REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

N° d'ordre : D012123001D

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat en sciences

Filière

Automatique

Spécialité

Automatique Avancé

Contribution à l'évaluation de la sûreté de fonctionnement des systèmes instrumentés de sécurité (SIS).

Présentée par : Mme METATLA Hassina

Devant le jury composé de :

Lachouri Abderrezak	Professeur	Président	Université de Skikda
Rouainia Mounira	Professeur	Encadreur	Université de Skikda
Hariz Saliha	MCA	Examinateur	Université d'Annaba
Khelif Rabia	Professeur	Examinateur	Université d'Annaba
Bendib Riad	MCA	Invité	Université de Skikda

Année universitaire : 2022-2023

Résumé

Diverses sécurités sont mises en œuvre lorsque les installations industrielles automatisés présentent des risques pour l'homme, l'environnement ou les biens. Ces types de sécurités utilisent des moyens contribuant soit à la prévention soit à la protection pour limiter les conséquences d'un dysfonctionnement. Les systèmes instrumentés de sécurité (SIS) sont souvent utilisés comme moyens de protection pour réaliser des fonctions instrumentées de sécurité (SIF).

Le présent travail de thèse a pour objectif d'évaluer la sûreté de fonctionnement d'un système instrumenté de sécurité. Nous considérerons le cas particulier d'un système à haute intégrité contre les surpressions, (High Integrity Pressure Protection System (HIPPS)), utilisé en industrie pétrole et gaz pour la protection contre les évènements de surpression qui peuvent causer des dommages à l'environnement, aux infrastructures et au personnel. Le rôle primordial du HIPPS a attiré notre attention pour analyser les performances d'un HIPPS existant à la plateforme on-shore Raffinerie de SKIKDA (RA1K) en présence et en absence des défaillances de cause commune (DCC), pour quantifier l'effet de ce type de défaillance sur les paramètres fiabilistes du système. Les Blocs diagrammes de fiabilité (BdF), sont utilisés pour la modélisation de l'aspect fonctionnelle du système, tandis que les Arbres de Défaillances (AdD) sont utilisés pour la modélisation de l'aspect dysfonctionnelle. Nous procédons par deux étapes :

-La première étape est consacré à une étude de diagnostic, ou phase d'analyse sans considération des DCC pour le système considéré, à travers laquelle nous avons calculé des facteurs d'importances suivants :**Facteur d'Importance Marginale (de Birnbaum (MIF)), Facteur d'Importance Critique (de Lambert (CIF)), Facteur d'Importance de Diagnostic (de Fussel Vesely (DIF)), facteur d'augmentation de risque (Risk Achievement Worth (RAW)), facteur de réduction de Risque (Risk Reduction Worth (RRW**)),**et le facteur d'importance de Barlow and Proschan (BP).**Ces mesures d'importances nous permis d'aboutir à un classement pour les composants du HIPPS permettent l'identification des constituants les plus vulnérables vis-à-vis le fonctionnement du système, et par conséquent de cibler et orienter les actions de maintenance à préalable.

-La deuxième étape est dédiée pour la modélisation des DCCs par le modèle du facteur Beta et la démonstration de l'effet négatif de ce type de défaillance sur les performances globales du HIPPS comme la réduction de la fiabilité du HIPPS ; la dégradation du niveau d'intégrité de sécurité (SIL) du système considéré ; l'augmentation de la durée moyenne d'indisponibilité après défaillance (Mean Down Time (MDT) du HIPPS, et la capacité de production. Le modèle du facteur Beta est utilisé pour la modélisation des DCCs au niveau des sous-systèmes transmetteurs et vannes.

Les résultats de simulation obtenus nous permettent la mise en œuvre d'une politique de maintenance préventive et corrective pour les différents composants du HIPPS d'un point de vue quantitatif, en d'autre part ces résultats expliquent la capacité du HIPPS à conserver ses caractéristiques de fiabilité et de sûreté en présence des DCC. En outre mous prouvons la robustesse, l'exactitude et la convenance des blocs diagrammes de fiabilité et des arbres de défaillances pour le traitement et l'évaluation des DCC au niveau du HIPPS.

<u>Mots-Clés</u> : HIPPS; DCCs; SIL; AdD; BdF; MIF; CIF; DIF; RAW; RRW; BP

Abstract

The Safety Instrumented Systems (SISs) are vital safety barriers, widely used in industrial plants to reduce the probability of hazardous situations such as gas leakages and fires explosions. A Safety instrumented systems are being installed on both onshore and offshore and are able to assure and control many Safety Instrumented Functions (SIFs).

The objective of this work is to evaluate the dependability of a safety-instrumented system (SIS) based on an onshore, High Integrity Pressure Protection Systems (HIPPS), and located in SKIKDA Refinery (RA1k). This type of SIS are widely used in oil & gas industrial plants, to play the role of a barrier between high pressure and low-pressure section in the installation. We achieve functional and dysfunctional analysis of the HIPPS reliability parameters with and without consideration of the Common Cause Failures (CCFs). The Reliability Block Diagram (RBD) is used for functional aspect and Fault Tree Analysis (FTA) technique is employed for dysfunctional aspect.

-In the first part we effectuates a HIPPS diagnostic study (without consideration of CCFs), by determination of the following Importance Measures (IMs): **Birnbaum measure, or the MIF, Lambert measure (CIF), Fussel Vesely measure (DIF), Risk Achievement Worth (RAW), Risk Reduction Worth (RRW**) **and Barlow and Proschan measure (BP)** by the proposed methodology. Main purpose of those IMs is to identify weaknesses, or the most vulnerable parts in our considered HIPPS, and may serve as resource allocation factors for scheduled HIPPS maintenance in order to minimize its down time and cost-efficient operation of our system.

-In the second part a study with account of CCFs, we modelize the CCFs by the Beta factor model and illustrate the negative impact of this type of failure on the global HIPPS reliability, in the objective to take care against this type of failure. A comparative study on HIPPS dependability with and without considering Common Cause Failures (CCFs) is realized; as a result, we quantify the effects of CCFs on overall HIPPS performances such as HIPPS reliability reduction, HIPPS Safety Integrity Level (SIL) degradation, and the decrease of HIPPS Mean Down Time (MDT), and production capacity.

The obtained simulation results help us in implementing a HIPPS maintenance planning from a quantitative point of view, and on the other hand, this thesis shows the HIPPS capacity in keeping its safety and reliability characteristics in presence of the CCFs. In addition, our analysis proves the robustness, accuracy, and the suitability of the used methodology for CCFs assessment.

Keywords: HIPPS; CCFs; FTA; RBD; SIL; MIF; CIF; DIF; RAW; RRW ; BP.

ملخص

تتطلب الصناعات البيتروكيميائية والغازية موارد مالية ضخمة، من حيث المنشآت والمعدات، وكذلك اليد العاملة المؤهلة. من أجل رفع مردودية هذه الصناعات لابد من ضمان موثوقية عالية للأنظمة والهياكل المستعملة فيها من خلال استعمال الوسائل والطرائق اللازمة سواءا للتنبؤ بالأخطار التي قد تتعرض لها المنشآت أو للحماية مع اتخاذ التدابير اللازمة لذلك .تشكل انظمة السلامة المجهزة (SIS) حاجز أمان فعال وضروري لصد ومواجهة مختلف المخاطر في المركبات الصناعية لقدرتها على انجاز وظائف حماية متعددة (SIFs) .

العمل المقدم في هذه الأطروحة يسلط الضوء على نظام الحماية عالي الموثوقية ضد الضغط المرتفع (HIPPS) المتواجد في مركب تكرير البترول والغاز (مصفاة سكيكدة RA1K) وذلك لأهميته في حماية المنشآت بحيث يعتبر حاجز أمان ضد ارتفاع الضغط، الذي قد يؤدي إلى نتائج كارثية على غرار الإنفجار والذي يؤثر بشكل سلبي على البنى التحتية للمنشآت الصناعية كما يسبب أضرار بالغة على الإنسان والتي قد تؤدي إلى حالات الموت وكذلك تتسبب في التأثير على سلامة البيئة والمحيط. وهذا الأخير يشغل مكانة هامة في إنجاز العملية الصناعية وضمان السير الحسن للإنتاج. إذ أن الأعطاب والتوقفات التي تكون على مستوى ال HIPPS قد تؤدي إلى التوقف الكلي للعملية الصناعية. ولأهميته البالغة، قمنا بدراسة تحليلية لمختلف عوامل الجودة للنظام المقترح في وجود وغياب الاعطاب ذات السبب المشترك (DCCs)، بهدف تقييم وتكميم تأثير هذا النوع من الأعطاب على مختلف عوامل الجودة. نستعمل مخططات كتل الموثوقية (BdF) من أجل النمذجة الوظيفية لنظام HIPPS، بينما نستعمل طريقة تحليل شجرة الأعطال من أجل النمذجة اللاوظيفية أي في حال العطب. فقد قمنا بتحقيق دراسة كمية وكيفية على مرحلتين

-**المرحلة الأولى**: تمثلت في دراسة تشخيصية ال HIPPS باستعمال تقنيتين: مخططات كتل الموثوقية (BdF) وطريقة تحليل شجرة الأعطال (AdD) ، تميزت بدراسة كمية و كيفية لمختلف عوامل الجودة والسلامة التالية: الموثوقية R(t)، إحتمالية العطب F(t) ، إحتمالية العطب اللحظي U(t) ، والتواتر W(t) .

إضافة إلى ذلك قمنا بحساب عوامل الأهمية التالية:عامل بيرنوب (MIF)، عامل لامبيرث (CIF)، عامل فاسيل فيسلي (DIF)، عامل مكبر ا الخطر (RAW)، عامل مصغر الخطر (RRW) وعامل بارلو وبروسكان (BP) . بهدف تقييم أهمية كل عنصر من عناصر نظام ال HIPPS . سمحت لنا هذه القياسات إلى الوصول لتصنيف لمكونات ال HIPPS والذي يفيدنا في تحديد وإبراز العناصر الأكثر تسببا في تشغيل أو تعطيل النظام وبالتالي إستهداف وتوجيه إجراءات الصيانة الخاصة بكل عنصر بصفة مسبقة.

-**المرحلة الثانية** : في هذه المرحلة قمنا بنمذجة الأعطاب ذات الفشل المشترك (DCCs) بواسطة نموذج بيتا (Beta) بإستعمال التقنيات السابقة وبواسطتها قمنا بتبيين الأثر السلبي ل (DCCs) على الموثوقية R(t)

وعلى مستوى تكامل السلامة (SIL) وكذلك على متوسط وقت التوقف بعد العطل (MDT)، بالإضافة إلى نقصان القدرة الإنتاجية.

النتائج التي تحصلنا عليها من خلال دراستنا أثبتت دقة وملاءمة كل من تقنيتي مخططات كتل الموثوقية (BdF) وشجرة الأعطاب (AdD)في تقييم ومعالجة الأعطاب ذات الفشل المشترك (DCCs)على مستوى النظام المدروس، وكذلك أثبتنا قدرة ال HIPPS في الحفاظ على خصائص الجودة والسلامة في ظل وجود (DCCs)

الكلمات المفتاحية: نظام الحماية عالي الموثوقية، الأعطاب ذات الفشل المشترك، نموذج بيتا، مستوى تكامل السلامة، مخطط كتل الموثوقية، تحليل شجرة الأعطاب، قياس الأهمية.