

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sécurité industrielle

Spécialité : QHSE-GRI

Intitulé

**Modélisation d'un système
d'actionneurs : Application des
Réseaux de Pétri au système
d'arrêt d'urgence d'un rebouilleur**

Etudié par : **M FOUL Bilal**

Encadré par : **Mme Karima Djouadi (ENP)**

M Makhoulf Chati (SH/DP/HR)

Octobre 2015

Remerciement

Je tiens d'abord à remercier Madame ZEBOU DJ Saliha d'avoir accepté la présidence du jury, ainsi que, madame DJOUADI Karima et monsieur BOUSBAL Mohammed de m'avoir fait l'honneur de faire partie mon jury et pour le temps qu'ils sont en train de me consacrer.

J'aimerais remercier également toute l'équipe de SONATRACH à Hassi R'mel pour leur accueil et leur esprit d'équipe, en particulier Monsieur ANOU pour m'avoir accueillis au sein de son équipe et pour la confiance qu'il nous a accordé en suivant ce stage, ses conseils avisés m'ont guidé tout au long de ce travail. Que ce travail soit le témoignage de mon respect.

Je remercie nos encadreurs, monsieur CHATI Makhlouf et madame DJOUADI Karima pour le rôle crucial qu'ils ont joué en supervisant ce projet, principalement pour le savoir qu'ils m'ont transmis et pour le temps qu'ils m'ont consacré, je les remercie également pour les conseils, le soutien et les directives qui furent d'une importance capitale à ma compréhension du sujet et ainsi à l'aboutissement de ce projet.

Je souhaiterais remercier l'ensemble de mes professeurs de l'Ecole Nationale Polytechnique qui ont eu l'amabilité et la gentillesse de répondre à nos questions pendant mes études.

Un merci à tous mes amis, pour leur soutien constant et pour l'atmosphère chaleureuse et rassurante qu'ils ont su créer autour de nous, pendant le stage et mon séjour à Hassi R'mel.

Enfin je remercie ma famille, pour leur soutien moral et financier que je considère être une indispensable contribution à l'achèvement de ce projet.

ملخص

تعتبر شبكات بيتري نهجا واعدة لتحليل وتمثيل وانجاز الأنظمة المعقدة. لكن بالرغم من أنها تعرض العديد من الايجابيات المحتملة، عليها أن تواجه عدة تحديات. في هذا العمل، نهتم باستخدام شبكات بيتري كمنهج تمثيل موجه للتحليل بجانب المناهج التمثيلية الموجهة للعمل.

كلمات البحث: شبكات بيتري, نظام, تمثيل, صمام, مشغل

Résumé

Les Réseaux de Pétri constituent actuellement une approche prometteuse pour l'analyse, la conception et la réalisation des systèmes complexes. Néanmoins, bien qu'elle offre de nombreux avantages potentiels, elle doit aussi relever beaucoup de défis.

On s'intéresse dans ce travail à l'utilisation des réseaux de Petri comme approche de modélisation orientée analyse opérationnelle avec les différentes approches de modélisation orientées fonctionnement.

Mots clés : Réseaux de Pétri, système, modélisation, vanne, actionneur.

Abstract

The Petri Nets is now a promising approach for the analysis, design and implementation of complex systems. Nevertheless, although it offers many potential benefits, it also faces many challenges.

We are interested in this work to the use of Petri networks as a modeling approach oriented operational analysis with different modeling approaches oriented operation.

Key words: Petri Nets, system, modelisation, valve, actuator.

Liste des figures

Figure 1.1 : Complexité d'un système.

Figure 1.2 : Représentation graphique des éléments de RdP

Figure 1.3 : Réseaux de Petri de quatre saisons

Figure 1.4 : composition d'eau ($2\text{H}_2 + \text{O}_2 \Rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$) sous forme d'un RdP

Figure 2.1 : Représentation schématique du four H201 du train 1, Module 1

Figure 2.2 : Composition du système d'actionneurs

Figure 2.3 : Configuration des vannes SDV 201, SDV 211 et SDV 221

Figure 2.4 : Arbre de défaillances du système d'actionneurs

Figure 2.5 : Modèle du réseau de Pétri pour la vanne SDV 201 (A)

Figure 2.6 : Modèle du réseau de Pétri pour la vanne SDV 211 (B)

Figure 2.7 : Modèle du réseau de Pétri pour la vanne SDV 221 (C)

Figure 2.8 : Modèle du réseau de Pétri pour le système d'actionneur

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Fiche technique du four H201

Tableau 2.1 : Principe de signalisation des composantes

Tableau 2.3 : Alarmes et descriptions

Tableau 2.4 : Analyse fonctionnelle et structurelle

Tableau 2.5 : Place et transitions associés à la modélisation de SDV 201

Tableau 2.6 : Place et transitions associés à la modélisation de SDV 211

Tableau 2.7 : Place et transitions associés à la modélisation de SDV 221

Abréviations et Acronymes

CA : Communication avec des Automates

CEI : Commission Electrotechnique International

E/E/PE : Electrique/Electronique/Electronique Programmable

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

RdP: Réseau de Petri

SDV: Shut Down Valve

SIS : Système Instrumenté de Sécurité

Table des matières

Introduction générale	1
Problématique	2
Chapitre I : Etude conceptuelle.....	3
1. Notions générales.....	4
1.1. Notion de système.....	4
1.2. Notions de sécurité.....	5
1.2.1. Principes généraux de protection	5
1.2.2. Sécurité fonctionnelle	5
2. Réseaux de Petri (RdP)	7
2.1. Définition informelle	7
2.2. Définition formelle.....	7
2.3. Marquage	8
2.4. Evolution d'un réseau de Petri.....	8
2.5. Propriétés comportementales des RdP.....	10
2.6. Méthode d'analyse	11
Chapitre II : Application des réseaux de Pétri sur un système d'actionneurs.....	12
1. Description du four	13
1.1. Présentation générale	13
1.1.1. Partie rebouilleur.....	14
1.1.2. Partie commande et signalisation.....	15
1.2. Analyse structurelle et fonctionnelle.....	16
2. Système d'actionneurs	18
2.1. Présentation générale	18
2.2. Composition du système	18
2.3. Principe d'actionnement	19
2.4. Arbre de défaillance du système	19

2.4.1.	Simplification de la logique opérationnelle	19
2.4.2.	Application de l'arbre de défaillances	20
3.	Modélisation du système d'actionneurs	21
3.1.	Présentation de l'outil de modélisation.....	21
3.2.	Modélisation	21
3.2.1.	Modélisation de la vanne SDV 201	21
3.2.2.	Modélisation de la vanne SDV 211	22
3.2.3.	Modélisation de la vanne SDV 221	22
3.2.4.	Modélisation du Système d'actionneurs	23
	Conclusion Générale.....	25
	Bibliographie	26

Introduction générale

Les moyens à mettre en œuvre pour réduire les risques sont nombreux et variés. La conception du procédé et le choix des équipements participent en premier lieu à la réduction du risque. On peut aussi agir sur le système de contrôle commande du procédé, en prévoyant par exemple des redondances et des solutions de repli en cas de dysfonctionnement.

Les systèmes instrumentés de sécurité (SIS) sont souvent utilisés comme moyens de prévention. Ils entrent en action lorsque le process se trouve dans des conditions anormales (et hors contrôle) qui risquent de se développer et porter atteinte aux hommes, à l'environnement et aux biens.

Les Réseaux de Petri (RdP) ont été introduits par le mathématicien Allemand Carl Adam Petri dans sa thèse "Communication avec des Automates" (CA) en Allemagne à Bonn en 1962. Ces derniers méritent bien leur appellation car la thèse de CA a présenté un certain nombre d'idées fondamentales du modèle. Mais la théorie des RdP en sa totalité, telle que nous la connaissons actuellement est le résultat de fusionnement et de contribution directe ou indirecte des travaux de plusieurs chercheurs de différentes universités et de différents laboratoires.

Les RdP sont des outils à la fois graphiques et mathématiques permettant de modéliser le comportement dynamique des systèmes à événements discrets. Leur représentation graphique permet de visualiser d'une manière naturelle le parallélisme, la synchronisation, le partage de ressources, les choix (conflits), ...etc. Leur représentation mathématique permet d'analyser le modèle pour étudier ses propriétés et de les comparer avec celles du système réel, afin de mettre en œuvre un ensemble de réponses nécessaires à la mise en sécurité des équipements critiques.

Problématique

La maîtrise des risques générés par les installations industrielles modernes ne pouvait être garantie sans l'utilisation d'un SIS. L'échec des SIS pour atteindre leurs fonctions assignées pourraient entraîner d'énormes conséquences, en ce qui concerne à la fois la sécurité du système surveillé, ainsi que la disponibilité de la production en raison des déclenchements intempestifs de ceux-ci. La grande partie des problèmes rencontrés avec les systèmes d'arrêt d'urgence relève aux actionneurs. Le retour d'expérience de SONATRACH sur les arrêts périodiques montre que les blocages des vannes est le problème prépondérant.

Dans cette optique, nous avons jugé utile de développer un sujet traitant des systèmes d'actionneurs, pour ce faire, une question pertinente est posée, reformulée dans un contexte précis encadrant notre problématique, « **les réseaux de pétri, permettent-ils de modéliser un système d'actionneurs associé aux SIS ?** ».

Chapitre I : Etude conceptuelle

1. Notions générales

1.1. Notion de système

La notion de système a été utilisée probablement par les militaires (système d'armes) vers 1945. Au début, cette notion a progressé très lentement, puis brutalement ; depuis 1960 environ, elle s'est imposée dans le domaine technique [1].

La notion de système fait l'objet de la définition suivante [2]: « ...ensemble de matériels, de logiciels, d'hommes, organisé pour assurer des fonctions données dans des conditions données... ».

Un système peut être considéré de plusieurs façons :

- depuis son environnement, comme élément spécifique de type « boîte noire » avec des entrées et des sorties qui permettent d'en étudier le fonctionnement ;
- de l'intérieur, par la mise en évidence :
 - de ses caractéristiques physiques,
 - de ses modes d'organisation (relationnelles, hiérarchiques, ...),
 - de ses propriétés (autonomie, robustesse, vulnérabilité, ...),
 - de son comportement (dynamique d'évolution, productivité, ...).

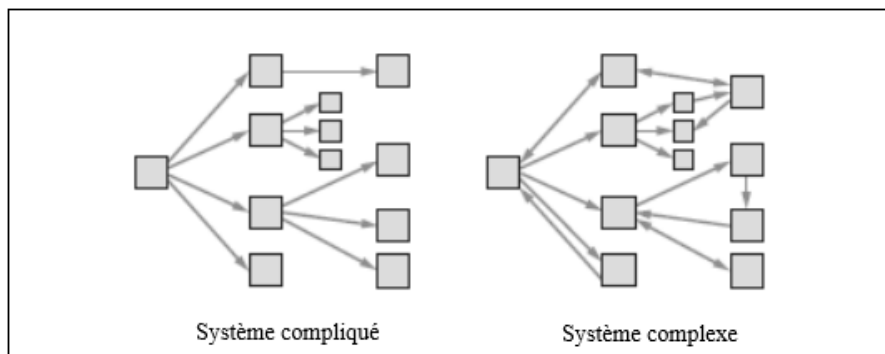


Figure 1.1 - Complexité d'un système [1]

1.2. Notions de sécurité

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 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.

1.2.1. Principes généraux de protection

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

1.2.1.1. Sécurités passives

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).

1.2.1.2. Sécurités actives

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.

1.2.2. Sécurité fonctionnelle

1.2.2.1. Définitions

Selon la norme CEI 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 CEI 61508 [3], 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 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.

1.2.2.2. Systèmes relatifs aux applications de sécurité

Un système E/E/PE (électrique/électronique/électronique programmable de sécurité) relatif aux applications de sécurité comprend tous les éléments du système nécessaires pour remplir la fonction de sécurité. C'est-à-dire, depuis le capteur, en passant par la logique de contrôle et les systèmes de communication, jusqu'à l'actionneur final, tout en incluant les actions critiques de l'opérateur.

Les systèmes de sécurité sont définis en termes d'absence de risque inacceptable de blessure ou de préjudice à la santé des personnes. Les dommages aux personnes peuvent être directs ou indirects, comme des dommages aux biens ou à l'environnement par exemple. Certains systèmes peuvent être principalement conçus pour se prémunir contre des pannes ayant des implications économiques majeures. Ceci signifie que dans l'esprit, à objectifs techniques comparables ou identiques, il n'y a pas de différence entre un système de sécurité et un système de contrôle commande. L'IEC 61508 et l'CEI 61511 [4] montrent que les Systèmes Instrumentés de Sécurité peuvent être utilisés pour développer n'importe quel système E/E/PE comportant des fonctions critiques, telles que la protection des équipements, des biens ou de la productivité.

2. Réseaux de Petri (RdP)

2.1. Définition informelle

Informellement un RdP est un graphe orienté comprenant deux sortes de nœuds: des places et des transitions, ce graphe est constitué de telle sorte que les arcs du graphe ne peuvent relier que des places aux transitions ou des transitions aux places [5].

On représente graphiquement les places par des cercles et les transitions par des barres (Figure 1.2). Les places servent à représenter les états du système modélisé, tandis que les transitions représentent les changements d'état ou les événements.

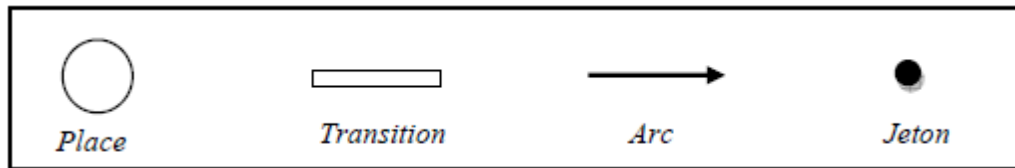


Figure 1.2 : Représentation graphique des éléments de RdP.

À chaque arc est associé un nombre entier strictement positif appelé poids de l'arc. Lorsque le poids n'est pas signalé, il est égal à "1" par défaut. Le RdP dont tous ses arcs sont de poids "1" est appelé RdP ordinaire. Dans le cas où les arcs peuvent avoir des poids supérieurs à "1", il s'agit de RdP généralisé.

2.2. Définition formelle

Formellement un RdP est un quintuplet, $R = (P, T, F, W, M_0)$ [5] tel que :

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ ensemble fini de places ;
- $T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ ensemble fini de transitions ;
- $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ ensemble d'arcs ;
- $W : F \rightarrow \mathbb{N}^*$ fonction de poids ;
- $M_0 : P \rightarrow \mathbb{N}$ marquage initial ;
- $P \cap T = \emptyset$ et $P \cup T \neq \emptyset$.

La structure de RdP est donnée par le quadruplet $Q = (P, T, F, W)$, Q représente le RdP sans aucune spécification de marquage initial M_0 . Un RdP marqué est noté par $R = (Q, M_0)$.

Notation : soit $R = (P, T, F, W, M_0)$ un RdP généralisé. On a les notations suivantes :

- ${}^\circ t$: l'ensemble des places d'entrée de la transition t .
- t° : l'ensemble des places de sortie de la transition t .
- ${}^\circ p$: l'ensemble des transitions d'entrée de la place p .
- p° : l'ensemble de transitions de sortie de la place p .

Le RdP de la Figure 1.3 décrit le cycle des quatre saisons. Les places représentent les saisons, p1 ; le printemps, p2 ; l'été, p3 ; l'automne et p4 : l'hiver. Les transitions représentent les changements de saisons, t1 ; le début d'été, t2 ; le début d'automne, t3 : le début d'hiver et t4 : le début du printemps. Le jeton dans la place p1 indique que la saison à l'instant initial est le printemps.

$$P = \{p1, p2, p3, p4\}, T = \{t1, t2, t3, t4\},$$

$$F = \{(p1, t1), (t1, p2), (p2, t2), (t2, p3), (p3, t3), (t3, p4), (p4, t4), (t4, p1)\},$$

$$W(p1, t1)=1, W(t1, p2)=1, W(p2, t2)=1, W(t2, p3)=1, W(p3, t3)=1, W(t3, p4)=1, W(p4, t4)=1,$$

$$W(t4, p1)=1,$$

$${}^{\circ}t1 = \{p1\}, t1^{\circ} = \{p2\}, {}^{\circ}t2 = \{p2\}, t2^{\circ} = \{p3\}, {}^{\circ}t3 = \{p3\}, t3^{\circ} = \{p4\}, {}^{\circ}t4 = \{p4\},$$

$$t4^{\circ} = \{p1\},$$

$${}^{\circ}p1 = \{t4\}, p1^{\circ} = \{t1\}, {}^{\circ}p2 = \{t1\}, p2^{\circ} = \{t2\}, {}^{\circ}p3 = \{t2\}, p3^{\circ} = \{t3\}, {}^{\circ}p4 = \{t3\},$$

$$p4^{\circ} = \{t4\},$$

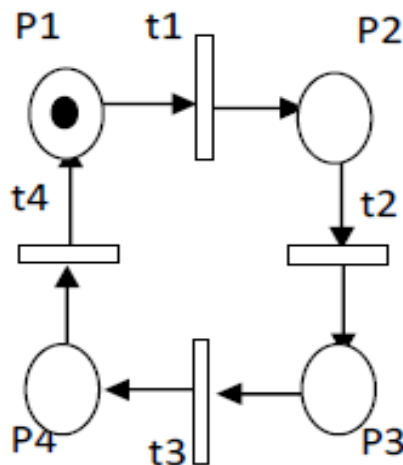


Figure 1.3: Réseaux de Petri de quatre saisons

2.3. Marquage

On appelle marquage une distribution de jetons sur les places. Le marquage initial noté M_0 est la distribution initiale de jetons dans le réseau à l'instant initial. Un marquage définit l'état du système [6].

Le marquage d'un RdP est une application $M : P \Rightarrow \mathbb{N}$ donnant pour chaque place le nombre de jetons qu'elle contient. Le marquage de la place p_i est noté par $M(p_i)$ qui est un nombre entier.

2.4. Evolution d'un réseau de Petri

Un RdP est un graphe muni d'une sémantique opérationnelle, c'est -à- dire qu'un comportement est associé au graphe, ce qui permet de décrire la dynamique du système représenté. L'évolution d'un RdP correspond à l'évolution de son marquage au cours du temps,

cette évolution simule le comportement dynamique du système modélisé. Le marquage du réseau change selon les règles suivantes [7]:

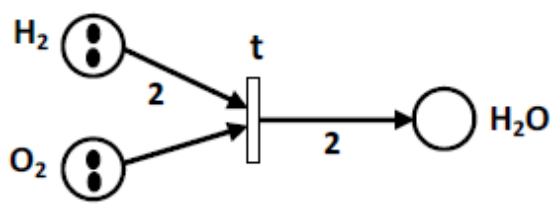
a. Une transition t est validée (ou sensibilisée, franchissable ou tirable) si toutes les places p en amont de celle-ci (p appartenant à ${}^{\circ}t$) possèdent au moins $W(p, t)$ jetons.

$$t \text{ est validée} \Leftrightarrow \forall p \in {}^{\circ}t: M(p) \geq W(p, t)$$

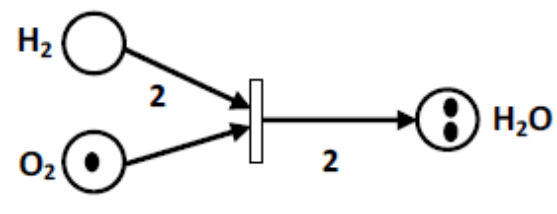
b. Un franchissement d'une transition validée t consiste à supprimer $W(p, t)$ jetons de chaque place d'entrée, et ajouter $W(t, p)$ jetons à chacune de places de sortie de t . Le franchissement d'une transition dans un marquage M donne un nouveau marquage M' défini par :

$$\forall p \in P : M'(p) = M(p) - W(p, t) + W(t, p)$$

La Figure 1.4 illustre la réaction chimique ($2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$) et le changement de marquage après le franchissement de la transition t . Avant le franchissement $M_0 = [2 \ 2 \ 0]$, après le franchissement $M_1 = [0 \ 1 \ 2]$. Les places sont ordonnées dans ce vecteur comme suit : H_2 , O_2 , H_2O , le marquage de la place H_2 est noté par $M(H_2)$. $M_0(H_2)$ est le marquage initial de la place H_2 . Dans cet exemple $M_0(H_2) = 2$.



a) le marquage avant le franchissement de la transition t



b) le marquage après le franchissement de la transition t

Figure 1.4 : La composition d'eau ($2H_2 + O_2 \Rightarrow 2H_2O$) sous forme d'un RdP

c. Lorsqu'une transition est validée, cela n'implique pas qu'elle sera immédiatement franchie ; cela ne représente qu'une possibilité de franchissement, dans un RdP, même si plusieurs transitions sont validées par un même marquage une et seulement une transition peut être franchie.

2.5. Propriétés comportementales des RdP

La construction de la structure du RdP qui modélise le système réel est une tâche très importante. La tâche suivante qui est de même importance est l'étude ou l'analyse des propriétés de ce réseau. Il existe deux classes de propriétés. Celles qui sont dépendantes d'un marquage initial M_0 dites comportementales, si l'on change ce marquage, rien ne garantit que ces propriétés tiennent encore. D'autres qui sont indépendantes du marquage initial dites structurelles. Dans ce qui suit nous présentons les propriétés comportementales d'un RdP [8].

Notation : on notera par $*M$ l'ensemble des marquages accessibles à partir du marquage M . par s la séquence de transitions t_1, t_2, \dots, t_n et le passage du marquage M au marquage M' par franchissement de la séquence de transitions s $M \xrightarrow{s} M'$ par

L'atteignabilité

Un marquage M est atteignable ou accessible depuis le marquage initial M_0 s'il existe une séquence des transitions franchissables S menant de M_0 à M .

$$M \in *M_0 \Leftrightarrow \exists S \in T^* : M_0 \xrightarrow{S} M$$

Où T^* est l'ensemble de séquences de transitions

La bornitude

Un RdP marqué est k - borné si toutes ses places sont k -bornées, c'est-à-dire quel que soit le marquage accessible M à partir du marquage initial M_0 , et quel que soit la place p considérée le nombre de jetons contenus dans cette places est inférieur ou égale à une borne k :

$$R(Q, M_0) \text{ est } k\text{-borné} \Leftrightarrow \forall M \in *M_0, \forall p \in P : M(p) \leq k$$

Un RdP marqué est sauf ou binaire pour un marquage initial M_0 s'il est 1 -borné. Cette propriété de bornitude est nécessaire lorsqu'une place représente par exemple une ressource dont le nombre est limité, ou un stock pour lequel la capacité est limitée.

Vivacité et blocage

Une transition t est vivante pour un marquage initial M_0 si pour tout marquage M accessible à partir de ce marquage initial, il existe une séquence de franchissements à partir de M contenant t . Autrement dit, quelle que soit l'évolution, il existera toujours une possibilité de franchir t :

$$t \text{ est vivant} \Leftrightarrow \forall M \in *M_0, \exists M' \in *M, \exists S \in T^* : M \xrightarrow{S} M' \text{ tel que } t \in S$$

Un RdP marqué est vivant pour un marquage initial M_0 si toutes ses transitions sont vivantes pour ce marquage initial. Dans un tel réseau, on garantit que chaque transition soit tirable éventuellement peu importe l'état du système. Un RdP est dit conforme s'il est sauf et vivant

$$R(Q, M_0) \text{ est vivant} \Leftrightarrow \forall M \in {}^*M_0, \forall t \in T, \exists \acute{M} \in {}^*M, \exists S \in T^* : M \xrightarrow{S} \acute{M} \wedge t \in S$$

Un RdP marqué est dit sans blocage pour un marquage initial M_0 si aucun marquage accessible n'est un blocage autrement dit s'il peut continuellement évoluer. Un marquage M est un blocage si aucune transition n'est validée.

États d'accueil

Un RdP possède un état d'accueil M_a pour un marquage initial M_0 si pour tout marquage accessible M_i il existe une séquence de franchissement permettant d'atteindre le marquage M_a :

$$M_a \text{ est un état d'accueil} \Leftrightarrow \forall M_i \in {}^*M_0, \exists S \in T^* : M_i \xrightarrow{S} M_a$$

Un RdP est réinitialisable (ou réversible) pour un marquage initial M_0 si M_0 est un état d'accueil.

2.6.Méthode d'analyse

Les RdP disposent de nombreux outils théoriques permettant l'analyse des différentes propriétés, trois grandes approches qui se complètent mutuellement ont été développées :

- la première est basée sur l'utilisation des graphes et arborescences de marquage ;
- la seconde fait appel à l'algèbre linéaire ;
- la troisième se base sur la réduction de RdP.

Chapitre II : Application des réseaux de Pétri sur un système d'actionneurs

1. Description du four

Les rebouilleurs sont des équipements incontournables dans les unités de traitement du gaz brut, ils permettent de réchauffer le fond des colonnes (dééthaniseur et débutaniseur).

Notre présente étude portera sur le four H201 du train 1, module 1, qui permet de réchauffer le fond de la colonne T201 dé-éthaniseur pour une meilleur séparation de condensat.

Les séquences de fonctionnement et de sécurité sont assurées par un système à relais.

Les facteurs de déclenchement sont intégrés à différent niveaux pour une protection maximale de ces équipements.

La figure ci-dessous est une représentation schématique du Four H201 du train 1, Module 1, complexe de traitement du gaz brut, Hassi R'mel.

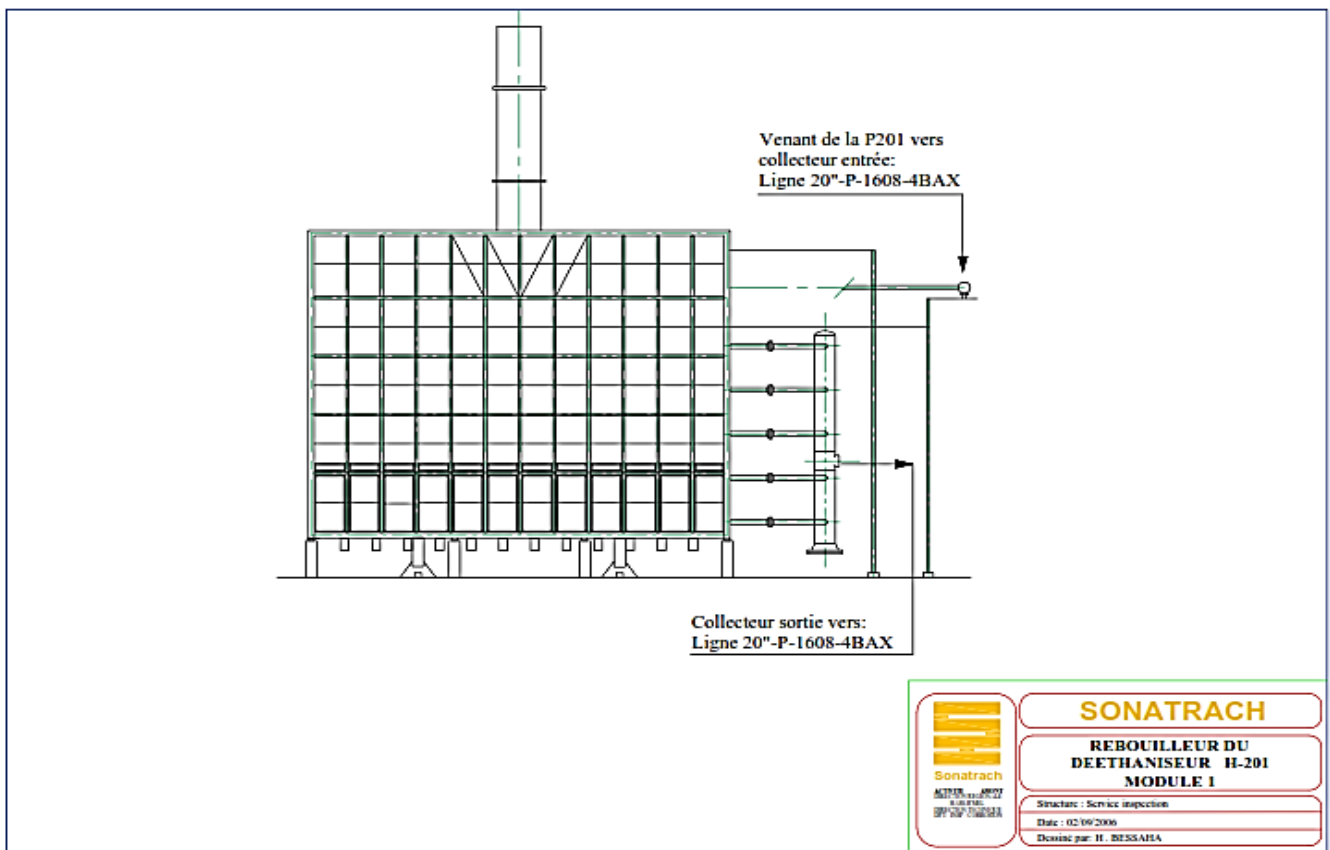


Figure 2.1 – Représentation schématique du four H201 du train 1, Module 1

1.1.Présentation générale

Le tableau 2.1 illustre les informations collecté sur le four H201 qui représente notre cas d'étude :

Tableau 2.1 – Fiche technique du four H201

Unité	Train 1 Module 1			Repère		12-H201	
Nom	Rebouilleur du dééthaniseur			Date démarrage	1994	Dernier inspection	Juin 2014
Code	API RP 530			Constructeur	SEC INDUSTRIES Bld d'anneaux Chateauroux France		
Diamètre (tube)	168,3 mm				2231	Date de Fabrication	1993
Longueur(tube)	12192 mm			Parts	Epaisseur (mm)	Matériau	Nombre Tube
Fluide	Gaz brut			Paroi	/	/	10 passes
Paramètres Opératoires		Pression (kg/cm ²)		Tube	7,11	A 106 Gr B	168,3
				Calandre	/	PWHT	Oui
	Scce	26	180	Radiographie	API 661	Volume	17400 litres
	Cal	27,5	370	Poids à Vide	/		
	Epr	55	Ambiante	/			

1.1.1. Partie rebouilleur

Cette partie contient les éléments nécessaires à l'allumage du four.

- 12 brûleurs pilotes.
- 12 brûleurs principaux.

1.1.1.1. Description du circuit fuel gaz

L'entrée principale de fuel gaz est équipée d'un filtre et d'une vanne autorégulatrice de pression PCV201, le circuit principal se partage ensuite en deux circuits différents :

a. Circuit pilote

Le passage de fuel gaz dans ce circuit est contrôlé par les vannes suivantes :

- Les vannes tout ou rien de sécurité : SDV 241, SDV 251, SDV 231
- Les électrovannes individuelles de chaque pilote : SDV 271-1 à SDV 271-12.
- Vanne de contrôle de pression du gaz PCV 211.

b. Circuit bruleur principal

Le passage du fuel gaz dans ce circuit est contrôlé par les vannes suivantes :

- Les vannes tout ou rien de sécurité : SDV 211, SDV 221, SDV 231
- Vanne de contrôle de débit : FCV 271, ce dernier sert à réguler la température de sortie du circuit condensat.
- Vanne de contrôle de pression du gaz PCV 221.

1.1.2. Partie commande et signalisation

Cette partie contient les éléments nécessaires à l'automatisation du démarrage et de la surveillance du four H201.

1.1.2.1. Signalisations et alarmes

a. Signalisations

Un certain nombre de signalisations sont reportées sur le tableau local afin de faciliter le démarrage et la surveillance du four depuis les unités :

Tableau 2.2 - Principe de signalisation des composantes

Circuit	Composant	Nombre de composant	Position
Pilote	Electrovanne	12	Fermée
			Ouverte
	Electrovanne d'alimentation	3	Ouverte
			Fermée
Bruleur	Vanne manuelle	12	Ouverte
			Fermée
	Electrovanne d'alimentation	3	Ouverte
			Fermée
/	Registre de la cheminée	1	Ouverte
			Fermée
Air	Vantelles d'arrivée	1	Ouverte
Pilote	Détecteur de flamme	12	Présence individuelle de flamme
			Arrêt
			En cours
			Autorisation
Pilote	Allumage pilotes	1	Autorisation
Bruleurs	Allumage bruleurs	1	Autorisation

b. Alarme

Le tableau suivant représente toutes les alarmes ayant des actions de sécurité signalées au niveau du tableau local, et de la signalisation sur le tableau de la salle de contrôle :

Tableau 2.3 – Alarmes et descriptions

Alarme	Code	Description
PAHH	201	Pression très haute gaz combustible.
PALL	201	Pression très basse combustible.
PAHH	231	Pression très haute sortie condensat.
TAHH	231	Température très haute sortie condensat.
FSLl	201	Débit très bas condensat.
TAHH	281	Température très haute entre convection / radiation.

TAHH	271	Température très haute fumées.
HRS	/	Arrêt d'urgence, hors service SDC (Salle De Contrôle).
BAL	201	Arrêt manque de flammes.
BAL	211	Ouverture brûleur non autorisé.
BAL	221	Alarme défaut de flammes.

Ces alarmes sont regroupées sur un ensemble de verrines, sur la partie supérieure du tableau local, au-dessus des différents boutons poussoirs, commutateurs, voyants, utilisés pour les séquences d'automatisme.

1.2. Analyse structurelle et fonctionnelle

Pour une meilleure compréhension du système faisant l'objet de notre étude, nous avons opté pour la description du système. Cette dernière se fait à travers une analyse structurelle et fonctionnelle qui semble indispensable. Le but de cette analyse est de décomposer le système en identifiant les différentes fonctions qui composent chaque partie du système étudié.

Le tableau ci-dessous résume tous les résultats obtenus par cette analyse [9]:

Tableau 2.4 – Analyse fonctionnelle et structurelle

Système	Sous-système		Equipement		Composant	
	Code	Description	Code	Description	Code	Description
Four rebouilleur H201	SS1	Sous-système de circuit d'alimentation du rebouilleur.	E11	Circuit comburant (Fuel Gaz) qu'assure l'alimentation en combustible.	C111	FCV271 : controle la température de sortie du circuit condensat.
					C112	PCV 211 : Vanne de contrôle de pression du gaz.
					C113	12 pilotes qui garantissent une flamme continue pour l'amorçage du fuel gaz SDV241/251.
					C114	FV281-1 à 12 : 12 brûleurs (réalise la combustion de fuel gaz)..
			E12	Circuit liquide (Condensat) qui assure l'alimentation en huile des échangeurs.	C121	Pompes P201 A/B/C pour pomper le condensat à l'entrée du four.
					C122	Vanne FV33 qui régule le débit de condensat.
					C123	Serpentin : assure la circulation et

						l'échauffement du condensat.
			E13	Circuit d'air qu'assure une meilleure combustion.	C131	K201 : Soufflantes d'air
	SS2	Sous-système de contrôle des paramètres du procédé.	E21	Contrôle de débit (Contrôle le débit du liquide à l'entrée du four).	C211	DCS (SOLVER) : Adaptation du débit de condensat à l'entrée de four par action sur la vanne FV 33.
C212					FT 33 : Débitmètre, mesure le débit du liquide à l'entrée du four.	
E22			Contrôle de la température du liquide à l'intérieur et à la sortie du four.	C221	DCS (Solveur) : adaptation de la température du liquide à la sortie du four par action sur la vanne TV201.	
				C222	TI : Thermocouple : mesure la température du liquide à la sortie du four.	
				C223	TI : Indicateurs de température locale.	
SS3	Sous-système d'alarmes : conçu pour alerter l'opérateur par un signal audio-visuel.	E31	FAL 201 : alarme de bas débit du condensat à l'entrée du four. PAL/ PAH 231 : alarme de basse/ haute pression de fuel gaz.	C311	FT 201 : Débitmètre, mesure le débit du liquide à l'entrée de four. PT 231 : Transmetteur de pression, mesure de la pression de fuel gaz.	
				C312	DCS : Adaptation de la mesure de température, débit et pression à une alarme audio-visuelle dans la salle de contrôle.	
SS4	Sous-système d'arrêt d'urgence qui met le four à l'état d'arrêt avec la	E41	FALL 201 : alarme de très bas débit du condensat. à l'entrée du four. PALL/PAHH 201 : alarme de très basse	C411	FT 201 : Débitmètre. PT 201 : Transmetteur de pression. BAL : 12 Détecteurs de flamme (Ultraviolet).	

		coupure de l'alimentation en fuel gaz.		ou très haute pression de fuel gaz. TAHH 231 : alarme de très haute température du condensat. BAL 201/211/221 : détecteurs de flamme.	C412	SDV211/ SDV221 : Isolement de la ligne de gaz combustible.
					C413	Solveur (Relais de sécurité) : assure les missions de mise en sécurité du four par action sur les vannes SDV211/221.

2. Système d'actionneurs

2.1. Présentation générale

Il s'agit d'un système d'actionneurs englobant les actionneurs des Systèmes Instrumentés de Sécurité (SIS) du rebouilleur H201. Ceux-ci se composent de trois éléments, un (des) détecteur(s), une unité de traitement et un (des) actionneur(s).

Notre étude porte sur les états de fonctionnement et de dysfonctionnement des actionneurs du système étudié. Cependant, nous allons supposer que les autres éléments des SIS sont performants et fonctionnels. Par rapport à l'étude qui a été faite par FOUL B. et ASSADI M. sur les SIS, ils ont étudié un système (S1) composé de 10 détecteurs, d'une unité de traitement basée sur des relais de sécurité et de deux actionneurs, tandis que, il existe un autre système (S2) qui se déclenche après le système S1, il est composé de deux détecteur (ils sont associé aux deux actionneurs du système S1, ils vérifient le fonctionnement de ces derniers), d'une unité de traitement et d'un actionneur.

2.2. Composition du système

Le système étudié est composé de 3 actionneurs, ce sont trois vannes SDV 201, SDV 211 et SDV 221 (figure 2.2), elles assurent l'isolation du Four H201 en fermant la ligne d'alimentation des brûleurs en fuel gaz.

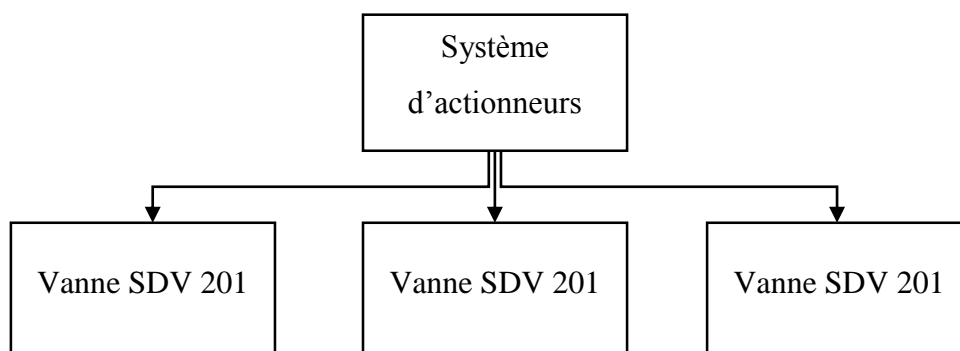


Figure 2.2 – Composition du système d'actionneurs

2.3.Principe d'actionnement

L'action de ce système est activée lors du déclenchement du four, autrement dit, lors de l'arrêt d'urgence de ce four. Dans le cas parfait, les deux vannes SDV 201 et SDV 211 se ferment et la vanne SDV 221 s'ouvre. La figure 2.3 montre le schéma général de la configuration de ces vannes.

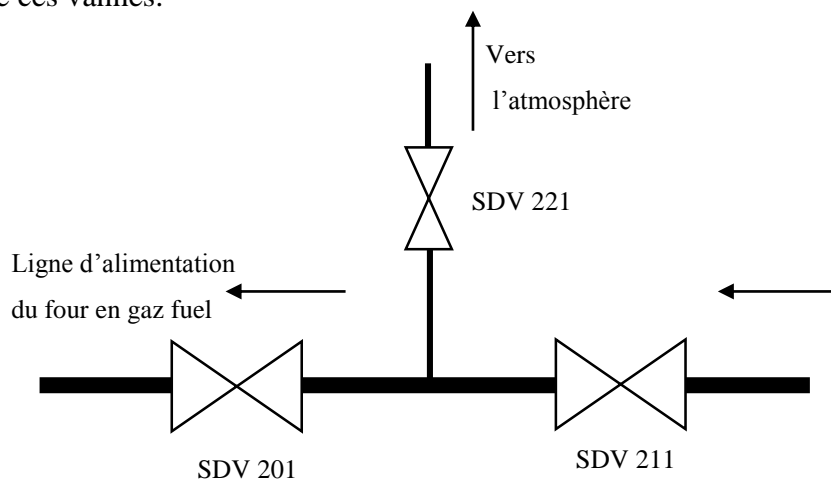


Figure 2.3 – Configuration des vannes SDV 201, SDV 211 et SDV 221

Nous remarquons que les vannes SDV 201 et SDV 211 sont positionnées sur la ligne d'alimentation, elles sont ouvertes en fonctionnement normal. Alors que, la vanne SDV 221 est positionnée sur la ligne de dépressurisation, l'intérêt de cette ligne est de dépressuriser la ligne d'alimentation en cas de fermeture des deux vannes SDV 201 et SDV 211.

2.4.Arbre de défaillance du système

2.4.1. Simplification de la logique opérationnelle

2.4.1.1.Définition des paramètres

Afin de faciliter l'étude du système nous allons utiliser les notations suivantes :

Pour le système d'actionneur :

S = fonctionnement normal, \bar{S} = fonctionnement dangereux

Pour les vannes :

SDV 201 - A = fermée, \bar{A} = ouverte

SDV 211 - B = fermée, \bar{B} = ouverte

SDV 221 - C = ouverte, \bar{C} = fermée

2.4.1.2. Détermination des scénaris dangereux

Par rapport au positionnement, nous allons tout d'abord déterminer les cas non dangereux:

- $A B C$ (A : Fermée B : Fermée C : Ouverte) } Fonctionnement normal
- $\bar{A} B \bar{C}$ (A : Ouverte B : Fermée C : Fermée) }
- $A \bar{B} \bar{C}$ (A : Fermée B : Ouverte C : Fermée) } Fonctionnement
- $A B \bar{C}$ (A : Fermée B : Fermée C : Fermée) } défaillant non dangereux
- $\bar{A} B C$ (A : Ouverte B : Fermée C : Ouverte) }

Par rapport au cas $\bar{A} \bar{B} \bar{C}$, $\bar{A} \bar{B} C$ et $A \bar{B} C$, ils sont associé au fonctionnement dangereux.

Donc le Système \bar{S} vaut :

$$\bar{S} = (A B C) + (\bar{A} B C) + (\bar{A} B \bar{C}) + (A \bar{B} \bar{C}) + (A B \bar{C})$$

Après simplification avec l'Algèbre de Boole

- $\bar{S} = \bar{B} \cdot (\bar{A} + C)$ d'où,
- $S = B + A \bar{C}$

2.4.2. Application de l'arbre de défaillances

L'évènement redouté étant \bar{S} :

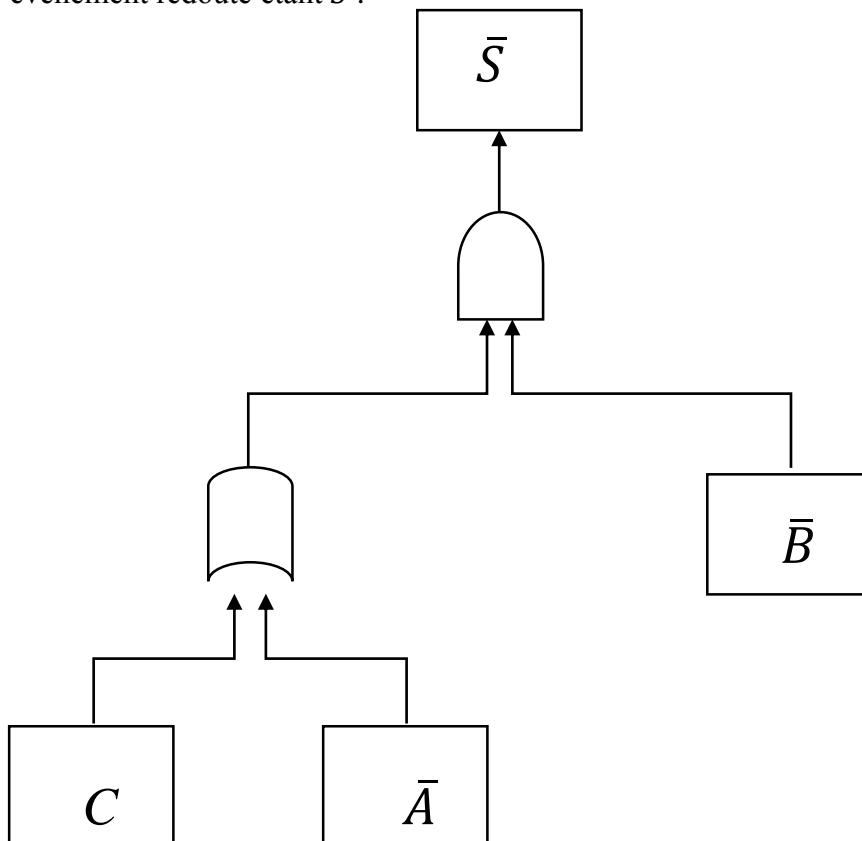


Figure 2.4 – Arbre de défaillances du système d'actionneurs

3. Modélisation du système d'actionneurs

3.1. Présentation de l'outil de modélisation

Le module Petri Nets fait partie d'une série de modules du logiciel GRIF développé par TOTAL. Il permet de modéliser un système dynamique en utilisant les propriétés et les configurations des réseaux de Pétri. La simplicité de l'outil en ce qui concerne la manipulation de son interface, permet de modéliser des systèmes très complexes, à l'image des processus de production dans les usines de l'automobile.

3.2. Modélisation

3.2.1. Modélisation de la vanne SDV 201

L'étude fonctionnelle de la vanne SDV 201 (A) nous a permis de déterminer les états de fonctionnement et de dysfonctionnement de celle-ci représentés par les places 1, 2, 3 et 4 (figure 2.5). A savoir que le passage entre les places se fait à travers les transitions tr1, tr2, tr3, tr4, tr5 et tr6, la signification des places et des transitions est définie dans le tableau 2.5.

Tableau 2.5 – Place et transitions associés à la modélisation de SDV 201

Places	Signification	Transition	Signification
AO KO (1)	Vanne A ouverte et défectueuse	tr1 et tr5	Transition avec un taux de défaillance de $1,614 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$
AO OK (2)	Vanne A ouverte et fonctionnelle	tr2 et tr6	Transition avec un taux de réparation de $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ h}^{-1}$
AF OK (3)	Vanne A fermée et fonctionnelle	tr3	Transition avec un instant prévu à l'avance de $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ h}$
AF KO (4)	Vanne A fermée et défectueuse	tr4	Transition avec un instant prévu à l'avance de $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ h}$

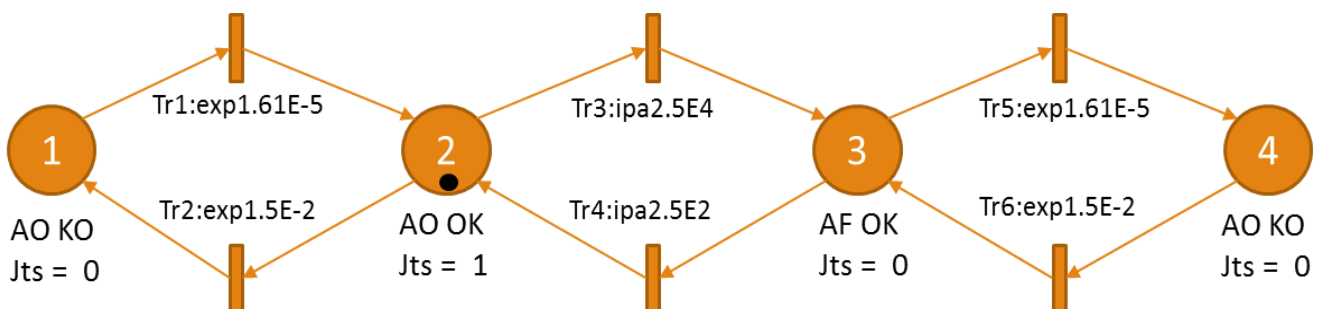


Figure 2.5– Modèle du réseau de Pétri pour la vanne SDV 201 (A)

3.2.2. Modélisation de la vanne SDV 211

L'étude fonctionnelle de la vanne SDV 211 (B) nous a permis de déterminer les états de fonctionnement et de dysfonctionnement de celle-ci représentés par les places 5, 6, 7 et 8 (figure 2.6). A savoir que le passage entre les places se fait à travers les transitions tr7, tr8, tr9, tr10, tr11 et tr12, la signification des places et des transitions est définie dans le tableau 2.6.

Tableau 2.6 – Place et transitions associés à la modélisation de SDV 211

Places	Signification	Transition	Signification
BO KO (5)	Vanne B ouverte et défaillante	Tr7 et tr11	Transition avec un taux de défaillance de $1,614 \cdot 10^{-5} h^{-1}$
BO OK (6)	Vanne B ouverte et fonctionnelle	Tr8 et tr12	Transition avec un taux de réparation de $1,5 \cdot 10^{-2} h^{-1}$
BF OK (7)	Vanne B fermée et fonctionnelle	Tr9	Transition avec un instant prévu à l'avance de $2,5 \cdot 10^{-4} h$
BF KO (8)	Vanne B fermée et défaillante	Tr10	Transition avec un instant prévu à l'avance de $2,5 \cdot 10^{-2} h$

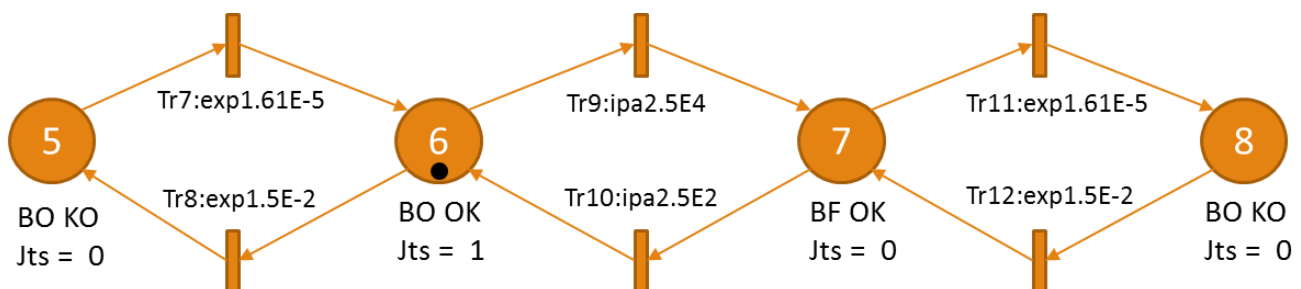


Figure 2.6 – Modèle du réseau de Pétri pour la vanne SDV 211 (B)

3.2.3. Modélisation de la vanne SDV 221

L'étude fonctionnelle de la vanne SDV 211 (B) nous a permis de déterminer les états de fonctionnement et de dysfonctionnement de celle-ci représentés par les places 9, 10, 11 et 12 (figure 2.7). A savoir que le passage entre les places se fait à travers les transitions tr7, tr8, tr9, tr10, tr11 et tr12, la signification des places et des transitions est définie dans le tableau 2.7.

Tableau 2.7 – Places et transitions associés à la modélisation de SDV 221

Places	Signification	Transition	Signification
BF KO (9)	Vanne B fermée et défaillante	Tr13 et tr17	Transition avec un taux de défaillance de $6 \cdot 10^{-6} h^{-1}$
BF OK (10)	Vanne B fermée et fonctionnelle	Tr4 et tr18	Transition avec un taux de réparation de $1,5 \cdot 10^{-2} h^{-1}$
BO OK (11)	Vanne B ouverte et fonctionnelle	Tr15	Transition avec un instant prévu à l'avance de $2,5 \cdot 10^{-4} h$
BO KO (12)	Vanne B ouverte et défaillante	Tr16	Transition avec un instant prévu à l'avance de $2,5 \cdot 10^{-2} h$

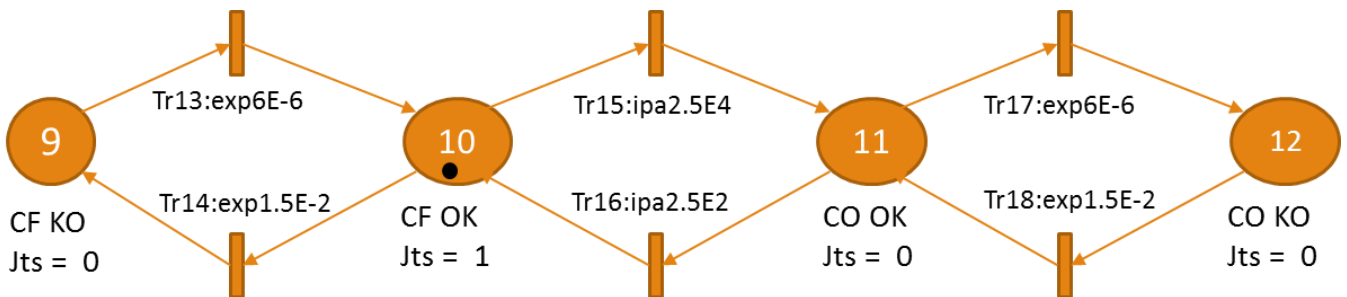


Figure 2.7 – Modèle du réseau de Pétri pour la vanne SDV 221 (C)

3.2.4. Modélisation du Système d'actionneurs

L'étude fonctionnelle du système d'actionneurs nous a permis de déterminer les états de fonctionnement et du dysfonctionnement du système représenté par les places 13 et 14 (figure 2.8). A savoir que le passage entre les places se fait à travers les transitions tr19, tr20, tr21 et tr22 qui sont des transitions instantanées.

Les jetons insérés dans les places 2, 6, 10 et 13 dans ces modèles de réseaux de Pétri montrent que nous avons commencé par un état de fonctionnement qui est SDV 201 ouverte, SDV 211 ouverte et SDV 221 fermée. Il est l'état quotidien de l'unité étudiée.

Le modèle du réseau de Pétri du système d'actionneurs présente les conditions de transitions du système vers ces deux états ; fonctionnement normale et fonctionnement dangereux.

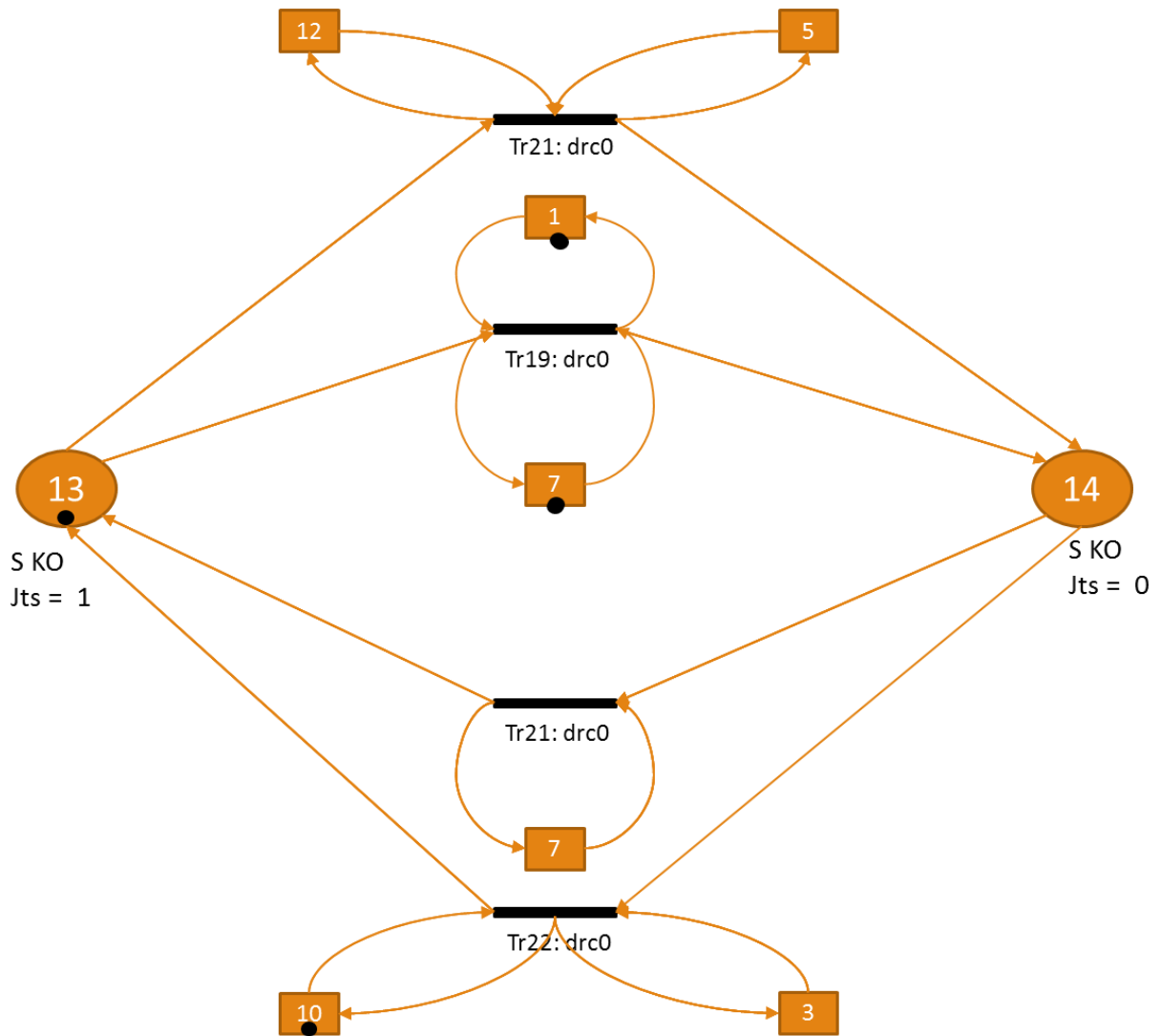


Figure 2.8 – Modèle du réseau de Pétri pour le système d'actionneurs

Conclusion Générale

Les RdP sont particulièrement bien adaptés à la description des aspects dynamiques ou comportementaux d'un système. Des concepts tels que la concurrence ou la synchronisation entre interactions s'expriment aisément dans le cadre de ce formalisme. L'avantage des RdP par rapport à la grande majorité des autres représentations, est leur aptitude à donner des informations concernant l'exécution du système. De la théorie mathématique, on peut déduire un certain nombre de propriétés (invariants, vivacité, existence d'un état d'accueil, ...etc.) qui sont autant d'informations à la disposition du concepteur pour se faire une idée du comportement de son système.

Enfin, notre contribution va servir très probablement de base à des études plus poussées, il serait important de simuler la modélisation du système d'actionneur à l'aide d'un logiciel performant. Par ailleurs, d'autres méthodes de sûreté de fonctionnement, telle que les chaînes de Markov, pourraient être utilisées pour modéliser le système d'actionneurs donnant une suite à ce travail.

Références bibliographiques

1. GIROUD, M., *Sûreté de fonctionnement des systèmes Analyse des systèmes réparables , Techniques de l'ingénieur Électronique : contraintes environnementales, sûreté de fonctionnement; base documentaire : TIB274DUO*, 2005. p. 1-22.
2. Frédérique B, Mohamed S, Jean-François A, *Aide à la conception de Systèmes Instrumentés de Sécurité par les réseaux de fiabilité de Kaufmann*, 2008 p. 1-6.
3. Commission Internationale Electronique, *Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector in Part 1: Framework, definitions, system, hardware and software requirements*. 2003. p. 1-15.
4. Commission Internationale Electronique, *Functional safety of electrical /electronic /programmable electronic safety-related systems, in Part 1: General requirements*. 2010. p. 1-66.
5. Jean-Pierre, S., *Analyse des risques des systèmes dynamiques : réseaux de Petri Exemples de modélisation*. Techniques de l'ingénieur Méthodes d'analyse des risques, base documentaire : TIB155DUO(se4073). 2008.
6. Pierre, L. and D. Isabel, *Outils de modélisation des automatismes séquentiels Réseaux de Petri*. Techniques de l'ingénieur Automatique séquentielle, base documentaire : TIB395DUO(s7252). 2009.
7. Pierre, L. Isabel D., *Réseaux de Petri. Techniques de l'ingénieur: Ingénierie des systèmes et robotique*. (r7252). 1989. p 1-25.
8. Christophe, H. and R. Pascal, *Applications des réseaux de Petri*. Techniques de l'ingénieur Automatique séquentielle, base documentaire : TIB395DUO(s7254). 2001.
9. FOUL,B. ASSADI, M., *Evaluation de la performance des Systèmes Instrumentés de Sécurité (SIS)*, Projet de Fin d'étude, *QHSE-GRI*. 2015, Ecole Nationale Polytechnique: Alger. p. 120.