra, en exploitant la figure 2, de déduire que les pressions de service entre 55 et 60 bar ne sont pas autorisées, selon la norme Shell 92. Cependant ces mêmes pressions sont possibles, selon la norme ASME B31G Modifiée. Seules les pressions de service entre 45 et 50 bar sont autorisées par les deux normes. Si on adopte, un risque de défaillance moins important, pour une probabilité de défaillance cible  $P_f = 10^{-3}$ ; seules les pressions de service entre 45 et 55 bar sont autorisées par les deux normes.

**4.2 Analyse de sensibilité**

Avec la méthode *FORM*, l'estimation de la probabilité de défaillance peut-être complétée par une analyse de sensibilité des paramètres sur la réponse. Les figures 3,4 et 5 montrent l'influence des différentes variables aléatoires, données par les facteurs de sensibilité, pour différentes pressions de service (45, 55 et 65 Bar) .

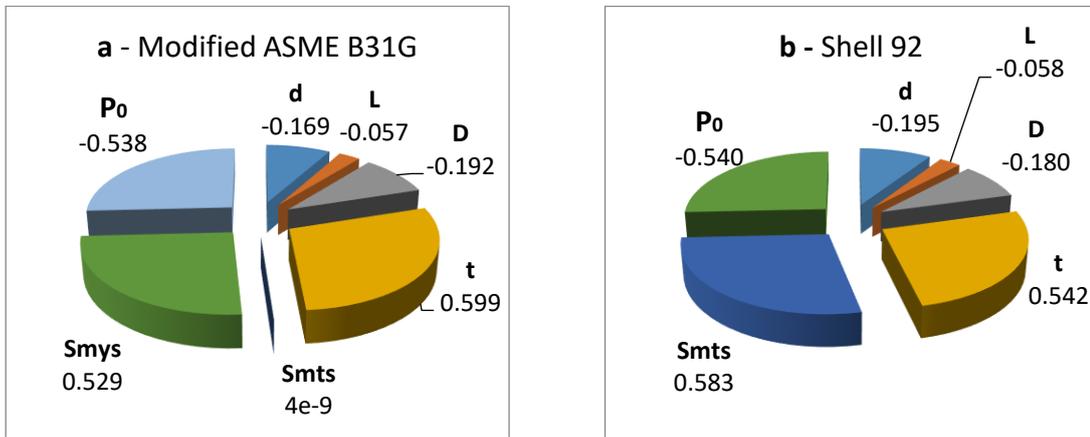


Figure 3 : Sensibilités des variables de base pour une pression de service P0=45 bar

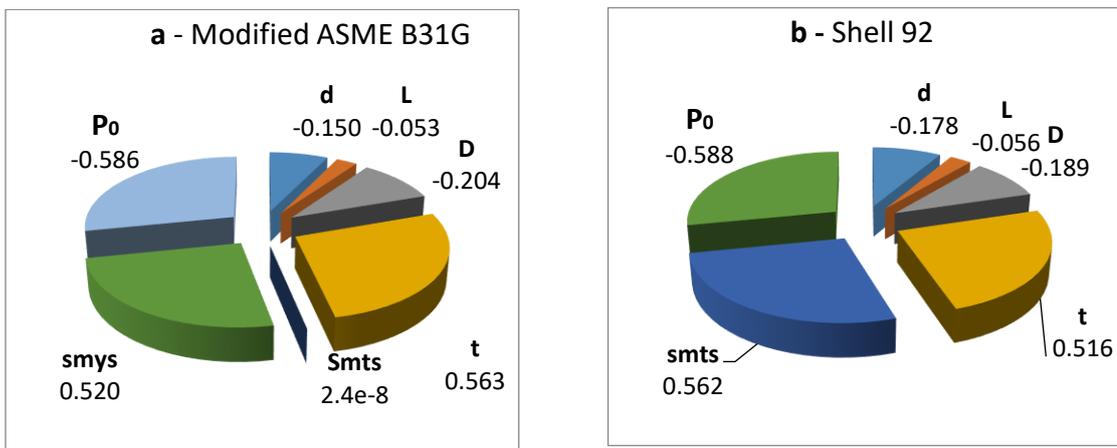


Figure 4 : Sensibilités des variables de base pour une pression de service P0=55 bar

On remarque que, pour toutes les pressions de service calculées, une augmentation des valeurs moyennes des variables (d,L,D,P0) au niveau d'une canalisation, diminue la fiabilité de l'oléoduc, car elles sont associées aux facteurs de sensibilité négatifs et inversement, une augmentation des valeurs

moyennes des variables ( $t, smys, smts$ ), dans le cas d'ASME B31G Modifiée et Shell 92, correspondant aux facteurs de sensibilité positifs augmente la fiabilité de l'oléoduc. En se référant aux différentes figures, on voit bien que l'épaisseur ( $t$ ), la pression de service ( $P_0$ ) ainsi que la limite élastique minimale spécifiée ( $smys$ ) pour le cas d'ASME B31G Modifiée, et la limite de résistance à la traction minimale spécifiée ( $smts$ ) dans le cas de Shell 92, sont les variables les plus importantes. Par contre la profondeur du défaut de corrosion ( $d$ ), la longueur ( $L$ ) ainsi que le diamètre de la conduite ( $D$ ) sont moins importants pour ce cas d'étude.

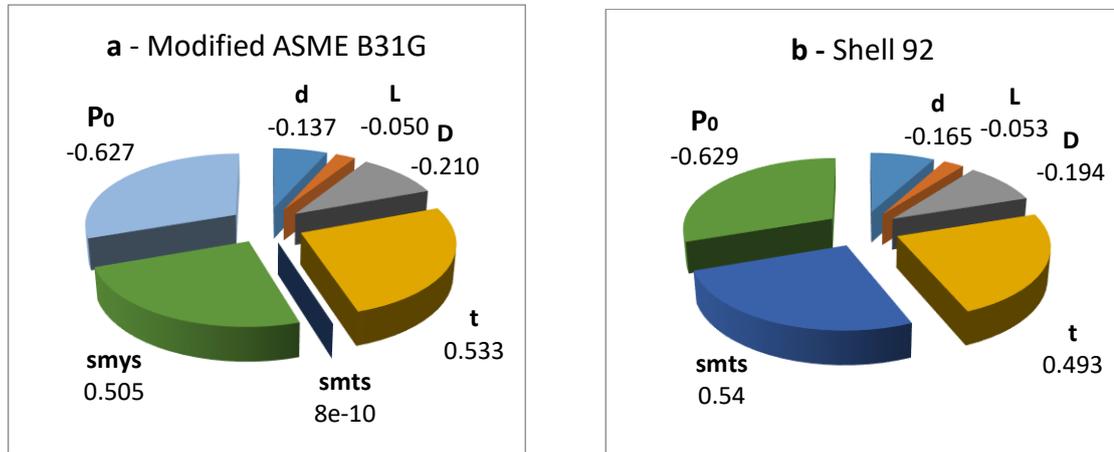


Figure 5 : Sensibilités des variables de base pour une pression de service  $P_0 = 65$  bar

Pour le cas d'une même pression de service ; nous constatons que, les facteurs de sensibilité sont moins importants pour la profondeur ( $d$ ), la pression de service ( $P_0$ ) et les caractéristiques mécaniques ( $smys$ ) et ( $smts$ ) dans le cas Shell 92, ce qui explique l'obtention des plus petites valeurs de probabilités de défaillance, dans le cas d'ASME B31G Modifiée dans la partie précédente.

Cependant, pour un même critère de défaillance, nous constatons que les facteurs de sensibilité des variables ( $d, L, t, smys, smts$ ) diminuent avec l'augmentation de pression ; par contre, ceux correspondant aux variables ( $D, P_0$ ), augmentent avec l'augmentation de la pression de service, où ils deviennent, de plus en plus importants.

## 5. Conclusion

Par l'utilisation des techniques de fiabilité des structures, on a évalué la probabilité de défaillance des canalisations de transport d'hydrocarbures en présence de défauts de corrosion externes. La méthode *FORM* a été utilisée. Une application a été faite sur un oléoduc en acier X52, de 26'' de diamètre, en utilisant deux critères de défaillance en termes de fonction d'état limite, donnés par les différentes normes, qui traitent la corrosion dans les canalisations de transport d'hydrocarbures. La géométrie de l'oléoduc, les caractéristiques géométriques des défauts de corrosion, les caractéristiques mécaniques du matériau ainsi que la pression de service, ont été décrits par leurs fonctions correspondantes de distributions statistiques. Différents calculs ont été effectués en prenant la pression de service comme paramètre.

On remarque d'après les résultats de calcul que le code Shell 92 est plus pessimiste et le code ASME B31G Modifiée est plus optimiste, où la fiabilité calculée est surestimée, car les probabilités de défaillance sont plus petites.

Une deuxième partie de calcul a été consacrée aux calculs de sensibilités des différentes variables intervenant dans les critères de défaillance donnés par l'ASME B31G Modifiée et Shell 92. L'évaluation de l'importance de ces variables nous a confirmée l'optimisme de la norme ASME B31G Modifiée par rapport à Shell 92.

En conséquent, un bon choix de la norme utilisée, ainsi que la probabilité de défaillance cible dépendamment de la sécurité désirée, sont nécessaires pour mettre en place par l'exploitant, une politique de maintenance plus économique et dans le but d'assurer une meilleure sécurité et intégrité, des installations de transport par canalisation.

## 6. Références bibliographiques

[1]	Ahamed M. Probabilistic estimation of remaining life of a pipeline in the presence of active corrosion defects. <i>International Journal of Pressure Vessels and Piping</i> .1998.75. 321-329.
[2]	Ditlevsen O. , Madsen H. O. <i>Structural Reliability Methods</i> . Department of mechanical engineering, technical university of Denmark. 2007.
[3]	Sørensen J D. <i>Notes in: Structural Reliability Theory And Risk Analysis</i> . Aalborg. 2004.
[4]	Der Kiureghian A., Haukaas T., Fujimura K. <i>Structural reliability software at the University of California, Berkeley</i> . <i>Structural Safety</i> . 2006.28(1-2).44-67.
[5]	Pitner P., Riffard T., Churier-Bosseneq, <i>Probabilistic Approaches in fracture mechanics</i> . EDF-DER 1993.
[6]	Abdelbaki N., Gaceb M., Bouali E., Bettayeb M., Bouzid R., <i>Reliability approach to the choice of dimensions and materials of tubes used in hydrocarbons transport networks</i> . <i>Chemical Engineering Transactions</i> . 2014. Vol.39.
[7]	Amirat A., Mohamed-Chateaneuf A., Chaoui K., <i>Reliability assessment of underground pipelines under the combined effect of active corrosion and residual stress</i> . <i>International Journal of Pressure Vessels and Piping</i> . 2006. 83.107-117.
[8]	Khelif R., Chaoui K., <i>Reliability analysis of buried pipes</i> . <i>Journal of Engineering and Applied Sciences</i> .2007. 2(4).728-732.
[9]	Cosham A., Hopkins P. <i>The pipeline defect assessment manual, IPC02-27067</i> . International pipeline conference, American Society of Mechanical Engineers. Calgary. Canada. 2002.
[10]	Bjørnøy O.H., Marley M. <i>Assessment of corroded pipelines/past, present and future</i> . Eleventh international conference on offshore and polar engineering (ISOPE 2001). Stavanger,USA. June 2001.
[11]	Bettayeb M., Abdelbaki N., Bouali E., Gaceb M., <i>Study of the reliability of pipelines containing corrosion defects</i> . 21 <sup>th</sup> International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2014 & Press. Prague, Czech Republic, 23-27 August 2014.
[12]	Lemaire M. <i>Fiabilité des structures, couplage mécano-fiabiliste statique, in collaboration with Chateaneuf A., and Mitteau J.C</i> . Hermes Science publications.2005.
[13]	Rackwitz R., Fiessler B., <i>Structural reliability under combined load sequences</i> . <i>Computers &amp; Structures</i> . 1978. 9.489-94.
[14]	Abdelbaki N., Bouali E., Bettayeb M., <i>Etude et développement de méthodes appropriées d'amélioration de la sûreté de fonctionnement des installations de transport des hydrocarbures-Rapport final, PNR projet national de recherche, Décembre 2013</i> .
[15]	Bourinet J.M. <i>FERUM 4.1 User's Guide</i> .1 Juillet 2010.
[16]	Caleyo F., Gonzalez J.L., Hallen J.M. <i>A Study on the Reliability Assessment Methodology for Pipelines with Active Corrosion Defects</i> . <i>International Journal of Pressure Vessels and Piping</i> . 2002. 79. 77-86.