

Analyse de risque quantitative pour les structures pétrolières

COORDONNATEUR : H. NIANDOU

AUTEUR : F. SCHOEFS.

Table des matières

Objectifs	5
Introduction	7
I - Eléments clés de l'estimation des risques	9
A. Eléments clés de l'estimation des risques.....	9
II - Surfaces de réponse physiques des sollicitations et résistances	11
A. Concept de surfaces de réponse physiques et application.....	11
B. Expression des surfaces de réponse sélectionnées.....	12
C. Analyses de sensibilité.....	15
III - Résultats d'un calcul de fiabilité sur une structure réelle	17
A. Description de la structure.....	17
B. Description des variables aléatoires.....	19
C. Calculs de fiabilité.....	21
D. Exercice 1 :.....	24
E. Exercice 2 :.....	24
IV - Modélisation des résultats d'inspection	25
A. Définitions.....	25
B. Exercice 3 :.....	26
C. Fonctions de risque et résultats.....	26
D. Exercice 4 :.....	28
E. Exercice 5 :.....	28
Conclusion	29

Objectifs



Les analyses de risque sont souvent délicates par manque de lien direct entre la fonction d'état et les conséquences. Ce projet propose des fonctions d'état de type performantiel (déplacement) dans le cas d'apparitions de fissures traversantes dans des tubes métalliques de structures offshore. L'aléa sur le chargement, la mesure de la fissure et les performances des inspections sont intégrés dans l'analyse de risque.

Introduction

Les structures offshore sont pour la majorité d'entre elles de type Jacket, treillis composés d'assemblages tubulaires soudés. Cet article se concentre sur celles-ci. La plus grande partie, soit environ 2000, a été construite dans les années 70 dans des sites comme le golfe du Mexique, la mer du Nord, le golfe de Guinée, pour une durée de service de 20 ans. Depuis une décennie, les opérateurs pétroliers sont donc confrontés à une problématique dite de requalification de ces structures : prolongement de leur durée de service avec ou sans réparation, réhabilitation et renouvellement de composants, mise hors service. Dans ce dernier cas, le démantèlement est une opération délicate et dangereuse qui comporte une phase de risque importante, détaillée par Kroon (*Kroon 2004*^{Kroon 2004}📄). Dans les autres cas, sur lesquels on se penche dans cet article, le décideur doit disposer d'une mise à jour de ses données (plans d'exécutions et de modifications, données météo-océaniques, résultats des inspections) et d'outils d'aide à la décision intégrant les aléas et les nouvelles exigences réglementaires. Les approches déterministes font souvent défaut car jugées trop conservatrices sur ces questions ; il n'est en effet pas rare d'obtenir des durées de vie en fatigue de quelques mois pour des joints soudés ne présentant pas la moindre trace de fissure au bout de 30 ans. La fiabilité des structures et les approches de type risque fournissent depuis 20 ans le cadre théorique pour aborder cette complexité.

Par ailleurs, nombre de ces structures présentent une réserve d'intégrité importante imposée au moment de la construction par des contraintes de fabrication ou par des données économiques. Ainsi elles ne sont pas optimisées au sens fiabiliste du terme et des désordres locaux peuvent parfois être tolérés du fait de la redistribution possible des efforts. C'est le cas des fissures traversantes (ou débouchantes), qui traversent l'épaisseur du tube. Or, les calculs de fiabilité usuels (*Madsen 1997*^{Madsen 1997}📄), sont basés sur des fonctions d'état locales reposant sur un critère géométrique de profondeur ou de longueur de fissure. La typologie du joint soudé n'est alors présente que de manière implicite au niveau de la loi de propagation de la fissure (Loi de Paris en général). Une des raisons tient dans le changement d'échelle nécessaire pour calculer les grandeurs mécaniques locales et les intégrer dans le calcul global. Ce changement d'échelle n'est alors réalisé que dans le passage global-local du calcul en fatigue spectral afin d'étudier la propagation d'une fissure donnée, indépendamment des autres.

Ce projet propose une approche complète basée sur les surfaces de réponse physiques et permettant :

- d'analyser l'impact d'une fissure traversante au niveau structural (*Schoefs et al. 2003*^{Schoefs et al. 2003}📄),
- de modéliser les actions mécaniques de la houle (*Schoefs 1996*^{Schoefs 1996}📄).

Ces surfaces de réponse physiques se distinguent des surfaces de réponse analytiques par l'utilisation de modèles mécaniques déterministes. Le modèle choisi repose sur un élément fini de type poutre fissurée ; la prise en compte mécanique de la fissure est réalisée par un déplacement de la fibre neutre et une perte de rigidité modélisée par des ressorts de torsion. En terme probabiliste, cette approche conduit à une augmentation de la dimension de l'espace des variables de base. Ceci a un impact au niveau de la fiabilité.

Après avoir rappelé les enjeux des modélisations par surfaces de réponse, des calculs de fiabilité, paramétrés par l'angle et l'orientation de la fissure, sont proposés. Les fonctions

d'état performantielles sélectionnées sont le déplacement en tête et l'énergie de déformation de la structure. Cet article se conclut sur la modélisation probabiliste des données d'inspection. La probabilité de présence de fissure est alors intégrée dans l'approche risque sous la forme d'une analyse paramétrique à deux paramètres intégrant les coûts de réparation, de ruine et d'inspection.

Éléments clés de l'estimation des risques

A. Éléments clés de l'estimation des risques

Les estimations des risques ont pour objectif de quantifier le risque R , défini pour un événement donné « e » en (1) :

$$R = p(e) \times C(e) \quad (1)$$

où $p(e)$ est la probabilité d'occurrence de l'événement « e » et $C(e)$ le vecteur des conséquences qui lui sont associées.

Dans le cas de structures offshore, $p(e)$ est estimée tant pour ce qui concerne l'exploitation (conduites d'hydrocarbures, dispositifs électriques et hydrauliques, protection incendie, ...) que pour la structure, qui fait l'objet de cet article ; ici, l'estimation de $p(e)$ provient d'une étude en fiabilité selon une fonction d'état performantielle. Le vecteur $C(e)$ a pour composantes les pertes de vie humaine, des pertes financières d'exploitation, des conséquences environnementales en terme de perte biologique (faune, flore) et économiques (nettoyage, image touristique), Lorsque cela est possible, le vecteur conséquence est ramené à une seule composante, somme de toutes les composantes homogénéisées, par exemple sous forme monétaire. Sinon, une analyse multicritère est nécessaire.

Surfaces de réponse physiques des sollicitations et résistances

Concept de surfaces de réponse physiques et application	11
Expression des surfaces de réponse sélectionnées	12
Analyses de sensibilité	15

A. Concept de surfaces de réponse physiques et application

La méthodologie des surfaces de réponse est essentiellement une représentation formelle basée sur des concepts géométriques ; c'est la construction d'une surface dans l'espace des variables aléatoires, dit espace probabilisé. Elle conduit à la recherche des propriétés d'un processus physique en s'appuyant sur une approche système. Cela signifie que la réponse étudiée –la grandeur mécanique- est considérée comme la sortie d'un système, dont la réponse varie en fonction des niveaux de plusieurs variables d'entrée –stimuli- appelées variables de base (voir figure 1).



Figure 1 : Modélisation système par surfaces de réponse.

Le système doit être modélisé par des fonctions mathématiques des variables aléatoires X_i présentes dans la représentation du phénomène et caractérisées par l'information statistique θ_i (moments, fonctions de distribution libres ou paramétrées, ...). Pour les analyses de fiabilité, la réponse recherchée peut consister en des variables de résistance ou de chargement ou encore des fonctions d'état limite. Les approximations des modèles d'origine sont classiquement des fonctions analytiques (surtout des expressions polynomiales) dont les paramètres sont estimés à partir de plans d'expériences numériques (Bouyssy et Rackwitz 1994^{Bouyssy et Rackwitz 1994}), (Muzeau et al. 1993^{Muzeau et al. 1993}). Les critères de construction doivent être développés en accord avec les objectifs spécifiques de l'analyse en fiabilité. On a montré que trois critères majeurs, qui peuvent être en conflit, sont pertinents (Labeyrie et Schoefs 1996^{Labeyrie et Schoefs 1996}) : le sens physique qui consiste à étendre des modèles physiques déterministes au cadre probabiliste, le transfert des distributions qui vise à étudier la manière dont les distributions sont modifiées au cours des transferts et l'adaptation au calcul qui exige un niveau de complexité réduit pour limiter les temps de calcul.

Comme alternative aux techniques de régression pour l'ajustement d'une surface de réponse sur une base de données et dans le respect des critères énoncés précédemment, on propose ci-dessous une procédure de construction de surfaces de réponse qui combine la modélisation stochastique des variables de base et une approche déterministe pour laquelle les fonctions de transfert successives dérivent de considérations physiques. Cette approche cohérente, par surface de réponse physique, basée sur des études de sensibilité et d'incertitude, permet de hiérarchiser les variables d'entrée et de cibler les efforts de prospection et de modélisation probabiliste sur les variables les dominantes. Cela donne des arguments en cas d'extrapolation des modèles sélectionnés. L'illustration présentée ci-dessous concerne le **transfert énergétique** pour le calcul de chargement de houle en situation de tempête sur des structures offshore fissurées de type Jacket, composées d'assemblages tubulaires soudés (voir figure 2). Deux surfaces de réponses sont proposées : l'une concerne les sollicitations de houle et l'autre les éléments de la matrice de rigidité en présence de fissure.

L'ensemble du problème de fiabilité (résistance en présence de fissure et sollicitations) est ainsi modélisé par surfaces de réponse. La fiabilité peut alors être calculée à partir de la surface de réponse résultante basée sur un critère performantiel (énergie ou déplacement) par les méthodes Form-Sorm dans des cas simples (Schoefs et al. 2005^{Schoefs et al. 2005}), en passant d'abord par une surface de réponse analytique ou par simulation directe de Monte-Carlo dans des cas réels, que l'on se propose d'étudier ici.

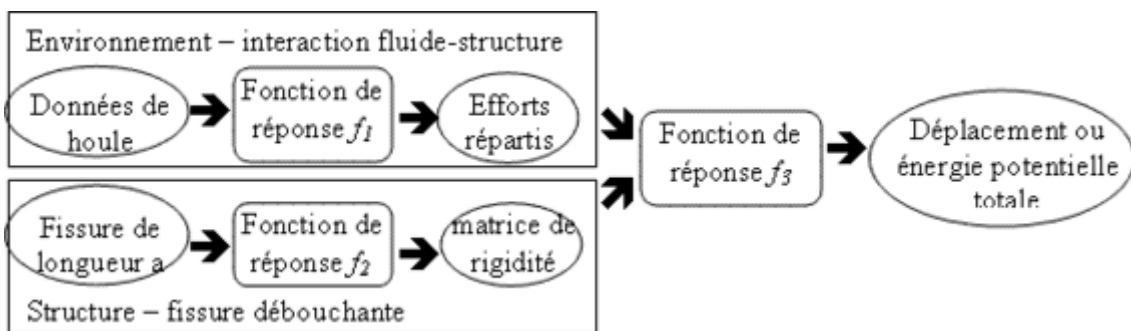


Figure 2 : Surfaces de réponse pour le problème sélectionné.

B. Expression des surfaces de réponse sélectionnées

La surface de réponse des efforts de houle en situation de tempête est tirée de (Schoefs 1996^{Schoefs 1996}). L'origine des chargements environnementaux résultants réside dans le champ cinématique des particules d'eau au voisinage du composant structurel immergé. A partir des équations de Morison, on a montré que l'effort réparti sur un tel élément s'écrit sous la forme d'une surface de réponse (2) et (3) :

$$\vec{f} = \vec{f}_T + \vec{f}_I \quad \text{où}$$


$$\vec{f}_T(M) = \frac{1}{2} \rho D \theta_{mg} \sqrt{a_{(n)}^2 + b_{(n)}^2} [\pi C_X \Pi_b + C_D \Pi_{b \perp}] (a_{(n)} \vec{A} + b_{(n)} \vec{B}) \quad (2)$$

$$\vec{f}_I(M) = \frac{1}{2} \rho \pi D^2 \theta_{mg}^2 [C'_X \Pi_b + C_M \Pi_{b \perp}] (c_{(n)} \vec{A} + d_{(n)} \vec{B}) \quad (3)$$

où a , b , c et d sont des champs stochastiques dépendant de l'ensemble des variables de base : hauteur extrême de houle H (hauteurs maximales), nombre d'onde k . Les coefficients C_X , C_D , C_M , C'_X rendent compte de l'interaction fluide-structure, le facteur θ_{mg} , de l'augmentation de diamètre D dû aux biosalissures et

ρ est la masse volumique du fluide. Les vecteurs A et B sont orthogonaux et déterministes. Les \mathbf{II} sont des projecteurs perpendiculairement à la barre et sur l'axe de la barre immergée.

Les conditions d'inspection de joints soudés de structures pétrolières offshore sont très délicates ; des aléas sur la longueur de la fissure a , et aussi sur les capacités à la détecter doivent être introduits. L'incertitude sur la mesure génère un comportement mécanique aléatoire qu'il s'agit de simuler. La méthode des surfaces de réponse analytiques est alors délicate et nécessite des remaillages nombreux. Ici, on choisit une surface de réponse mixte physique-analytique. Une approximation analytique des éléments de la matrice de rigidité d'un composant fissuré est alors obtenue à partir d'un modèle physique simplifié dit élément fini joint fissuré (EFJF) présenté en figure 3 dans le cas d'une fissure symétrique par rapport au plan de symétrie de la fissure : alors deux paramètres e_y et k_z sont introduits.

Dans le cas général, la présence d'une fissure traversante est représentée par une diminution de la rigidité (deux ressorts de torsion de raideur k_y et k_z) et un déplacement de la fibre neutre (deux excentricités e_y et e_z). Les expressions de ces surfaces de réponse sont disponibles dans (Rguig 2005^{Rguig M. 2005.} )

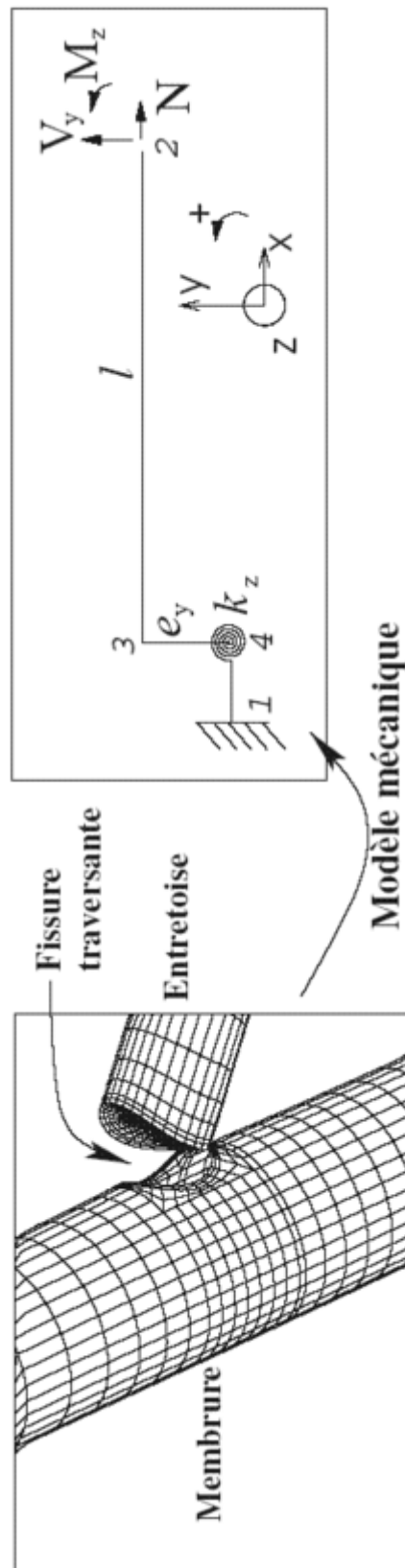


Figure 3 : Modèle mécanique d'élément fini joint fissuré (EF JF).

C. Analyses de sensibilité

Les surfaces de réponse proposées conduisent à une augmentation de la dimension de l'espace probabilisé. En effet, l'espace des variables de base est de dimension 8 $\{H, k, C_x, C_D, C_M, C'_x, \theta_{mg}, a\}$ où H et k sont corrélées. L'espace des variables intermédiaires transformé par le modèle EFJF est de dimension 11 $\{H, k, C_x, C_D, C_M, C'_x, \theta_{mg}, e_y, e_y, k_y, k_z\}$. où H et k d'une part et e_y, e_y, k_y et k_z d'autre part sont corrélées. D'un point de vue fiabiliste, la conséquence est une augmentation de la probabilité de défaillance. Les études de sensibilité permettent d'analyser cette question, par des méthodes de Monte-Carlo ou des techniques de perturbations ; un ratio de sensibilité de la variance de la réponse aux variables de base est défini dans (Rguig et Schoefs 2005^{Rguig et Schoefs 2005}) et plusieurs études de sensibilité sont disponibles pour le modèle EFJF seul (Schoefs et al. 2004^{Schoefs et al. 2004}) ou couplé à un chargement de houle, dans le cas d'un tube fissuré immergé (Schoefs et al. 2005^{Schoefs et al. 2005}). Elles ont montré que seules les raideurs ont une influence significative : l'espace probabilisé a donc pour dimension 9 voire 8 dans le cas de fissures de taille faible (k_y n'influe alors pas).

Résultats d'un calcul de fiabilité sur une structure réelle



Description de la structure	17
Description des variables aléatoires	19
Calculs de fiabilité	21
Exercice 1 :	24
Exercice 2 :	24

A. Description de la structure

Les applications choisies sont des torchères de type tripode (fig. 4), destinées à brûler les gaz non exploités des gisements. Elles sont non-habitées et situées loin des côtes, une analyse exclusivement sur critère monétaire est alors envisageable. Un modèle mécanique par éléments finis est aussi présenté en figure 4 ; la structure, située par 40 m de fond, comporte 14 tubes.

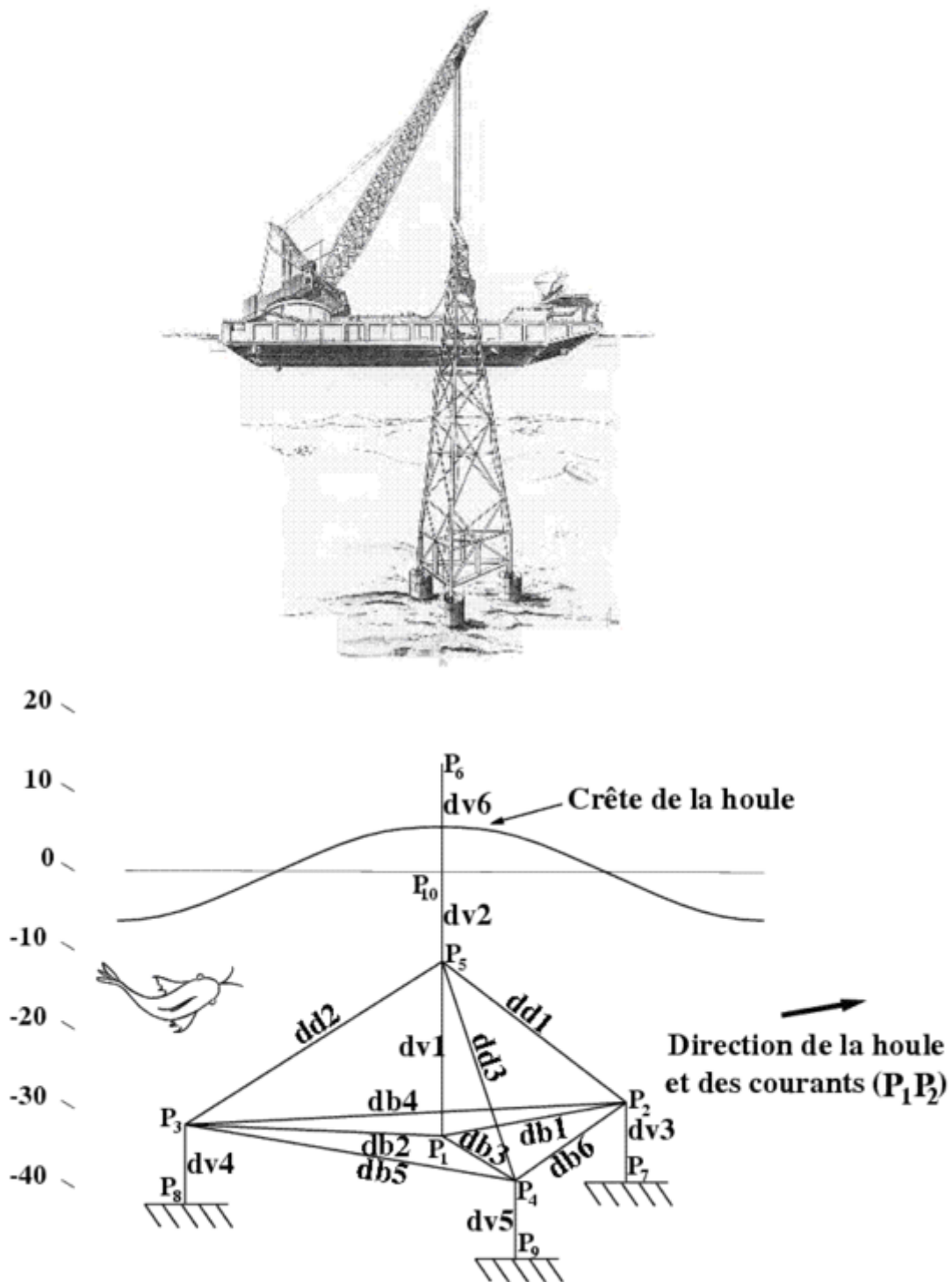


Figure 4 : Structure tripode et son modèle élément fini joint fissuré.

Pour limiter les temps de calcul, aucun couplage avec un code élément fini n'est réalisé. Tous les calculs de structure, la programmation de l'EFJF, le pré et le post-traitement statistiques et le calcul des champs stochastiques d'efforts sont réalisés sous Matlab.

B. Description des variables aléatoires

Les lois, conditionnements, coefficients de variation (c.o.v) et troncatures des variables introduites dans le calcul de chargement sont présentées dans le tableau 1. Elles correspondent à une situation de tempête sur le champ de Frigg, en mer du Nord. Les simulations sont réalisées à partir de la technique d'hypercube latin : elle consiste à sélectionner des réalisations au centre d'intervalles iso-probables.

Variables de base	Distribution	Conditionnement	c.o.v	Troncature
H, Hauteur de vague extrême	Gumbel	sachant (H_s, T_{stat}, θ)	8%	$[m-2\sigma ; m+5\sigma]$
T, Période de vague extrême	Log-Normale	sachant H	10%	$[m-k\sigma ; m+k\sigma]$ $k = 3$
Coefficients hydrodynamiques C_D, C_M, C_X, C'_X	Normale	-	35%	$[m-p\sigma ; m+p\sigma]$ $p = 2$
Longueur de fissure a	Exponentielle	-	35%	$[- ; 2 \pi R]$

Tableau 1 : Caractéristiques des variables aléatoires.

L'hypothèse de distribution de la longueur de fissure a provient d'analyses statistiques de résultats d'inspections en mer du Nord (Moan et al. 1997^{Moan et al. 1997}), la borne supérieure de troncature étant guidée par des considérations physiques (périmètre du tube).

C. Calculs de fiabilité

Les calculs de fiabilité sont réalisés par la méthode de Monte-Carlo. Deux états limites sont envisagés. L'un est basé sur le déplacement U_6 en tête de structure (nœud P6) ; la valeur critique (ici 0,041 m) est imposée par la courbure maximale de la conduite de gaz. L'autre, basé sur l'énergie de déformation E_{def} de la structure, reflète l'intégrité de celle-ci. Dans ce cas, la notion d'énergie de déformation critique est plus complexe à définir ; elle peut être associée à un pourcentage de l'énergie de déformation de la structure intacte (Schoefs et al. 2003^{Schoefs et al. 2003}) ou être définie différemment à partir d'une autre valeur critique, ce que l'on suggère ici. On présente en figure 5 les réalisations des couples (U_6, E_{def}) obtenues sous chargement aléatoire d'une structure intacte. L'ajustement de ce comportement (courbe en trait plein) nous donne une relation « moyenne » entre U_6 et E_{def} ; une valeur critique E_c de $2,99 \cdot 10^4$ N.m correspondant à un déplacement critique U_c de 0,041 m est alors déduite.

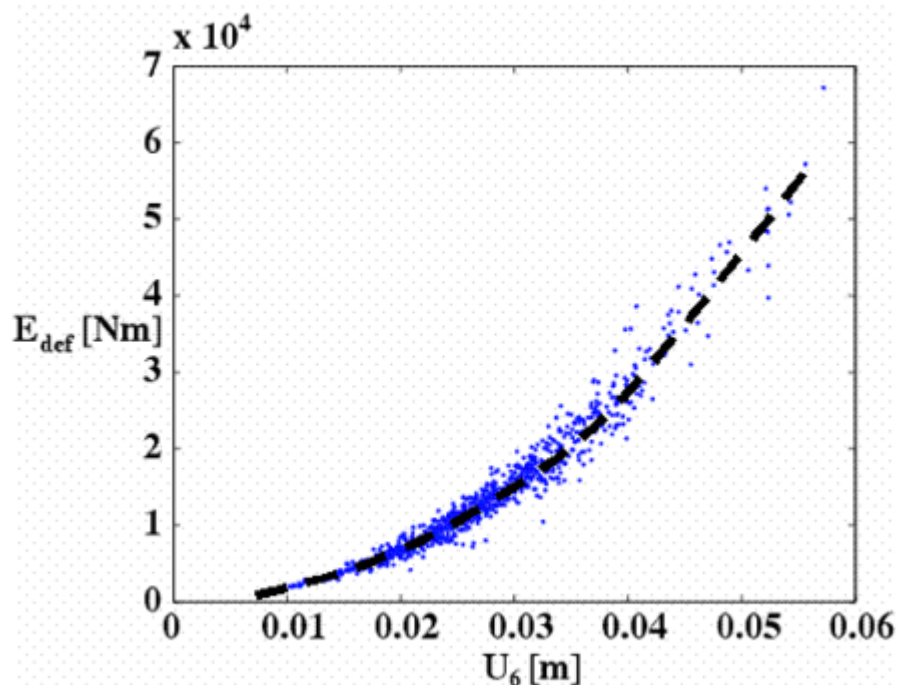


Figure 5 : Réalisations de couples (U_6, E_{def}) pour une structure chargée par une houle aléatoire.

Les fonctions d'état considérées sont linéaires et exprimées sous la forme des marges (4) et (5) :

$$G_U = U_c - U_6 \quad (4)$$

$$G_{E_{def}} = E_c - E_{def} \quad (5)$$

Pour une fissure traversante de demi-angle d'ouverture φ , située au nœud P5 et dont l'axe de symétrie est orienté de l'angle ψ par rapport à la direction de propagation de la houle P1P2, les résultats des calculs de probabilité de défaillance

correspondant à ces deux marges sont présentés en figure 6 droite pour l'état limite en déplacement et figure 6 gauche, pour l'état limite en énergie.

On constate tout d'abord les symétries qui s'expliquent par le comportement mécanique, la houle ayant une direction fixe (cas des tempêtes), le comportement du joint fissuré étant supposé lui même bilatéral symétrique.

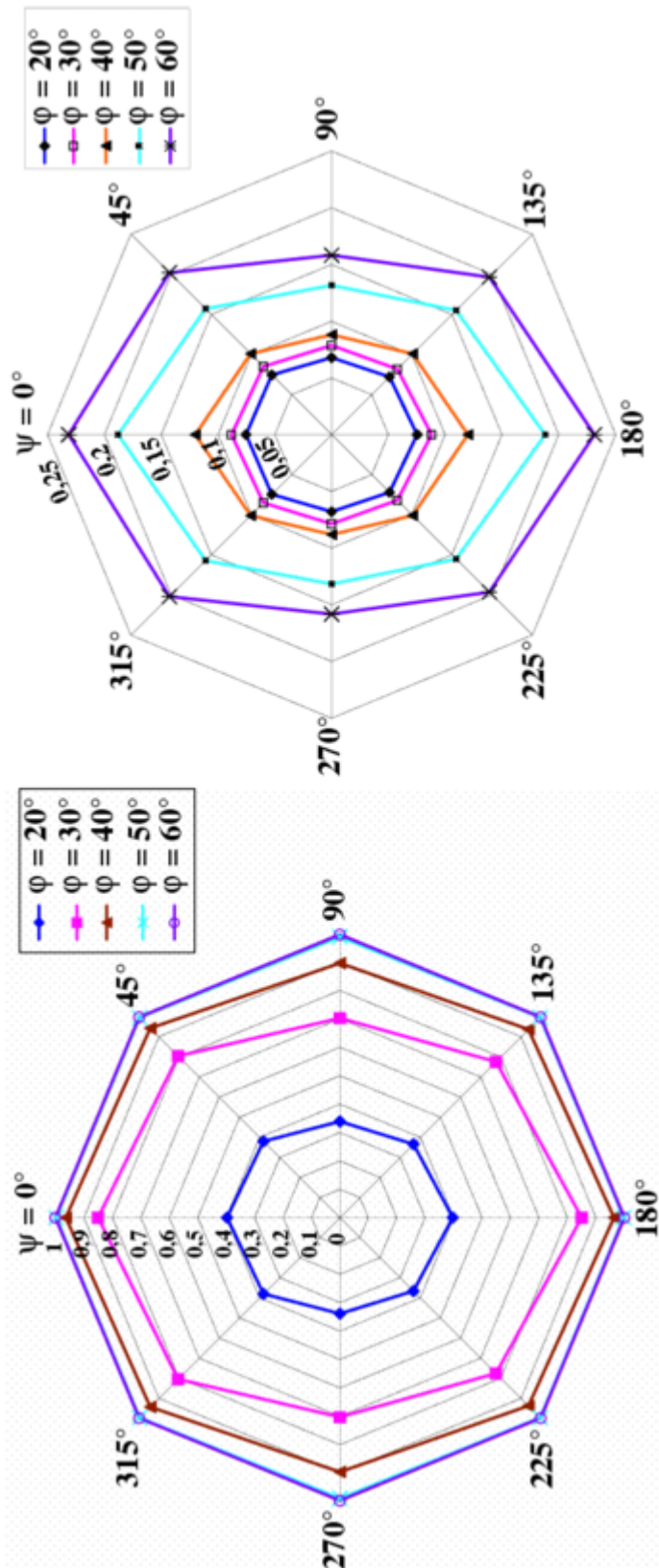


Figure 6 : Probabilité de défaillance fonction de l'ouverture, et de la position de la fissure.

D. Exercice 1 :

On souhaite faire une analyse de sensibilité sur le choix du déplacement critiques en le faisant varier de +/- 30 % par rapport à la valeur sélectionnée (0,041).

Question

Déduisez les valeurs correspondantes de E_c à partir de la figure 5.

Calculez les variations en pourcentage par rapport à la valeur sélectionnée ($2,99 \cdot 10^4$ N.m).

E. Exercice 2 :

A partir des graphiques figure 6 :

Question

Analysez l'effet de l'angle ψ et déterminez les probabilités de défaillance pour les états limites en déplacement et en énergie et $\varphi = 20^\circ, 30^\circ$ et 40° .

Analyser la cohérence des résultats en termes d'évolution de la probabilité de défaillance avec φ .

Que pouvez-vous en conclure sur l'importance du choix de l'état limite ?

Modélisation des résultats d'inspection

IV

Définitions	25
Exercice 3 :	26
Fonctions de risque et résultats	26
Exercice 4 :	28
Exercice 5 :	28

A. Définitions

Compte tenu des difficultés des inspections sous marines, dues à l'agitation de la houle, des courants, à la visibilité et à la lourdeur des équipements, les résultats d'inspection sont souvent modélisés de manière probabiliste. On utilise ici une définition bayésienne des résultats d'inspection en terme de détection (*Rouhan et Schoefs 2003*^{Rouhan et Schoefs 2003}). Elle est basé sur les probabilités de quatre événements :

- E_1 : absence de fissure, conditionnellement à aucune détection de fissure;
- E_2 : absence de fissure, conditionnellement à une détection de fissure;
- E_3 : présence de fissure, conditionnellement à aucune détection;
- E_4 : présence de fissure, conditionnellement à une détection.

On pose X , l'événement « présence de fissure » qui prend la valeur 0 en cas d'absence et 1 en cas de présence. On montre que la probabilité associée à ces événements s'exprime en fonction des probabilités de détection ($PoD=P(d(X)=1|X=1)$), probabilités de fausses alarmes ($PFA=P(d(X)=1|X=0)$) et probabilité de présence de fissure ($\gamma = P(X=1)$). Les équations (14) et (15) présentent les formules pour $P(E_2)$ et $P(E_3)$. γ est un processus stochastique encore méconnu dans le secteur offshore. Ici il est pris fixé à une valeur de 0,1 correspondant à la probabilité d'observer des fissures de taille importante, supposées traversantes. Des études de sensibilité sont disponibles dans (*Rouhan et Schoefs 2003*^{Rouhan et Schoefs 2003}).

$$P(E_2)=P(X=0/d(X)=1)=\frac{PFA(X)(1-\gamma)}{PoD(X)\gamma+PFA(X)(1-\gamma)} \quad (14)$$

$$P(E_3)=P(X=1/d(X)=0)=\frac{(1-PoD(X))\gamma}{(1-PoD(X))\gamma+(1-PFA(X))(1-\gamma)} \quad (15)$$

Les courbes de performance ROC (Receiver Operating Characteristic) caractérisent un ensemble « appareil de mesure - chaîne d'acquisition et de traitement -

plongeur - inspecteur » et relie la probabilité de détection et la probabilité de fausse alarme pour une classe de fissure donnée. Pour déterminer une des probabilités issues des équations (14) et (15), à courbe de performance ROC donnée, il suffit de réaliser une projection comme présenté en figure 5 pour le cas de $P(E_2)$. On considère ici trois appareils conduisant à trois courbes ROC dont les caractéristiques sont présentées en figure 5.

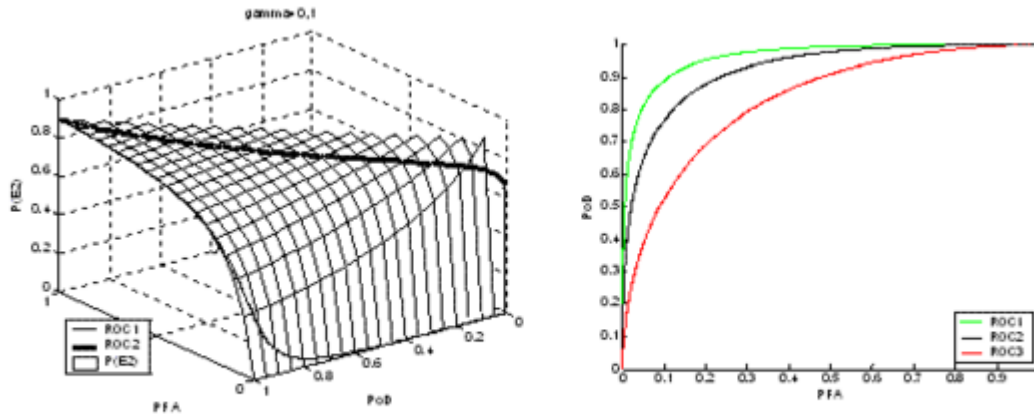


Figure 7 : $P(E_2)$ associée à deux courbes ROC.

B. Exercice 3 :

Question

Que deviennent les formules (14) et (15) pour $PFA = 0$ et $\gamma = 1$? Commentez les résultats.

Même question pour $PFA = 0$ et $\gamma = 0$.

Tracez sur un même graphe les évolutions de $P(E_2)$ et $P(E_3)$ en fonction de PoD pour $PFA = 0,1$ et $\gamma = 0,1$.

C. Fonctions de risque et résultats

En terme de calcul de risque, sur critère financier uniquement, on montre que le surcoût en cas de détection $\overline{E(C)}_d$, lié à une mauvaise décision, et le coût en cas de non détection $E(C)_{nd}$ s'expriment alors selon (16) et (17). Ils sont liés aux probabilités de présence de fissure γ , par l'intermédiaire des probabilités $P(E_2)$ et $P(E_3)$.

$$\overline{E(C)}_d = (C_{inspection} + C_{réparation}) P(E_2) \tag{16}$$

$$E(C)_{nd} = C_{inspection} + C_{ruine} P_{f|E_3} P(E_3) \tag{17}$$

où $P_{f|E_3}$ est la probabilité calculée ci-dessus, sachant la politique d'inspection/réparation :

- aucune détection conduit à aucune réparation donc à un risque de ruine,
- une détection conduit à une réparation.

En posant $C_1 = \frac{C_i}{C_r}$ et $C_2 = \frac{C_f}{C_r}$, on propose une analyse paramétrique qui

permet d'introduire le coût de l'inspection relativement à la réparation, à valeurs dans l'intervalle $[0;1]$, et le coût de la réparation relativement à la ruine, à valeurs dans l'intervalle $[0;0,1]$. La probabilité de défaillance P_f est calculée avec le critère en déplacement. La figure 8 présente les courbes d'iso-valeur de risque en cas de non détection pour des fissures de 20 et 40° de demi-angle d'ouverture, pour lesquelles on suppose une probabilité de présence γ de 0,1.

Une explicitation des coûts permet alors de comparer le risque estimé à un niveau d'acceptabilité. Une étude plus complète, notamment en cas de combinaisons de techniques est disponible dans (Schoefs et Clément 2004^{Schoefs et Clément 2004}).

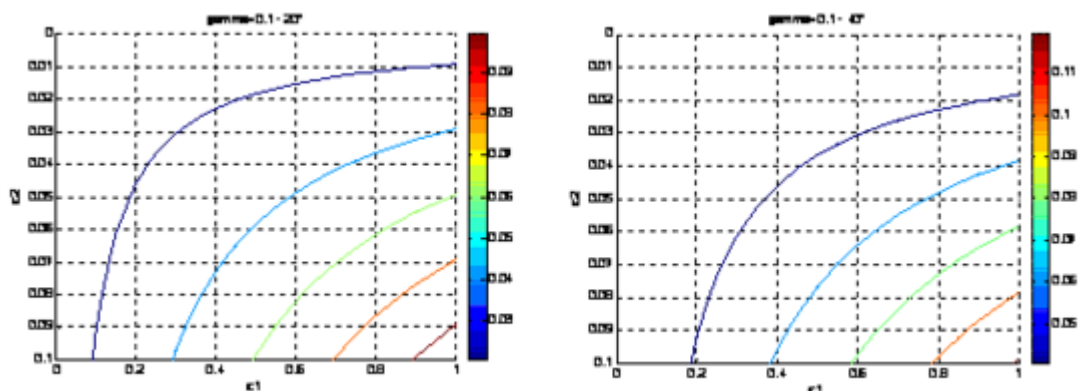


Figure 8 : Courbes d'iso-valeurs de risque dans le plan (c_1, c_2) - demi-ouvertures de 20 et 40°.

D. Exercice 4 :

Question

Comparez les risques pour les angles 20 et 40°.

On souhaite étudier seulement l'effet du coût de défaillance, aux autres coûts fixés. Comment peut-on utiliser ces graphiques.

Faites le calcul à partir des formules (16) et (17) dans les conditions suivantes :

- probabilités de défaillance calculées à l'exercice 2.
- Variante 1 : coût d'inspection de 50 avec PoD = 0,8 ; PFA = 0,1 ; $\gamma = 0,1$; coût de ruine de 10 000 et coût de réparation de 100.
- Variante 2 : coût d'inspection de 10 avec PoD = 0,5 ; PFA = 0,5 ; $\gamma = 0,1$; coût de ruine de 10 000 et coût de réparation de 100.

Commentez ces variantes.

Présentez les résultats dans un tableau et analysez les résultats.

E. Exercice 5 :

Question

Proposez une conclusion personnelle sur ce travail.



Conclusion



Ce projet présente, dans le cas particulier de l'étude d'une structure pétrolière offshore fissurée, les différentes étapes d'un calcul de risque :

- la modélisation par surfaces de réponse des actions de houle et du comportement mécanique,
- la sélection des variables aléatoires,
- le calcul de fiabilité,
- l'aléa sur la longueur et la détection de fissures.

Un critère en déplacement pour le calcul de fiabilité facilite l'analyse des conséquences. une étude paramétrique sur les coûts permet d'aboutir à des courbes d'isovaleurs de risque, intéressantes en terme de décision.

Bibliographie



[Bouyssy et Rackwitz 1994]

Bouyssy V., Rackwitz R. (1994) Approximation of Non-normal Responses for Drag Dominated Offshore Structures. Reliability and Optimization of Structural Systems.proc. 6 th, IFIP WG 7.5, Chapman and Hall, pp. 161-168 .

[Kroon 2004]

Kroon, I.B. (2004) Comparative Risk Assessment for Decommissioning Decision Support. International Forum on Engineering Decision Making. First Forum December 5-9, 2004, Stoos, Switzerland.

[Labeyrie et Schoefs 1996]

Labeyrie, J., F. Schoefs. Matrix Response Surfaces For Describing Environmental Loads, vol II Safety and Reliability, Proc. of 15th O.M.A.E, Florence, 1996, pp. 119-126.

[Madsen 1997]

Madsen H.O. (1997) Stochastic modeling of fatigue crack growth and inspection. In Probabilistic Methods For Structural Design, collection Solid Mechanics and its applications, Guedes Soares (Ed), Kluwer academic publisher, pp. 59-83.

[Moan et al. 1997]

Moan T., Vårdal O.T., Hellevig N.C, Skjoldli. 1997. In-Service Observations of Cracks In North Sea Jackets. A Study on Initial Crack Depth and POD values. In Proceeding of 16th international conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, (O.M.A.E'97), Vol. II Safety and Reliability, New York ASME, editor, pp. 189-197.

[Muzeau et al. 1993]

Muzeau J.P., Lemaire M., Besse P. et Locci J.M. (1993) Evaluation of reliability in case of complex mechanical behaviour, 12th int. conf. on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, (O.M.A.E'93), Vol. II "Safety and Reliability", ASME 1993, pp. 47 - 56.

[Rguig et Schoefs 2005]

Rguig M. et Schoefs F. (2005) Modélisation par surface de réponse d'une structure fissurée : cas d'une plate-forme offshore, 17ème Congrès Français de Mécanique (CFM 2005), Université de Technologie de Troyes, 29 août – 2 septembre 2005, 6 p.

[Rguig M. 2005.]

Rguig M. (2005) Méthodologie des surfaces de réponse pour l'analyse en fiabilité des plates-formes pétrolières offshore fissurées, mémoire de thèse de doctorat, Nantes, 172 p.

[Rouhan et Schoefs 2003]

Rouhan A., Schoefs F. (2003) Probabilistic modelling of inspection results for offshore structures, *Structural Safety*, vol 25, pp. 379-399, 20 pages, (Elsevier Ltd. 2003).

[Schoefs 1996]

Schoefs (1996) Response Surface Modelling of wave Loads in Structural Reliability Analysis, PhD Dissertation, 173 p., Nantes.

[Schoefs et al. 2003]

Schoefs F, Rguig M., Rouhan A. 2003. Reliability of jacket platforms submitted to through cracks. Bridges and special structures, Proceeding of 9th International conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, (I.C.A.S.P'03), july 6-9 2003, San Francisco, U.S.A, vol.2, ISBN 90 5966 005 4, (Millpress Rotterdam 2003), pp. 1703-1710.

[Schoefs et al. 2004]

Schoefs F, Rguig M., Le Van A. (2004). Fiabilité des structures tubulaires fissurées – transfert des non linéarités par surfaces de réponse. CINM'2004, Colloque International des Problèmes Non Linéaires en Mécanique, 24-26 mai 2004, Fès, Maroc.

[Schoefs et al. 2005]

Schoefs F., Rguig M. et Le Van A. (2005) Response surface methodology for evaluation of reliability for jacket platforms submitted to through cracks. Proc. of the Ninth International Conference on Structural Safety and Reliability, Track 3 «Offshore structures, wind, geotechnical 3», ICOSAR'05, Millpress Science Publishers, Rome, Italy, June 19-23,2005, pp 1325-1332.

[Schoefs et Clément 2004]

Schoefs F., Clément A. (2004) Multiple inspection modelling for decision making and management of jacket offshore platforms: effects of False Alarms ". International Forum on Engineering Decision Making », december 5-9 2004, Stoos, Switzerland, 23 pages.