

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Mémoire de master pour l'obtention du diplôme de master

Filière : QHSE-GRI

**Application des méthodes
d'optimisation des architectures des SIS**

TAMSSAOUET Ferhat

Sous la direction de : M.A. KERTOUS Maitre-assistant

M.M. OUADJAOUT Maitre-assistant

Présenté et soutenu publiquement le 22/06/2016

Composition du Jury :

Président :	Mme. S. ZBOUDJ	Professeur	ENP
Rapporteurs :	M. A. KERTOUS	Maitre-assistant	ENP
	M. M. OUADJAOUT	Maitre-assistant	ENP
Examineurs :	M. M. BOUSBAI	Maitre-assistant	ENP
	Mme. N. OUSSEDIK	Maitre-assistant	ENP

ENP-2016-

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Mémoire de master pour l'obtention du diplôme de master

Filière : QHSE-GRI

**Application des méthodes
d'optimisation des architectures des SIS**

TAMSSAOUET Ferhat

Sous la direction de : M.A. KERTOUS Maitre-assistant

M.M. OUADJAOUT Maitre-assistant

Présenté et soutenu publiquement le 22/06/2016

Composition du Jury :

Président :	Mme. S. ZEBOU DJ	Professeur	ENP
Rapporteurs :	M. A. KERTOUS	Maitre-assistant	ENP
	M. M. OUADJAOUT	Maitre-assistant	ENP
Examineurs :	M. M. BOUSBAI	Maitre-assistant	ENP
	Mme. N. OUSSEDIK	Maitre-assistant	ENP

ENP-2016-

ملخص : الهدف من هذا العمل هو تحسين بنية الانظمة المجهزة لسلامة لتحقيق اهداف السلامة المعبر عليها بمستوى امانة هذه الانظمة مع تقليل تكلفتها. استعملت الخورزميات الجينية لتحديد عدد المعدات في كل جزء من الاجهزة المجهزة و ذلك في حالتين : حالة وجود مزود واحد و في حالة وجود عدة مزودين لنفس القطعة. تم التطبيق على جهاز اطفاء النار في نظام الوقود لمحطة الكهرباء الحامة 2.

الكلمات الدالة : تكلفة, تكرار المعدات, الانظمة المجهزة لسلامة, الخورزميات الجينية, الموثوقية

ABSTRACT: The aim of this work is to optimize the architectures of safety instrumented systems to achieve the security objectives expressed by required SIL while minimizing costs. Genetic algorithms were used to determine the number of redundancy in a SIS according to two cases: in the case where there is only one supplier for each component and in the case where there is a choice between several types of components fulfilling the same function. The application was made on the deluge system set to control fires in the fuel system of the power station Hamma II.

Key Words: SIS, reliability, genetic algorithm, redundancy, cost.

Résumé : Le but de ce travail est d'optimiser les architectures des systèmes instrumentés de sécurité pour atteindre les objectifs de sécurité exprimé par le SIL requis tout en minimisant les coûts. Les algorithmes génétiques ont été utilisés pour déterminer le nombre de redondance à mettre dans un SIS selon deux cas : dans le cas où il y a qu'un seul fournisseur pour chaque composant et dans le cas où on a le choix entre plusieurs types de composants remplissant les mêmes fonctions. L'application s'est faite sur le système déluge mis pour contrôler les débuts d'incendie dans le système fuel de la centrale électrique Hamma II.

Mots clés : SIS, fiabilité, algorithme génétique, redondance, coût.

DEDICACE

Je dédie ce travail :

A ma mère et mon père

A Nouredine et toute ma famille

A tous mes amis

REMERCIEMENTS

Le présent travail a été effectué au sein de la Centrale Electrique Hamma II sous la responsabilité de M. Samir KACI, responsable HSE. Je tiens à lui adresser mes sincères remerciements ainsi qu'à l'ensemble du personnel des deux départements HSE et exploitation pour leur disponibilité et leurs efforts qui m'ont permis de réaliser ce travail.

J'exprime toute ma gratitude à mes deux encadreurs académiques, Monsieur. Aboubakr KERTOUS, Enseignant à l'ENP, et Monsieur Mohamed OUADJAOUT, Enseignant Chercheur à l'ENP et Directeur du Cycle Préparatoire –ENP, pour le privilège qu'ils m'ont fait en dirigeant ce travail et pour le suivi continu pour l'aboutissement de ce projet. Leur intérêt, leur soutien et leurs compétences ont été un atout indispensable pour l'accomplissement de mon travail.

J'aimerais aussi remercier les membres du jury, en premier, Madame Zeboudj, Professeur à l'ENP et Responsable de la Filière QHSE-GRI, qui m'a fait l'honneur de présider ce Jury, Madame Oussedik et Monsieur Bousbai, enseignants à l'ENP, qui ont bien voulu accepter d'examiner et de juger ce travail.

J'adresse mes remerciements au corps professoral de la Filière QHSE-GRI qui nous ont guidés durant ces 3 dernières années, pour leur dévouement à accomplir leur devoir.

TABLE DES MATIERES

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale.....	12
Partie 1 Partie théorique	9
Chapitre 1 Sécurité fonctionnelle et Systèmes Instrumentés de Sécurité.....	9
Introduction	15
1.1. Notion de sécurité.....	15
1.1.1. Principes généraux de protection.....	15
1.1.2. Sécurité fonctionnelle.....	16
1.2. Systèmes Instrumentés de Sécurité.....	17
1.2.1. Fonction Instrumentée de Sécurité	17
1.2.2. Niveaux d'intégrité de sécurité.....	18
1.2.3. Structures des SIS et leur fiabilité	19
Chapitre 2 Optimisation des Systèmes Instruments de sécurité par les algorithmes génétiques...	22
Introduction	23
2.1. Méthodes d'optimisation des SIS	24
2.2. Algorithme génétique	25
2.2.1. Nomenclature des AG	25
2.2.2. Avantage des AG.....	26
2.2.3. Inconvénients des AG.....	27
2.2.4. Concepts de base	27
2.2.5. Opérateurs des AG	28
Partie 2 Partie pratique	32
Chapitre 3 Application	33
Introduction	34
3.1. Présentation de l'organisme d'accueil.....	34

3.1.1.	Présentation du groupe SONELGAZ	34
3.1.2.	Activités du groupe SONELGAZ.....	34
3.1.3.	La centrale électrique Hamma II	34
3.2.	Application des algorithmes génétiques pour la conception optimale du système déluge	35
3.2.1.	Premier cas : Un seul fournisseur pour chaque composant	36
3.2.2.	Deuxième cas : Plusieurs fournisseurs pour chaque composant	38
	Références bibliographiques	41
	ANNEXES	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Niveaux d'intégrité de sécurité, Fonctionnement à la sollicitation	19
Tableau 2 Résumé de la terminologie utilisée en AG	26
Tableau 3 Fiabilité et le coût des composant.....	36
Tableau 4 Donnée relatives aux différents des différents composants du SIS	38

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Fonctions instrumentées de sécurité	18
Figure 2 Système série	19
Figure 3 Système parallèle	20
Figure 4 Système parallèle-série	20
Figure 5 Organigramme simplifié de conception des SIS	23
Figure 6 Algorithme génétique de base.....	28
Figure 7 Codage de la solution du premier cas	36
Figure 8 L'interface de l'environnement des AG de MATLAB	37
Figure 9 Représentation de l'architecture du SIS	38
Figure 10 Codage de la solution.....	39
Figure 11 Architecture du SIS	39

LISTE DES ABREVIATIONS

AG	Algorithmes Génétiques
CEI	Commission Internationale Electrotechnique
HSE	Hygiène Sécurité et Environnement
ISO	International Organization for Standarization
PFD_{avg}	Average Probability of Failure on Demande
RRF	Risk Reduction Factor
SIF	Safety Instrumented Function
SIL	Safety Integrity Level
SIS	Safety Instrumented System
SONELGAZ	SOciété Nationale de l'ELectricité et du GAZ

Introduction générale

Les systèmes instrumentés de sécurité (SIS, *Safety Instrumented System*) constituent l'une des sécurités les plus répandues dans les procédés industriels. Ils sont mis en place afin de ramener les risques vers des niveaux acceptables. Le niveau de performance de ces SIS doit être proportionnel au niveau de risque dont il a charge de réduire, mais la conséquence à cela est que le coût du SIS augmente considérablement.

Donc, il est primordial de trouver une stratégie d'allocation des objectifs de sûreté de fonctionnement au niveau des composants du SIS qui permette d'établir le meilleur compromis entre le coût de conception du SIS et les objectifs de sûreté de fonctionnement. Parmi les méthodes qui permettent d'atteindre cet objectif, nous avons appliqué dans le présent mémoire les algorithmes génétiques.

Le présent mémoire est scindé en trois chapitres.

- Dans le premier chapitre, des généralités sur la notion de sécurité et la sécurité fonctionnelle sont présentées. La seconde partie de ce chapitre s'intéresse aux systèmes instrumentés de sécurité, de leur niveau d'intégrité et les structures sur lesquelles ils peuvent se présenter.
- Nous commençons, dans le deuxième chapitre, par donner un état de l'art des méthodes d'allocation de fiabilité et de redondance. Ensuite, nous nous focaliserons sur les algorithmes génétiques, l'une des approches les plus utilisées pour résoudre le problème d'optimisation des SIS.
- Dans le troisième chapitre et qui concerne la partie pratique de notre travail, nous présentons sommairement le groupe SONELGAZ et la centrale électrique Hamma II. Ensuite, nous appliquerons les algorithmes génétiques pour optimiser la conception d'un nouveau SIS qui est système déluge pour système fuel où nous allons essayer de le concevoir suivant deux cas : le cas où on a qu'un seul choix dans le marché pour chaque composant et le cas où plusieurs fournisseurs sont en mesure d'offrir ce composant

In fine ce mémoire sera clos par une conclusion générale résumant le travail réalisé et donnant les perspectives de recherche envisagées.

Partie 1

Partie théorique

Chapitre 1

Sécurité fonctionnelle et Systèmes Instrumentés de Sécurité

Chapitre 1 : Sécurité fonctionnelle et Systèmes Instrumentés de Sécurité

Introduction

Les risques sont inhérents à toute activité humaine. Au lieu d'essayer de supprimer le risque, ce qui est impossible, l'on essaie de le rendre acceptable. Cela revient à réduire de sa criticité, c'est-à-dire réduire la probabilité qu'il puisse survenir et la gravité des dommages qu'il causerait en cas de sa matérialisation sous formes d'accident.

Afin d'atteindre cet objectif, on met en place plusieurs barrières de sécurité qui permettent de ramener le risque vers un niveau que l'on juge acceptable.

Dans ce chapitre, nous allons introduire la notion de sécurité et ses différentes catégories. Dans la seconde partie, nous allons nous intéresser aux systèmes instrumentés de sécurité qui sont mis en place pour assurer la sécurité fonctionnelle.

1.1. Notion de sécurité

La sécurité est souvent définie par son contraire : elle serait l'absence de danger, de risque, d'accident ou de sinistre.

Selon (Desroches, Leroy, & Vallès, 2003) la sécurité concerne la non occurrence d'événements pouvant diminuer ou porter atteinte à l'intégrité du système, pendant toute la durée de l'activité du système, que celle-ci soit réussie, dégradée ou ait échoué.

Et suivant le guide ISO/CEI 73 (ISO, 2002) élaboré par l'ISO (organisation internationale de normalisation) sur la terminologie du management du risque, la sécurité est l'absence de risque inacceptable, de blessure ou d'atteinte à la santé des personnes, directement ou indirectement, résultant d'un dommage au matériel ou à l'environnement.

1.1.1. Principes généraux de protection

Les moyens à mettre en œuvre pour réduire les risques sont nombreux et variés. En premier lieu, la conception du procédé et le choix des équipements participent à la réduction du risque. On peut agir aussi sur les systèmes de contrôle commande du procédé, en prévoyant par exemple des redondances et des systèmes de repli, en cas de dysfonctionnement. Ces approches ne sont pas toujours suffisantes. Pour réduire encore le risque, il faut prévoir des systèmes de sécurité. Ceux-ci entrent en action lorsque le procédé se trouve dans des conditions anormales de fonctionnement et qu'une situation dangereuse risque de se développer.

Nous pouvons distinguer les mesures de sécurité par leur mode d'action : les sécurités passives et les sécurités actives.

1.1.1.1. Sécurité passive

La sécurité passive désigne tous les éléments mis en jeu afin de réduire les conséquences d'un accident lorsque celui-ci n'a pu être évité. Elle agit par sa seule présence, sans intervention humaine ni besoin en énergie (exemple : bâtiment de confinement, cuvette de rétention, etc.). Cependant, il ne faut pas réduire la sécurité passive à la limitation des conséquences des accidents (l'isolation électrique est une mesure passive et préventive).

1.1.1.2. Sécurité active

La sécurité active désigne tous les éléments mis en jeu afin d'éviter les accidents. Elle nécessite une action, une énergie et un entretien (exemple : détecteur, vannes, etc.).

La sécurité d'une installation repose sur l'utilisation de ces deux modes d'action. Une préférence est donnée au mode passif quand il est techniquement possible. Des critères de qualité sont exigés pour le mode actif, notamment la tolérance à la première défaillance : doublement de l'organe de sécurité (redondance). La sécurité fonctionnelle reste l'un des moyens les plus importants pour la prise en compte des risques. D'autres moyens de réduction ou d'élimination des risques, tels que la sécurité intégrée dans la conception, sont également d'une importance essentielle.

1.1.2. Sécurité fonctionnelle

1.1.2.1. Définition

Selon la norme IEC 61061, la sécurité fonctionnelle est le sous-ensemble de la sécurité globale se rapportant à la machine et au système de commande de la machine qui dépend du fonctionnement correct des systèmes électriques de commande relatifs à la sécurité, des systèmes relatifs à la sécurité basés sur une autre technologie et des dispositifs externes de réduction de risque.

Suivant la norme IEC 61508 (CEI61508, 1998), la sécurité fonctionnelle est le sous-ensemble de la sécurité globale qui dépend du bon fonctionnement d'un système ou d'un équipement en réponse à ses entrées.

La sécurité fonctionnelle veille donc à contrôler l'absence de risques inacceptables qui pourraient :

- Engendrer des blessures ;
- Porter atteinte, directement ou indirectement, à la santé des personnes ;
- Dégrader l'environnement ;
- Altérer la propriété.

La sécurité fonctionnelle couvre les produits ou systèmes mettant en œuvre des solutions de protection fondées sur diverses technologies : Mécanique, hydraulique, pneumatique, électrique, électronique, électronique programmable, optique, etc. ou toute combinaison de ces technologies.

1.2. Systèmes Instrumentés de Sécurité

Selon la norme CEI 61511 (CEI61511, 2000), les systèmes instrumentés de sécurité (SIS) sont l'ensemble de matériels utilisés pour mettre en œuvre une ou plusieurs fonctions instrumentées de sécurité. Ils se composent de n'importe quelle combinaison de capteur (s), d'unités logique (s) et d'élément (s) terminal (aux).

Un système instrumenté de sécurité vise à mettre le procédé en un état stable ne présentant pas de risque pour l'environnement et les personnes lorsque le procédé s'engage dans une voie comportant un risque réel pour le personnel et l'environnement (explosion, feu...). (Mkhida, 2009)

Les SIS sont constitués de différents éléments unitaires reliés entre eux par des moyens de transmissions. Au minimum, on retrouve en série un capteur, une unité de traitement et un actionneur.

a. Capteur : Est un équipement qui délivre, à partir d'une grandeur physique (température, débit, etc.), une autre grandeur, souvent électrique (tension, courant, résistance), fonction de la première et directement utilisable pour la mesure ou la commande.

b. Unité de traitement : Sa fonction consiste à activer la commande d'un ou plusieurs actionneurs à partir d'une fonction combinatoire des informations délivrées par différents capteurs.

c. Actionneurs : Un actionneur peut être une vanne, un servomoteur ou tout autre équipement qui transforme un signal (électrique ou pneumatique) en phénomène physique qui permet de commander le démarrage d'une pompe, la fermeture ou l'ouverture d'une vanne... Selon l'énergie motrice, on parle d'actionneur pneumatique, hydraulique ou électrique.

Enfin, l'unité de traitement est reliée aux capteurs et aux actionneurs par des moyens de transmission.

Un certain nombre de propriétés caractérisent les systèmes instrumentés de sécurité :

- Les SIS nécessitent une énergie extérieure pour remplir leur fonction de sécurité.
- Plusieurs capteurs ou actionneurs peuvent être reliés à une même unité de traitement ou plusieurs unités de traitement.
- Toutes les combinaisons de capteurs, d'unités de traitement et d'actionneurs qui sont exigées pour accomplir des fonctions de sécurité sont considérées comme une partie de SIS.

L'ensemble des sous-fonctions de sécurité contribue à assurer la sécurité fonctionnelle. Cette dernière constitue la sécurité relative aux équipements et aux systèmes de contrôle-commande associés, qui dépend du fonctionnement correct de systèmes électriques, électroniques programmables, électroniques (E/E/PE) concernés par la sécurité (CEI61508, 1998).

1.2.1. Fonction Instrumentée de Sécurité

Une fonction instrumentée de sécurité (SIF, Safety Instrumented Function) est utilisée pour décrire les fonctions de sécurité implémentées par un SIS. Une SIF peut être considérée comme une barrière de protection fonctionnelle lorsque le SIS est considéré comme un système

réalisant cette barrière de sécurité (Sklet, 2005). Le but de la SIF est d'atteindre ou de maintenir dans un état sûr les équipements contrôlés, dans le cadre d'un évènement dangereux particulier.

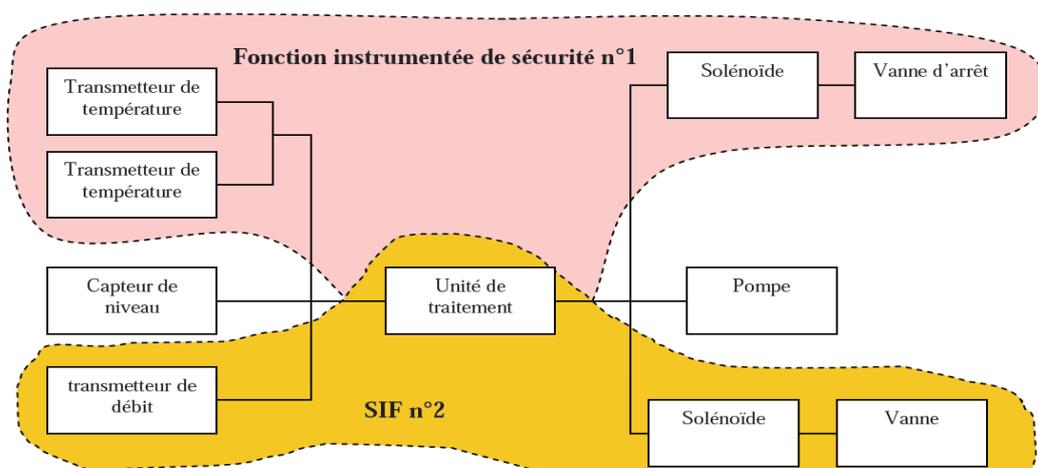


Figure 1 Fonctions instrumentées de sécurité (Mkhida, 2009)

La figure 1 illustre la définition d'un SIS et des SIF qui sont exécutées. Cette figure illustre, entre autres, une fonction instrumentée de sécurité (SIF n°1) qui surveille la température du procédé et fait fermer une vanne d'isolement en cas de dérive de température de procédé vers un état dangereux. Les autres SIF exécutées dans cet exemple de SIS sont la surveillance du débit et du niveau et leurs actionneurs associés.

1.2.2. Niveaux d'intégrité de sécurité

Les normes CEI 61508 et CEI 61511 spécifie le niveau d'intégrité de sécurité des systèmes de protections (SIL, Safety Integrity Level) qui représente le niveau de réduction du risque qu'ils doivent apporter. Plus le SIL à une valeur élevée, plus la réduction du risque est importante. Par exemple un système de SIL 4 apporte un facteur réduction de la probabilité du risque (RRF, Risk Reduction Factor) entre 10^4 à 10^5 alors qu'un système de SIL 1 comporte un RRF compris entre 10 à 10^2 seulement. Le RRF a une relation avec la probabilité de défaillance du SIS qui est exprimée par la probabilité sur une année qu'il ne réponde pas lorsqu'il est sollicité.

Les SILs se caractérisent par des indicateurs discrets positionnés sur une échelle à quatre niveaux. Le SIL 4 désigne le degré de sécurité le plus élevé du fait de l'exigence forte de sécurité imposée et le SIL 1 désigne l'exigence la plus faible. Les SILs sont employés pour spécifier les exigences de SIF selon la norme CEI 61508 et CEI 61511.

L'étude des barrières de sécurité permet de déterminer le SIL des SIFs (allocation des SILs) et l'analyse des risques permet de déterminer le SILs requis, c'est-à-dire la réduction qu'il faut avoir pour rendre le risque acceptable. La comparaison entre ces deux valeurs, permet d'apprécier l'adéquation des barrières de sécurité.

Chapitre 1

Tableau 1 Niveaux d'intégrité de sécurité, Fonctionnement à la sollicitation

SIL	PFD _{avg} (/an)	RRF (/an)
4	$10^{-5} \leq \text{PFD}_{\text{avg}} < 10^{-4}$	$10000 \leq \text{RRF} < 100000$
3	$10^{-4} \leq \text{PFD}_{\text{avg}} < 10^{-3}$	$1000 \leq \text{RRF} < 10000$
2	$10^{-3} \leq \text{PFD}_{\text{avg}} < 10^{-2}$	$100 \leq \text{RRF} < 1000$
1	$10^{-2} \leq \text{PFD}_{\text{avg}} < 10^{-1}$	$10 < \text{RRF} < 100$

1.2.3. Structures des SIS et leur fiabilité

Les systèmes instrumentés de sécurité présentent plusieurs structures c'est-à-dire la manière dont ses composants sont agencés. Pour les structures à configurations simples, leurs fiabilités est obtenues en utilisant les équations simplifiées décrites dans les normes CEI61511 et CEI61508.

Nous donnerons ci-dessous les structures qui seront utilisées dans ce mémoire.

1.2.3.1. Système série

Le système en série (Figure 2) est un système caractérisé par un enchaînement linéaire de n éléments. D'après cette structure la défaillance de l'un des n composants entraînera la défaillance du système complet car le fonctionnement de chaque élément dépend du fonctionnement de celui qui le précède (Christiane, 1997).



Figure 2 Système série

La fiabilité du système complet R_S est égale au produit des fiabilités de chaque composant :

$$R_S = \prod_{i=1}^n R_i$$

1.2.3.2. Système parallèle

Le système parallèle (Figure 3) est caractérisé par une association parallèle de tous les composants. Dans cette structure la défaillance de l'un ou de plusieurs éléments n'entraîne pas la panne du système. Ce dernier n'est défaillant que si l'ensemble des éléments tombent en panne.

Chapitre 1

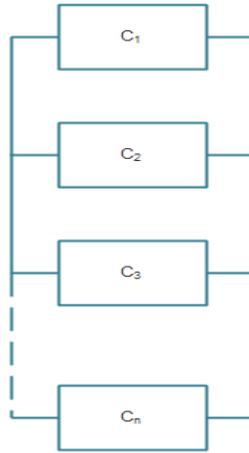


Figure 3 Système parallèle

La probabilité de panne du système F_S est égale au produit de la probabilité de panne de chaque composant.

$$F_S = \prod_{i=1}^n F_i$$

Alors la fiabilité R_S du système est :

$$R_S = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

Avec :

$$R_S = 1 - F_S$$

Et :

$$R_i = 1 - F_i$$

1.2.3.3. Système parallèle-série

C'est un système constitué de n sous-système connectés en série tel que chaque sous-système est composé de k éléments placés en parallèle. Cette configuration est le résultat de l'association des deux systèmes série et parallèle (Christiane, 1997)(Figure N°4).

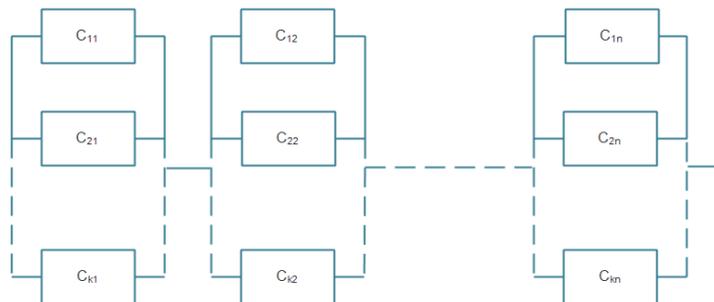


Figure 4 Système parallèle-série

Chapitre 1

Le calcul de la fiabilité se fait en réduisant le système complet en un système série tel que chaque sous système en parallèle est modélisé par un seul composant.

La fiabilité d'un sous-système en parallèle j est égale à :

$$R_j = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - R_{ij})$$

Alors que la fiabilité R_S du système complet est égale à :

$$R_S = \prod_{j=1}^n R_{ij}$$

$$R_S = \prod_{j=1}^n [1 - \prod_{i=1}^k (1 - R_{ij})]$$

Chapitre 2

Optimisation des Systèmes Instruments de sécurité par les algorithmes génétiques

Chapitre 2 : Optimisation des architectures des Systèmes Instrumentés de Sécurité

Introduction

Dans le cadre de la conception des SIS, les fiabilistes assignent aux SIS la réalisation des objectifs de sûreté de fonctionnement (PFD_{avg} ou fiabilité moyenne $R=1-PFD_{avg}$) dès la phase d'expression du besoin en réduction de risque. Cet assignement a pour but, d'une part, d'aider le concepteur à rationaliser ses choix de composants et, d'autre part, de garantir à l'exploitant les objectifs de sûreté de fonctionnement exigés. Dans la figure 5, nous présentons un organigramme simplifié illustrant les étapes nécessaires pour la conception des SIS (Gruhn & Cheddie, 2006)

Il est primordial de trouver une stratégie d'allocation des objectifs de sûreté de fonctionnement au niveau des composants du SIS qui permette d'établir le meilleur compromis entre le coût de conception du SIS et les objectifs de sûreté de fonctionnement qui sont exprimés sous forme du SIL requis.

Dans notre travail, le problème de conception des SIS est ramené à un problème de minimisation du coût global du SIS sous contrainte du SIL exigé. Le SIL est exprimé en fonction de fiabilité moyenne R (qui est égale à la disponibilité dans le cas de système non réparable) du SIS. La conception optimale du SIS se fait donc par le choix du nombre et des types de composants dans chaque sous-système du SIS qui garantissent un coût global minimal et le SIL exigé. Ce problème d'allocation fait partie des problèmes d'allocation de fiabilité et de redondance. (Sellak, 2007)

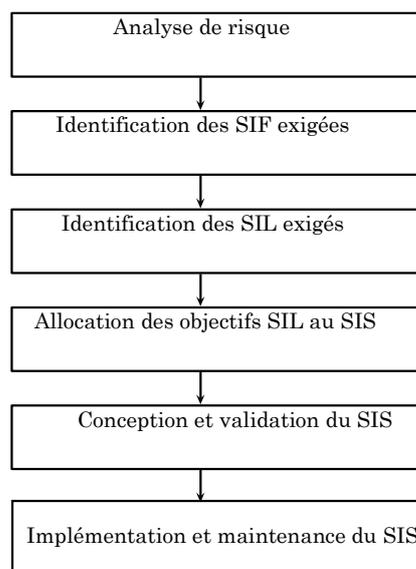


Figure 5 Organigramme simplifié de conception des SIS

Dans ce chapitre, nous traitons le problème de conception optimale des SIS pour le respect du SIL exigé. Nous commençons par donner un état de l'art des méthodes d'allocation de fiabilité et de redondance. Ensuite, nous nous focaliserons sur les algorithmes génétiques, l'une des approches les plus utilisées pour résoudre le problème d'optimisation des SIS.

2.1. Méthodes d'optimisation des SIS

L'optimisation de la fiabilité est un domaine qui a suscité beaucoup d'intérêt de la part des chercheurs et des industriels à partir des années 60. En effet, la prise en compte de la fiabilité des composants lors de la conception des systèmes permet d'avoir une idée précise du coût et de la fiabilité totale du système. Pour augmenter la fiabilité d'un système, plusieurs méthodes peuvent être utilisées :

- Affectation de la fiabilité aux composants.
- Ajout de composants en redondance.
- Combinaison des deux techniques précédentes.

Chaque technique décrite précédemment nécessite des ressources. La diversité des structures des systèmes, des contraintes sur les ressources et des options pour améliorer la fiabilité ont abouti à la construction et l'analyse de plusieurs modèles d'optimisation.

Kuo *et al.* (Kuo, Prasad, & Tillman, 1978) classent les méthodes d'optimisation de fiabilité selon :

- La structure des systèmes : séries parallèles, systèmes possédant une structure en réseaux, systèmes à redondance k parmi n , systèmes à structure indéfinie, etc.
- Le type de problème.
- Les techniques d'optimisation : heuristiques, méta-heuristiques (algorithmes génétiques, recherche tabou, etc.), algorithmes exacts (programmation dynamique, méthodes du gradient, etc.) ou autres méthodes (décomposition, apportement flou, etc.). (Simon, Sallak, & Aubry, 2007)

L'objectif de l'allocation de redondance est de déterminer une configuration optimale du système qui maximise sa fiabilité sous certaines contraintes (coût, poids, volume, etc.). Les variables de décision représentent le nombre de composants à placer en parallèle dans chaque sous-système du système. En général, nous supposons que les composants sont identiques dans chaque sous-système. Les sous-systèmes étant montés en série.

Dans la section suivante, nous allons nous focaliser sur l'optimisation par les algorithmes génétiques que nous avons utilisée.

2.2. Algorithme génétique

La résolution du problème de minimisation du coût global du SIS sous contrainte du SIL exprimé en fonction de la disponibilité ou de la fiabilité du SIS n'est pas aisée. Pour résoudre ce type de problème, il existe diverses méthodes qui se divisent principalement en deux catégories : les méthodes déterministes et les méthodes stochastiques.

- *Les techniques stochastiques* tournent principalement autour des algorithmes stochastiques d'évolution de populations (AG, recuit simulé, etc.), qui sont des méthodes d'optimisation globale. Elles sont robustes, parallélisables et permettent de déterminer l'optimum global d'une fonction. Leur inconvénient majeur réside dans le nombre important d'évaluations nécessaires pour obtenir l'optimum recherché.
- *Les méthodes déterministes* de type gradient présentent en revanche l'avantage de converger rapidement vers un optimum. Cependant, elles ne sont pas aussi robustes que les techniques stochastiques et, n'assurent pas que l'optimum déterminé est un optimum global. En outre, elles dépendent beaucoup du point de départ de recherche de l'extremum (Li & Aggarwal, 200).

Développés par Holland (Holland, 1975) à l'université du Michigan, les AG sont des méthodes d'optimisation de fonctions. Ces algorithmes s'inspirent de l'évolution génétique des espèces. Schématiquement, ils copient de façon extrêmement simplifiée certains comportements des populations naturelles. Ainsi, ces techniques reposent toutes sur l'évolution d'une population de solutions qui sous l'action de règles précises optimisent un comportement donné, exprimé sous forme d'une fonction, dite fonction sélective (fitness) ou fonction objectif (Holland, 1975).

2.2.1. Nomenclature des AG

Les AG étant basés sur des phénomènes biologiques, il convient de rappeler au préalable les termes utilisés dans les AG et leur signification biologique (cf. tableau 4.2).

Chapitre 2

Tableau 2 Résumé de la terminologie utilisée en AG (Sellak, 2007)

Terme	AG	Signification biologique
Gène	Trait, caractéristique	Une unité d'information transmise par un individu à sa descendance
Locus	Position dans une chaîne	L'emplacement d'un gène dans son chromosome
Allèle	Différentes versions d'un même gène	Une des différentes formes que peut prendre un gène,
Chromosome	Chaîne	Une structure contenant les gènes
Génotype	Structure	L'ensemble des allèles d'un individu portés par l'ADN d'une cellule vivante
Phénotype	Ensemble des paramètres ou d'une structure décodée	Aspect physique et physiologique observable de l'individu obtenu à partir de son génotype.
Epistasie	Non linéarité	Terme utilisé pour définir les relations entre deux gènes distincts, lorsque la présence d'un gène empêche la présence d'un autre gène non allèle.

2.2.2. Avantage des AG

L'utilisation des AG présente plusieurs avantages :

- L'utilisation unique de l'évaluation de la fonction objectif sans se soucier de sa nature. En effet, nous n'avons besoin d'aucune propriété particulière sur la fonction à optimiser (continuité, dérivabilité, convexité, etc.), ce qui lui donne plus de souplesse et un large domaine d'application.
- Génération d'une forme de parallélisme en travaillant sur plusieurs points en même temps (population de taille N) au lieu d'un seul itéré dans les algorithmes classiques.
- L'utilisation des règles de transition probabilistes (probabilités de croisement et de mutation), contrairement aux algorithmes déterministes où la transition entre deux itérations successives est imposée par la structure et la nature de l'algorithme. Cette utilisation permet, dans certaines situations, d'éviter des optimums locaux et de se diriger vers un optimum global.

2.2.3. Inconvénients des AG

L'utilisation des AG présente aussi quelques inconvénients :

- Si l'AG nous garantit de trouver une bonne solution approchante, il ne nous garantit pas de trouver la valeur optimale.
- Suivant le problème, la résolution par l'AG peut être coûteuse en temps.
- Comme toutes les méta-heuristiques, le bon fonctionnement d'un AG dépend fortement de ses paramètres, et il n'existe pas une méthode universelle permettant de choisir ces paramètres.

2.2.4. Concepts de base

Un AG est un algorithme itératif de recherche d'optimum, il manipule une population formée de points candidats appelés chromosomes. La taille constante de la population entraîne un phénomène de compétition entre les chromosomes. Chaque chromosome représente le codage d'une solution potentielle au problème à résoudre. Il est constitué d'un ensemble d'éléments appelés gènes, pouvant prendre plusieurs valeurs appartenant à un alphabet non forcément numérique (Ludovic, 1994). A chaque itération, appelée génération, une nouvelle population est créée avec le même nombre de chromosomes. Cette génération consiste en des chromosomes mieux adaptés à leur environnement tel qu'il est représenté par la fonction sélective. Au fur et à mesure des générations, les chromosomes vont tendre vers un optimum de la fonction sélective. La création d'une nouvelle population à partir de la précédente se fait par application des opérateurs génétiques que sont : la sélection, le croisement et la mutation (Goldberg, 1994). Ces opérateurs sont stochastiques. La sélection des meilleurs chromosomes est la première opération dans un AG. Au cours de cette opération l'algorithme sélectionne les éléments pertinents qui optimisent mieux la fonction. Le croisement permet de générer deux chromosomes nouveaux "enfants" à partir de deux chromosomes sélectionnés "parents", tandis que la mutation réalise l'inversion d'un ou plusieurs gènes d'un chromosome. La figure 6 illustre la séquence des opérations qui interviennent dans un AG de base.

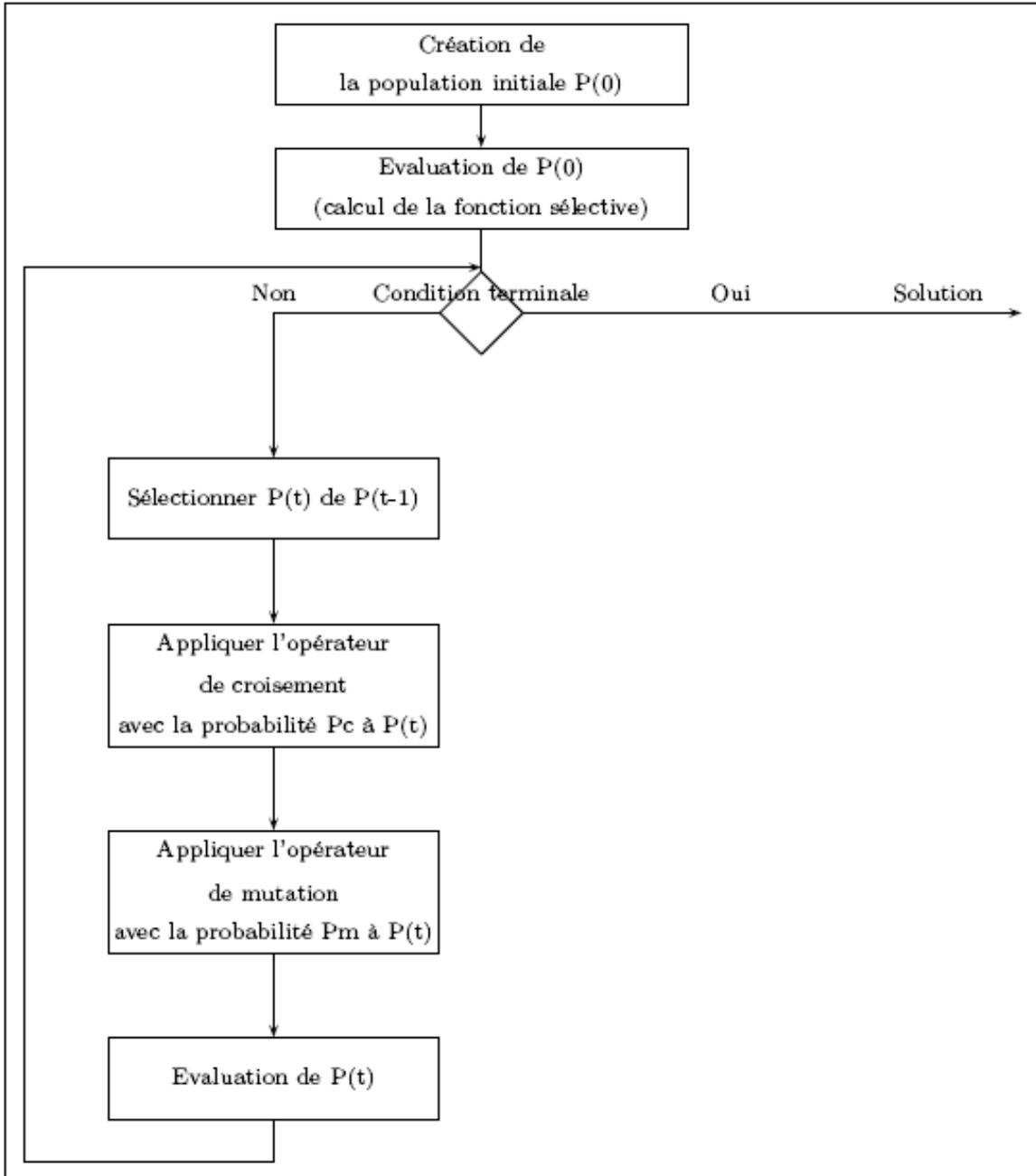


Figure 6 Algorithme génétique de base (Ouarzizi, 1997)

2.2.5. Opérateurs des AG

Les opérateurs jouent un rôle prépondérant dans la possible réussite d'un AG. Nous en dénombrons trois principaux : la sélection, le croisement et la mutation.

2.2.5.1. Codage des solutions

Dans un AG, nous ne travaillons pas directement avec les données du problème mais avec une représentation de celles-ci appelées codage. La forme codée d'une solution est une chaîne qu'on appellera chromosome. Ce chromosome est à son tour constitué d'éléments qu'on appellera gènes. Dans une population, nous parlerons indifféremment de chromosomes et d'individus. Le

choix du codage dépend de la spécificité du problème traité. Il conditionne fortement l'efficacité de l'AG. Dans la littérature, nous trouvons trois types de codage :

- Numérique si l'alphabet est constitué de chiffres.
- Symbolique si l'alphabet est un ensemble de lettres alphabétiques ou de symboles.
- Alphanumérique si nous utilisons un alphabet combinant les lettres et les chiffres.

2.2.5.2. Population initiale

Une fois le codage choisi, une population initiale formée de solutions admissibles (chromosomes) du problème doit être déterminée. Plusieurs mécanismes de génération de la population initiale sont utilisés dans la littérature. La population initiale peut être générée aléatoirement, par duplication et évolution, en s'appuyant sur une heuristique ou peut être personnalisée selon le type de problème qu'on a.

2.2.5.3. Taille des populations

Il n'y a pas de standardisation quant au choix de la taille des populations. Des tailles de population faibles augmenteront la vitesse de convergence de l'algorithme, mais aussi le risque de convergence prématurée vers des solutions non optimales. Des tailles de population trop grandes risquent au contraire de ralentir fortement la progression de l'algorithme.

2.2.5.4. Sélection

La sélection a pour objectif d'identifier les individus qui doivent se reproduire. Cet opérateur ne crée pas de nouveaux individus mais identifie les individus sur la base de leur fonction d'adaptation. Les individus les mieux adaptés sont sélectionnés alors que les moins bien adaptés sont écartés. Ceci permet de donner aux individus dont la valeur de la fonction sélective est plus grande une probabilité plus élevée de contribuer à la génération suivante.

Il existe plusieurs types de sélection :

- Sélection par rang : Cette technique de sélection choisit toujours les individus possèdent les meilleurs scores d'adaptation, le hasard n'entre donc pas dans ce mode de sélection. En fait, si n individus constituent la population, la sélection appliquée consiste à conserver les k meilleurs individus (au sens de la fonction objectif) suivant une probabilité qui dépend du rang (et pas de fitness).
- Sélection par roulette (Wheel). Pour chaque individu, la probabilité d'être sélectionné est proportionnelle à son adaptation au problème. Afin de sélectionner un individu, on utilise le principe de la roue de la fortune où chaque individu est représenté par une portion proportionnelle à son adaptation. La sélection s'effectue ensuite selon un tirage au sort homogène sur cette roue.

Chapitre 2

- Sélection par tournoi. Cette technique utilise la sélection proportionnelle sur des paires d'individus, puis choisit parmi ces paires l'individu qui a le meilleur score d'adaptation.
- Sélection uniforme. Cette sélection se fait aléatoirement, uniformément et sans intervention de la valeur d'adaptation. Chaque individu a donc une probabilité $1/p$ d'être sélectionné, où p est le nombre total d'individu dans la population.

2.2.5.5. Croisement

Le croisement a pour but d'enrichir la diversité de la population en manipulant la structure des chromosomes. Classiquement, les croisements sont envisagés avec deux parents et génèrent deux enfants. Plusieurs techniques de croisement sont utilisées dont les principaux sont le croisement barycentrique et le croisement à un ou plusieurs points (Goldberg, 1994). Le croisement à deux points est l'un des croisements les plus utilisés. Il consiste à couper le chromosome en deux points choisis aléatoirement et recombinaison les morceaux en croisant les chromosomes. Une probabilité de croisement P_C signifie que, quand deux parents sont candidats à la reproduction, nous tirons un réel x aléatoirement selon une loi uniforme sur l'intervalle $[0,1]$, si x est inférieur à P_C , nous croisons alors les parents. Les valeurs généralement admises sont comprises entre 0,5 et 0,9 (Goldberg, 1994).

2.2.5.6. Mutation

L'opérateur de mutation permet d'introduire un facteur aléatoire dans les solutions générées, et d'élargir ainsi l'espace des solutions explorées (Goldberg, 1994) pour éviter à l'AG de s'enliser dans des optima locaux. Pour les codages en nombre réels, la mutation consiste à modifier légèrement quelques gènes des chromosomes. En général, on choisit une faible probabilité de mutation. Cette probabilité de mutation représente la fréquence à laquelle les gènes d'un chromosome sont mutés. Par exemple, une mutation très utilisée est de tirer aléatoirement un seul gène dans le chromosome et à le remplacer par une valeur aléatoire avec une probabilité de mutation P_m . Cet opérateur est donc d'une grande importance. La probabilité de mutation P_m est généralement faible puisqu'un taux élevé risque de conduire à une solution sous-optimale.

2.2.5.7. Remplacement

Cet opérateur est le plus simple, son travail consiste à réintroduire les descendants obtenus par application successive des opérateurs de sélection, de croisement et de mutation (la population P') dans la population de leurs parents (la population P).

Ce faisant, ils vont remplacer une certaine proportion de ceux-ci, proportion pouvant bien sûr être choisie. Le rapport entre le nombre d'individus nouveaux allant être introduits dans la

population P et le nombre d'individus de cette population est connu sous le nom de generation gap.

Nous trouvons essentiellement deux méthodes de remplacement différentes :

- Le remplacement stationnaire : dans ce cas, les enfants remplacent automatiquement les parents sans tenir compte de leurs performances respectives, et le nombre d'individus de la population ne varie pas tout au long du cycle d'évolution simulé, ce qui implique donc d'initialiser la population initiale avec un nombre suffisant d'individus.
- Le remplacement élitiste : dans ce cas, nous gardons au moins l'individu possédant les meilleures performances d'une génération à la suivante. En général, nous pouvons partir du principe qu'un nouvel individu (enfant) ne prend place au sein de la population que s'il remplit le critère d'être plus performant que le moins performant des individus de la population précédente.

2.2.5.8. Choix des paramètres des AG

Comme pour toute heuristique d'optimisation, l'efficacité d'un algorithme génétique dépend du choix de ses paramètres (probabilités liées aux opérateurs d'évolution, taille des populations, etc.) qui gouvernent l'exploration des solutions et des conditions initiales. Il n'y a pas de règle générale pour le choix de ces paramètres. Pour qu'un AG ait des bonnes performances, il doit être exécuté plusieurs fois avec différentes tailles de population, probabilités de croisement et de mutation afin de trouver l'ensemble des paramètres qui conviennent le plus à l'utilisateur (Sellak, 2007).

Partie 2

Partie pratique

Chapitre 3

Application

Introduction

Ce premier chapitre est organisé en trois parties, nous présenterons sommairement le groupe SONELGAZ dans le monde, avant de nous focaliser sur notre cas d'étude : la centrale électrique Hamma II, où nous allons passer en revue son organisation, ses processus et les unités qui la constituent.

Dans la deuxième partie nous appliquerons les algorithmes génétiques pour optimiser la conception d'un nouveau SIS qui est système déluge pour système fuel où nous allons essayer de le concevoir suivant deux cas : le cas où on a qu'un seul choix dans le marché pour chaque composant et le cas où plusieurs fournisseurs sont en mesure d'offrir ce composant.

3.1. Présentation de l'organisme d'accueil

Dans cette partie nous allons présenter l'organisme d'accueil SONELAZ ainsi que ses activités.

3.1.1. Présentation du groupe SONELGAZ

SONELGAZ est une entreprise algérienne appartenant au secteur économique spécialisée dans la production, le transport et la distribution de l'électricité et du gaz.

Créée en Algérie, l'entreprise s'est progressivement développée pour devenir aujourd'hui un groupe industriel international, composé de 29 filiales et employant plus de 47000 travailleurs.

3.1.2. Activités du groupe SONELGAZ

SONELGAZ est composée de trois branches d'activités : la production, le transport, la distribution et la commercialisation de l'électricité et du gaz, tant en Algérie qu'à l'étranger.

- Activité production : c'est l'activité consistant à transformer l'énergie calorifique ou hydraulique en énergie mécanique puis électrique.
- Activité transport : cette activité englobe le transport de l'électricité et le transport du gaz.
- Activité distribution électricité et gaz : consiste à alimenter l'ensemble des clients industriels et les abonnés domestiques.

Ajoutant aussi que SONELGAZ a toujours joué un rôle prépondérant dans le développement économique et social du pays. Sa contribution dans la concrétisation de la politique énergétique nationale sont à la mesure des programmes de réalisation importants en matière d'électrification rurale et de distribution publique du gaz, qui ont permis de hisser le taux de couverture en électricité à plus de 99% et le taux de pénétration du gaz à plus de 52 %.¹

3.1.3. La centrale électrique Hamma II

Conçue et réalisée dans le but de sécuriser la ville d'Alger en matière d'alimentation en énergie électrique et d'assurer un appoint au réseau général interconnecté. La centrale électrique HAMMA II a été mise en service en 2002.

¹ www.sonelgaz.dz

Cette centrale affiche en matière de disponibilité de production, un taux élevée allant jusqu'à 99% supérieur à la moyenne internationale qui est de 95%.²

3.1.3.1. Description générale

La centrale est équipée de deux groupes turbines à gaz monté par le constructeur italien ANSALDO sous licence SIEMENS. La puissance totale nominale de base aux bornes usine est égale à 418 MW (209 MW chacune). L'énergie est évacuée à travers un poste de transformation de 220KV.

La centrale peut fonctionner avec deux combustibles

- Gaz naturel (combustible principale) ;
- Fuel (combustible de secours)

Chaque groupe thermique est alimenté par un système de réseau gaz composé de quatre lignes ou rampes de détente et de pompage du combustible. Le gaz naturel est délivré à la centrale HAMMA II à travers un gazoduc provenant de la ville de Hassi R'Mel.

Les groupes sont installés dans des enceintes appelées « package » et placé dans une salle de machines commune avec possibilités d'exploitation à partir d'une salle de commande.

3.1.3.2. Organisation

L'établissement est placé sous la responsabilité d'un Directeur unique. Il est représenté par un comité de Direction comprenant :

- Le responsable de division Technique ;
- Le responsable de la subdivision Production ;
- Le responsable de la subdivision finance /comptabilité ;
- Le responsable des Ressources Humaines.

Le service Hygiène, Sécurité et Environnement (HSE) est rattaché directement au Directeur de l'établissement. Ce service anime et coordonne la sécurité de l'ensemble de l'établissement ainsi que la formation du personnel

3.2. Application des algorithmes génétiques pour la conception optimale du système déluge

Le système déluge est utilisé dans le but de contenir et d'éteindre les feux qui peuvent survenir dans le système fuel à cause de plusieurs évènements initiateurs. Il est constitué de capteurs de température, d'un traitement logique et de vannes déluge placées dans le circuit d'anti-incendie.

D'après l'analyse de barrières qui s'est faite sur les scénarios faisant intervenir le système déluge, ce dernier doit avoir un SIL de niveau 2.

L'architecture de ce SIS est de type série parallèle et ses composants sont considérés comme non réparables, ce qui implique que la fiabilité du système est égale à sa disponibilité.

² www.sonelgaz.dz

3.2.1. Premier cas : Un seul fournisseur pour chaque composant

Le problème se ramène à un problème d'allocation de la redondance dans chaque sous-système du SIS, c'est-à-dire le nombre de composant à placer dans chaque sous-système. On essaie de minimiser le coût du SIS tout en atteignant l'objectif de la fiabilité

Les données relatives aux composants de ce SIS sont données dans le tableau 3.

Tableau 3 Fiabilité et le coût des composant

	Fiabilité (R)	Coût \$
Capteur de température	0,994	300
Unité de traitement logique	0,931	100
Vanne déluge	0,991	1000

La recherche d'une solution à un problème d'optimisation à l'aide des AG requiert la présentation, avant toute chose, sous une *forme codée* de l'expression des solutions : *les chromosomes*.

Dans notre cas, chaque chromosome est constitué de trois gènes, chacun représente le nombre de redondance dans chaque sous système.

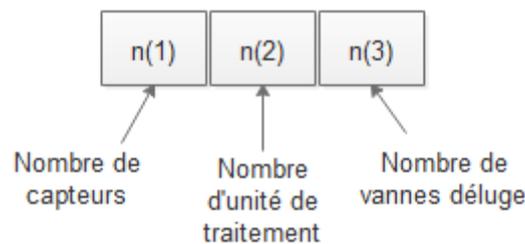


Figure 7 Codage de la solution du premier cas

La fonction objective, c'est-à-dire la fonction à optimiser, représente le coût du SIS et est donnée par :

$$\text{cost} = n(1) \cdot 300 + 100 \cdot n(2) + 1000 \cdot n(3)$$

La fiabilité du SIS en fonction de la fiabilité de ses composants et le nombre de redondance dans chaque sous-système est donnée par :

$$R_{\text{sys}} = (1 - (1 - R_{\text{capteur}})^{n(1)}) \times (1 - (1 - R_{\text{traitement}})^{n(2)}) \times (1 - (1 - R_{\text{Actionneur}})^{n(3)})$$

Le SIL requis pour ce SIS est de niveau 2, c'est-à-dire que sa probabilité de défaillance est comprise entre :

$$10^{-3} \leq PFD_{\text{avg}_{\text{sys}}} < 10^{-2}$$

Avec :

$$R_{\text{sys}} = 1 - PFD_{\text{avg}_{\text{sys}}}$$

Alors la contrainte non linéaire de l'AG est :

$$0.99 < R_{\text{sys}} \leq 0.999$$

La borne inférieure des trois variables est égale à 1, c'est-à-dire qu'on doit avoir au moins un composant dans chaque sous système.

Chapitre 3

Afin de faciliter l'usage des algorithmes génétiques, leur déroulement est désormais entièrement supporté par l'outil « Optimization Toolbox » de l'environnement MATLAB³, dont l'interface est représenté à la figure 8.

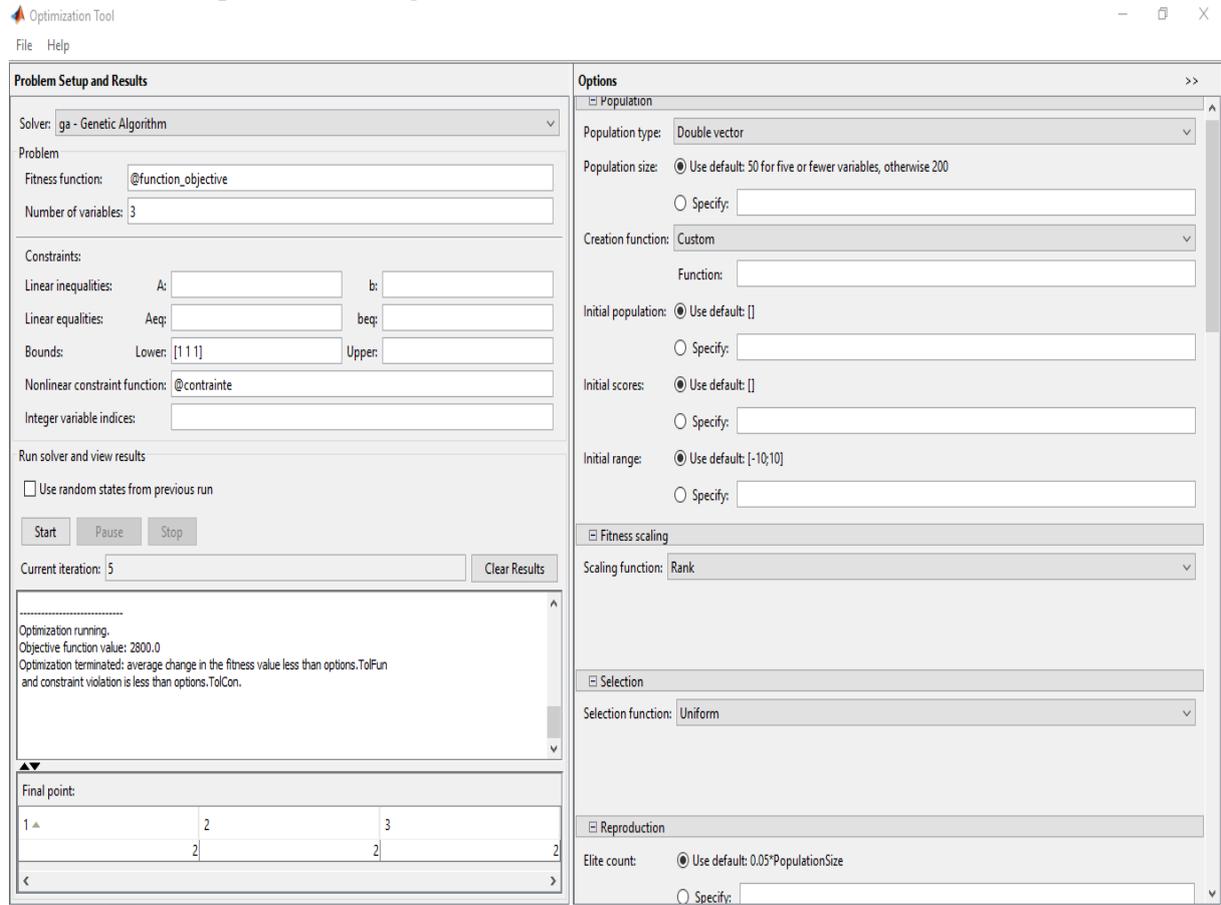


Figure 8 L'interface de l'environnement des AG de MATLAB

Le paramétrage des opérateurs les plus importants de l'AG s'effectue comme suit :

- Nombre des individus dans la population : 50 ;
- Type de sélection : uniforme ;
- Type de croisement : Two point (deux points) ;
- Type de mutation : Adaptive feasible ;
- Critère d'arrêt : nombre maximal de génération, etc.

Les autres paramètres de l'AG ont été pris par défaut.

Le résultat obtenu est représenté par le vecteur : [2, 2, 2]. C'est-à-dire qu'on a 2 capteurs, 2 unités de traitement logique et 2 vannes déluges. L'architecture de ce SIS est présentée dans la figure 9.

³ Matlab R2015a

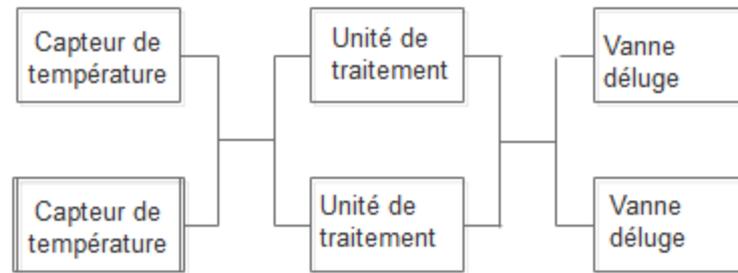


Figure 9 Architecture du SIS

Le prix de ce SIS donné par la fonction objective est égale à 2800 \$ et sa fiabilité est égale à 0.9951, ce qui correspondant effectivement à un SIL 2, puisque :

$$PFD_{avg} = 1 - R_{sys} = 1 - 0.9951 = 4.9 \cdot 10^{-3}$$

Le même résultat est obtenu en utilisant un algorithme déterministe de type « gradient » par la fonction fmincon de MATLAB en spécifiant la solution de départ égale à : [1 1 1].

3.2.2. Deuxième cas : Plusieurs fournisseurs pour chaque composant

Le but de l'application des AG dans ce cas est de trouver le nombre de redondance dans chaque sous-système mais également les types de composants à placer. Ces dernières peuvent provenir d'un ou de plusieurs fournisseurs et chaque composant est caractérisé par un prix et une fiabilité.

Les données relatives aux différents types des composants du SIS sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4 Donnée relatives aux différents des différents composants du SIS

		Fiabilité (R)	Coût \$
Capteur de température	Type 1	0,994	300
	Type 2	0.995	325
	Type 3	0.992	250
Unité de traitement logique	Type 1	0,931	100
	Type 2	0.96	200
	Type 3	0.97	250
Vanne déluge	Type 1	0,991	1000
	Type 2	0.995	1200
	Type 3	0.998	1600

Puisque on ne connaît pas le nombre de composants que chaque sous-système doit avoir, on code la solution sous forme d'un chromosome constitué de 15 gènes, 5 gènes pour chaque sous-système. Chaque gène va représentera le prix d'un type de composant. Si un gène est affecté avec une valeur nulle, cela veut dire qu'il n'y a pas de composant.

Chapitre 3

Prix des capteurs					Prix des unités de traitement					Prix des vannes déluges				
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15

Figure 10 Codage de la solution

La fonction objectif (annexe 2) représente le coût du SIS.

La fonction représentant la contrainte du SIL requis fait correspondre à chaque gène, c'est-à-dire à chaque prix, la fiabilité du composant qui le représente (annexe 2).

Dans notre cas, on doit d'écrire une autre fonction pour la génération des solutions (annexe 2). En effet, MATLAB une fonction de création qui affecte des valeurs aléatoires (qu'elles soient de type réelles ou binaires) aux gènes. Or dans notre cas, les gènes ne peuvent prendre que des valeurs déterminées qui représentent le prix d'un composant.

Le nombre des individus dans la population est égal à 200. Les autres paramètres de l'AG sont les mêmes que l'algorithme précédent.

Le résultat obtenu est sous la forme d'un vecteur :

[0 250 0 0 325 100 0 250 0 0 0 1200 0 0 0 0]

Cela signifie qu'on doit placer deux capteurs de température de types 3 et type 2, deux unités de traitement logique de types 1 et type 3 et une vannes déluges de type 2. L'architecture est présentée dans la figure 11.

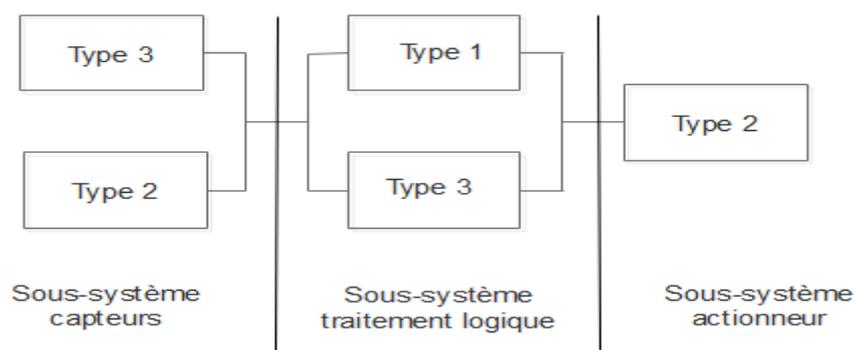


Figure 11 Architecture du SIS

Le prix du SIS est égal à 2125 \$ et sa fiabilité est égal à 0.9929, ce qui correspond à un SIL de niveau 2.

Conclusion générale

Nous avons pu à travers ce travail, optimiser le coût de l'optimisation de l'architecture d'un SIS, tout en respectant les objectifs de sécurité auquel il doit satisfaire, c'est-à-dire que son SIL est égal au SIL requis.

Ce SIS correspond au système déluge mis en place dans le système fuel (système du combustible de secours) afin de contrôler les débuts d'incendies.

La résolution de ce problème de minimisation du coût de la conception du SIS, s'est faite suivant deux cas.

- Dans le premier cas, nous avons déterminé le nombre de composants à mettre dans chaque sous-système du SIS. Pour chaque sous-système, nous ne pouvons placer qu'un type de composant caractérisé par son prix et sa fiabilité.
Le résultat obtenu par l'AG correspond à celui obtenu par un algorithme déterministe. Le prix du SIS est de 2800\$ et son SIL est de niveau 2, ce qui veut dire qu'il satisfait à l'objectif de sureté qu'on lui a assigné.
- Nous avons à déterminer, dans le deuxième cas, le nombre de redondance de chaque sous-système mais aussi le type de composants. En utilisant un AG, nous avons trouvé que le prix minimal satisfaisant au SIL requis 2 est égal à 2324.

Dans notre travail, nous avons traité que des structures simples, comme perspective pour ce travail, nous proposerons d'appliquer les algorithmes génétiques pour des structures présentant des configurations quelconques ou de type complexe.

Références bibliographiques

- CEI61508. (1998). *Functional safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic (E/E/EP) safety related systems.*
- CEI61511. (2000). *Functional safety : safety instrumented systems for the process industry sector.*
- Christiane, C.-T. (1997). *Processus stochastiques et fiabilité des systèmes.* Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Desroches, A., Leroy, A., & Vallès, F. (2003). *La gestion des risques, principes et pratiques.* France: Lavoisier.
- Goldberg, D. (1994). *Algorithmes génétiques.* France: Addison-Wesley.
- Gruhn, P., & Cheddie, H. L. (2006). Safety instrumented Systems, Design, analysis and justification. *ISA.*
- Holland, J. H. (1975). Adaptation in Natural And Artificial Systems. *University of Michigan Press.*
- ISO. (2002). *Management du risque : Vocabulaire, Principes directeurs pour l'utilisation dans les normes. .*
- Kirkwood, D., & Tibbs, B. (2005). Developments in SIL determination. *Comput. & Cont. Eng. J, Vol. 16,* 21-27.
- Kuo, W., Prasad, V. L., & Tillman, F. A. (1978). A note on heuristic methods in optimal system reliability. *IEEE Transactions on Reliability 27,* 320-324.
- Li, F., & Aggarwal, R. K. (200). Fast and accurate power dispatch using a relaxed genetic algorithm and a local gradient technique. *Expert Systems with Applications 19,* 159-165.
- Ludovic, M. (1994). *Audit de sécurité par algorithmes génétiques, PhD thesis.* France: Université de Rennes 1.
- Mkhida, A. (2009). *"Contribution à l'évaluation de la sûreté de fonctionnement des systèmes instrumentés de sécurité intégrant de l'intelligence", Thèse de doctorat.* Lorraine: Ecole Doctorale IAEM Lorraine.
- Ouarzizi, A. E. (1997). Line fitting in noisy data using genetic algorithm. *3ème Conférence internationale sur le contrôle qualité par vision industrielle QCAV'97,* (pp. 214-217).

Références bibliographiques

- Sellak, M. (2007). "*Evaluation de parametres de sureté de fonctionnement en présence d'incertitude et aide à la conception : application aux systèmes instrumentés de sécurité*" Thèse de doctorat. Lorraine: Ecole Doctorale IAEM Lorraine.
- Simon, C., Sallak, M., & Aubry, F. (2007). SIL allocation of SIS by aggregation of experts opinions. *Safety and reliability Conference*, 25-27.
- Sklet, S. (2005). Safety barriers : Definitions, classification and performance. *Journal of loss prevention*, 494-506.

ANNEXES

Annexe 1 : fonctions utilisés pour le premier cas

1. Fonction objectif

```
function prix = fonction_objective(n)
n=floor(n);%floor permet de donnée la partie entière des n
prix=300*n(1)+100*n(2)+1000*n(3);
end
```

2. Fonction de la contrainte

```
function [c, ceq] = contrainte(n)
n=floor(n);
c(1)=- (1-(1-0.994)^n(1)) * (1-(1-0.931)^n(2)) * (1-(1-0.991)^n(3)) +0.99;
c(2)=(1-(1-0.994)^n(1)) * (1-(1-0.931)^n(2)) * (1-(1-0.991)^n(3)) -0.999;
ceq=[];
end
```

Annexe 2 : fonctions utilisées pour le deuxième cas

3. Fonction de création de la population iniale

```
function x = creation
prix_capteurs=[0 300 325 250 ]; % Vecteur des capteurs (0 signifie qu'il y
pas de capteur)
nv=numel(prix_capteurs); %numel donne le nombre d'élément du vecteur
for i=1:10
    idx=randperm(nv); %randperm retourne aléatoirement un des indices du
vecteurs des prix des capteurs
    x(i)= prix_capteurs(idx(1)); %affecter à la variable x(i) un des prix
correspondant à l'indice retourné par randperm
end
prix_traitement=[0 100 200 250];%même chose pour les gènes représentant les
prix des unités de traitement logique
nG=numel(prix_traitement);
for i=11:30
    idx=randperm(nG);
    x(i)= prix_traitement(idx(1));
end
prix_vanne=[0 1000 1200 1600];% aussi pour les gènes représentant les prix
des vannes déluge
nF=numel(prix_vanne);
for i=21:30
    idx=randperm(nF);
    x(i)= prix_vanne(idx(1));
end
x;
end
```

4. Fonction objectif

```
function prix = fonction_objective(x)
prix=sum(x);
end
```

5. Fonction de la contrainte

```
function [c, ceq] = contrainte(x)
capteur=x(1:5);
capteur(capteur==0)=[];% on supprimer les valeurs nulles de chaque sous
système
capteur(capteur==300)=0.994% on fait correspondre à chaque prix sa
fiabilité
capteur(capteur==325)=0.995
capteur(capteur==250)=0.992
traitement=x(6:10);
traitement(traitement==100)=0.931;
traitement(traitement==200)=0.96;
traitement(traitement==250)=0.97;
vanne=x(11:15);
vanne(vanne==0)=[];
vanne(vanne==1000)=0.991;
vanne(vanne==1200)=0.995;
vanne(vanne==1600)=0.998;
Rsys1=1;
for i=1:numel(capteur)
    Rsys1=Rsys1*(1-capteur(i));
end
```

```
end
Rsys1=1-Rsys1;
Rsys2=1;
for i=1:numel(traitement)
    Rsys2=Rsys2*(1-traitement(i));
end
Rsys2=1-Rsys2;
Rsys3=1;
for i=1:numel(vanne)
    Rsys3=Rsys3*(1-vanne(i));
end
Rsys3=1-Rsys3;
c(1)=-Rsys1*Rsys2*Rsys3+0.99;
c(2)=Rsys1*Rsys2*Rsys3-0.999;
ceq=[];
end
```