

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou



Faculté De Génie Electrique Et D'Informatique  
DEPARTEMENT D'AUTOMATIQUE

**Mémoire de Fin d'Etude  
de MASTER PROFESSIONNEL**  
Spécialité : **Automatique et informatique industrielle**

*Présenté par*  
**Samir BOUZBID**  
**Samy RAHANI**

Mémoire dirigé par **M. CHARIF** et co-dirigé par **E.D. CHENENNOU**

Thème

**Développement d'une solution  
programmable pour le contrôle d'un  
poste de redressement de l'extension B  
de la ligne 1 du métro d'Alger**

*Mémoire soutenu publiquement le 29 septembre 2014 devant le jury composé de :*

**M M. ALLAD**

**M A.HADDOUCHE**

**M K.SAIDI**

# Remerciements

# Remerciements

*Nos remerciements et reconnaissances à notre promoteur Mr M.CHARIF et Co-promoteur E.D.CHENENNOU pour leur précieux conseils et orientations.*

*On tient aussi à remercier les membres de jury qui nous feront l'honneur d'évaluer ce travail.*

# Dédicaces

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à :*

*La mémoire de mon père,*

*Ma chère mère,*

*Toute ma famille,*

*Tous mes amis (Samy, Djamel, Mourad  
et Mourad, etc. . . ).*

*B. Samir*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mon cher père,*

*Ma chère mère,*

*Mon petit frère Amayas,*

*Tous mes amis (Samir, Djamel, Mourad  
et Saliha, etc. . . ).*

*R. Samy*

# Sommaire

## Sommaire

### Introduction générale ..... 1

### Chapitre I : Présentation de l'entreprise métro d'Alger

Introduction .....	2
I.1) Présentation de l'entreprise .....	2
I.1.A) Situation géographique du siège administratif de l'entreprise.....	2
I.1.B) Structures et infrastructures .....	3
I.2) Transports urbains .....	6
I.2.A) Transport en commun .....	6
I.2.B) Les types de transport en commun.....	6
I.2.C) Les types de transport urbain de la ville d'Alger .....	7
I.3) Présentation du métro d'Alger.....	7
I.3.A) Historique.....	7
I.4) Les caractéristiques du métro d'Alger.....	9
I.4.A) La ligne 1 .....	9
I.4.B) Les Stations de la ligne1 .....	9
I.4.C) Extensions.....	10
Conclusion.....	11

### Chapitre II : Description technique du système métro d'Alger

Introduction .....	12
II.1) Informations techniques .....	12
II.2) Architecture de transmission des données .....	12
II.2.A) Double anneau a fibre optique.....	12
II.2.B) Transmission des données du poste de commande centraliser .....	15
II.2.C) Transmission des données en stations.....	16
II.2.D) Amélioration du système de transmission des données des stations du métro d'Alger .....	18
II.3) Poste de redressement numéro 11 de l'extension B de la ligne1 du métro d'Alger .....	19
II.3.A) Situation.....	19

II.3.B) Caractéristiques techniques et composants.....	19
II.4) Cahier des charges.....	22
II.4.A) Fonctionnement normal .....	23
II.4.B) Fonctionnement en mode dégrader (cas de défaillance).....	23
II.4.C) Réparation des défaillances.....	23
Conclusion.....	24

### **Chapitre III : Modélisation à base de réseaux de pétri**

Introduction.....	25
III.1) Définition.....	25
III.2) Elément de base d'un réseau de Petri .....	26
III.3) Evolution d'un Réseaux de Petri.....	26
III.4) Les réseaux de Petri autonomes et non autonomes.....	27
III.4.A) Réseau de Petri autonome .....	27
III.4.B) Réseau de petri non autonome.....	27
III.5) Propriétés des réseaux de Petri .....	27
III.5.A) L'accessibilité.....	27
III.5.B) Etat d'accueil et réseau de Petri réinitialisable.....	28
III.5.C) Réseau de Petri borné (Bornitude).....	28
III.5.D) Conflits .....	28
III.5.E) Vivacité.....	28
III.6) Réseaux de Petri particuliers.....	29
III.6.A) Graphe d'état .....	29
III.6.B) Graphe d'événements .....	29
III.6.C) Réseau de Petri sans conflits .....	29
III.6.D) Réseau de Petri à choix libre .....	29
III.6.E) Réseau de Petri simple.....	29
III.6.F) Réseau de petri pur.....	29
III.6.G) Les réseaux de Petri temporisés .....	30
III.7) Les propriétés des réseaux de Petri temporisés.....	30
III.8) Eléments de modélisation .....	31
III.8.A) Parallélisme .....	31
III.8.B) Synchronisation .....	31

III.8.C) Partage de ressources .....	31
III.9) Modélisation fonctionnelle du poste de redressement numéro 11 .....	31
III.9.A) Stratégie suivit lors de la modélisation du poste de redressement numéro 11 .....	31
III.9.B) Réseaux de petri du poste de redressement numéro 11 (RdP du PR11).....	32
III.9.C.) Modèle du poste de redressement numéro 11 de l'extension B .....	45
Conclusion .....	45

## **Chapitre IV : Automate programmable industriel et programmation sous S7 HiGraph**

Introduction .....	46
IV.1) Automates programmables industriels (API) .....	46
IV.1.A) Définition d'un automate programmable industriel (API).....	46
IV.1.B) Choix d'automate programmable .....	46
IV.1.C) Automate programmable S7-300 .....	47
IV.2) Programmation avec SIMATIC Step7.....	47
IV.2.A) Définition .....	47
IV.2.B) Configuration matériel .....	47
IV.2.C) Programmation symbolique (table des mnémoniques) .....	48
IV.3) L'outil de programmation S7 Hi-Graph .....	49
IV.3.A) Présentation de l'outil S7-HiGraph .....	49
IV.3.B) Programmation de la structure d'un graphe d'état .....	53
IV.3.C) Programmation de groupes de graphes .....	60
IV.3.D) Enregistrement et compilation .....	61
IV.3.E) Appel et chargement de la FC HiGraph .....	62
IV.4) Programmation et implémentation .....	62
IV.4.A) Graphes d'état du programme .....	63
IV.4.B) Groupe de graphes.....	68
IV.4.C) Compilation et Appelle des blocs.....	68
IV.5) Simulation et Visualisation.....	70
IV.5.A) Visualisation du groupe de graphes .....	70
IV.5.B) Visualisation d'un graphe d'état .....	71
Conclusion.....	72

## **Chapitre V : Serveur SCADA et interface homme machine (IHM)**

Introduction .....	73
V.1) Système de supervision SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) .....	73
V.1.A) Définition.....	73
V.1.B) Décomposition d'un système SCADA .....	73
V.2) Logiciel de supervision .....	74
V.2.A) Logiciel WinCC flexible 2008 .....	74
Conclusion.....	81
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>82</b>

Introduction

générale

# Introduction générale

Alger est une ville submergée par la population, et cela cause des problèmes de transport (manque de transport, embouteillage dans la ville à cause de nombre de bus et voitures circulants etc...), pour remédier à ce problème l'entreprise du métro d'Alger (EAM) a été créée, cette dernière a pour mission de gérer la construction et l'exploitation du métro d'Alger et d'autres moyens de transports comme le tramway et les téléphériques.

Le métro d'Alger a une seule ligne en exploitation et qui est en cours d'extension pour l'instant, la partie exploitée s'étend sur 9 km de Hay El Badre jusqu'à La grande poste.

Pour subvenir aux besoins énergétiques du métro d'Alger (alimentation des Rams) l'entreprise métro d'Alger (EMA) utilise des postes de redressement qui convertissent l'énergie électrique de 30kv alternatif à 750 v continu, le poste de redressement n°11 de l'extension B du métro d'Alger fera l'objet de notre étude.

Pour modéliser le poste de redressement nous avons choisi la modélisation avec les réseaux de Pétri (RdP), car ils offrent une meilleure représentation sur tout pour les systèmes les plus complexes.

L'implémentation de notre solution de contrôle se fera sous automate programmable industriel S7-300 de marque Siemens, avec le nouvel outil de programmation de Siemens S7-HiGraph, un outil par excellence pour l'implémentation des solutions complexes en générale, et les réseaux de Pétri en particulier.

# Chapitre I

## Introduction

Suite aux nombreux problèmes de transport que connaît la ville d'Alger et pour parer à l'explosion démographique de la ville et au besoin de transport collectif qui en résulte, le projet métro d'Alger fut initié. Le premier projet est soulevé par l'administration française en 1929. Les travaux sur métro actuel sont lancés la fin des années 1970 mais suite à la crise financière en 1986 les travaux ont été arrêtés, ils sont relancés en 2003 pour donner l'actuel métro d'Alger dont sa première ligne fut inauguré le 31 octobre 2011 est mis en service commercial le 1<sup>er</sup> novembre 2011. Trois extensions sont prévues pour achever la ligne 1 du métro, dont l'extension B qui complètera le tronçon de celle-ci du côté Est.

### I.1) Présentation de l'entreprise

#### I.1.A) Situation géographique du siège administratif de l'entreprise

Le siège administratif de l'EMA se situe à Alger, El-Hamma comme indiquer sur la carte de la figure I.1.

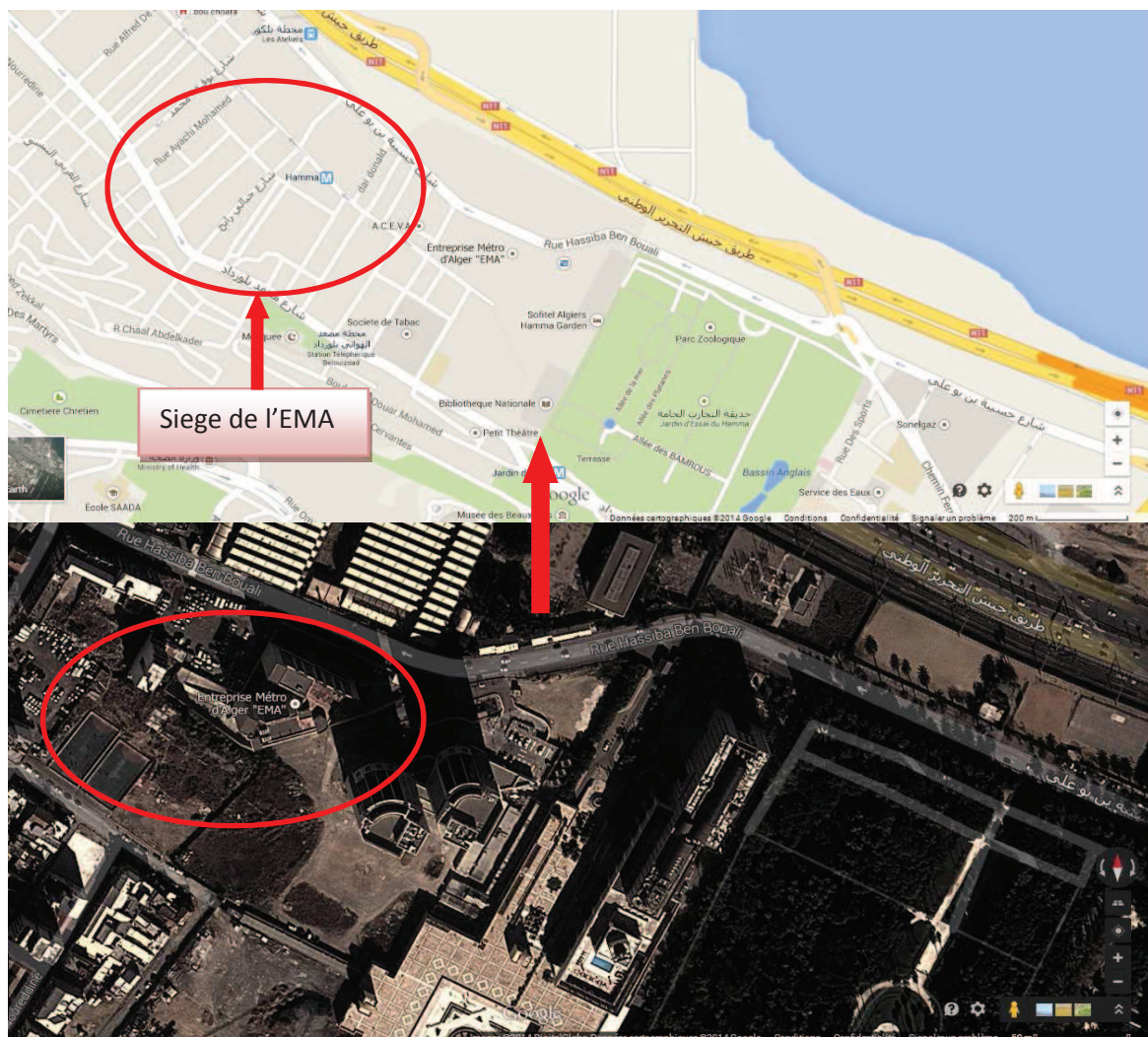


Figure (I.1) Carte de situation géographique

## **I.1.B) Structures et infrastructures [1]**

### **I.1.B.a) Structures**

L'entreprise métro d'Alger (EMA) est organisée en cinq structures fonctionnelles et cinq structures Opérationnelles.

#### **1- Structures fonctionnelles**

- **LA DIRECTION DE L'ADMINISTRATION ET DES RESSOURCES HUMAINES (DARH)**

Elle est responsable des fonctions ayant pour objectif de mobiliser et de développer les ressources humaines, la gestion de l'administration générale et des moyens, la gestion des contentieux et la gestion et la définition de la politique de communication interne et externe de l'entreprise.

- **LA DIRECTION DES FINANCES (DF)**

Cette direction est responsable de l'exercice et du développement des fonctions de la gestion financière, comptable et fiscale. Elle assure aussi la gestion des ressources financières mobilisées pour la réalisation des projets de l'Entreprise et leur exploitation ainsi que la prise en charge de toutes les opérations financières relatives au fonctionnement de l'entreprise.

- **LA DIRECTION JURIDIQUE ET MARCHES (DJM)**

Regroupe les domaines juridiques et marchés de l'Entreprise, ses missions sont la prise en charge de la préparation et la passation des marchés, les opérations d'expropriation et le règlement des litiges et contentieux liés à la gestion des projets de l'Entreprise.

- **LA DIRECTION DE L'AUDIT (DA)**

Cette direction a pour objectif de réaliser des missions d'audit interne et d'assurer que le processus de management des risques et de contrôle interne fonctionne de façon satisfaisante et de proposer aux besoins des mesures d'amélioration.

- **LA DIRECTION DE LA PLANIFICATION ET DU CONTRÔLE DE GESTION (DPCG)**

A pour objectif d'élaborer la stratégie et de définir les axes de développement que l'Entreprise compte mettre en œuvre, d'apporter une assistance aux structures de l'EMA en vue de leur permettre d'atteindre les objectifs opérationnels qu'elles s'assignent dans le cadre du plan annuel et d'assurer la cohérence de l'organisation avec la stratégie et les missions de l'entreprise.

#### **2-Structures opérationnelles**

- **LA DIRECTION DES ETUDES ET DE L'ENGINEERING (DEE)**

La direction DEE est chargée de réaliser ou de faire réaliser les études de maturation des projets Métros, Tramways et Transports par Câble, en respectant les phases successives (étude de faisabilité et de préparation à la réalisation). Les études à réaliser au titre de ces phases sont des études techniques (études préliminaires, avant-projet

sommaire et avant-projet détaillé), analyse financière, analyse économique et analyse des impacts environnementaux des projets.

- **LA DIRECTION DES INFRASTRUCTURES MÉTRO (DIM)**

Assure la mise en œuvre, la coordination et le contrôle de l'ensemble des moyens nécessaires à la réalisation des infrastructures définies dans les études d'APD des projets métro dans le respect des études de conception générale, des budgets et planning prévus pour l'ensemble des composantes des projets, notamment :

- Les tunnels et ouvrages en ligne,
- Les stations souterraines et en surface,
- La plateforme de voie,
- Les ouvrages d'arts etc.

- **LA DIRECTION SYSTÈME MÉTRO (DSM)**

La direction DSM responsable de la réalisation complète, jusqu'à sa mise en service, de toutes les composantes du Système intégral du métro, portant notamment sur :

- La voie,
- Les installations et équipements de distribution d'énergie électrique,
- Les équipements électromécaniques,
- Le matériel roulant- etc.

- **LA DIRECTION DES PROJETS TRAMWAY ET TRANSPORT PAR CÂBLE (DPTTC)**

Assure la planification opérationnelle et la gestion de l'ensemble des opérations de réalisation ainsi que la supervision des travaux de construction des projets Tramways et des Transports par câble à travers le Territoire National.

- **LA DIRECTION EXPLOITATION MÉTROS ET TRAMWAYS (DEMT)**

Assure la prise en charge de l'ensemble des actions concourant à une exploitation opérationnelle des deux systèmes de transport Métros et Tramways pour qu'ils soient :

- Performant et fiable en terme d'exploitation et de maintenance,
- Organisé et muni d'un système de gestion.

La figure (I.2) représente un organigramme général des directions de l'entreprise d'Alger (EMA)

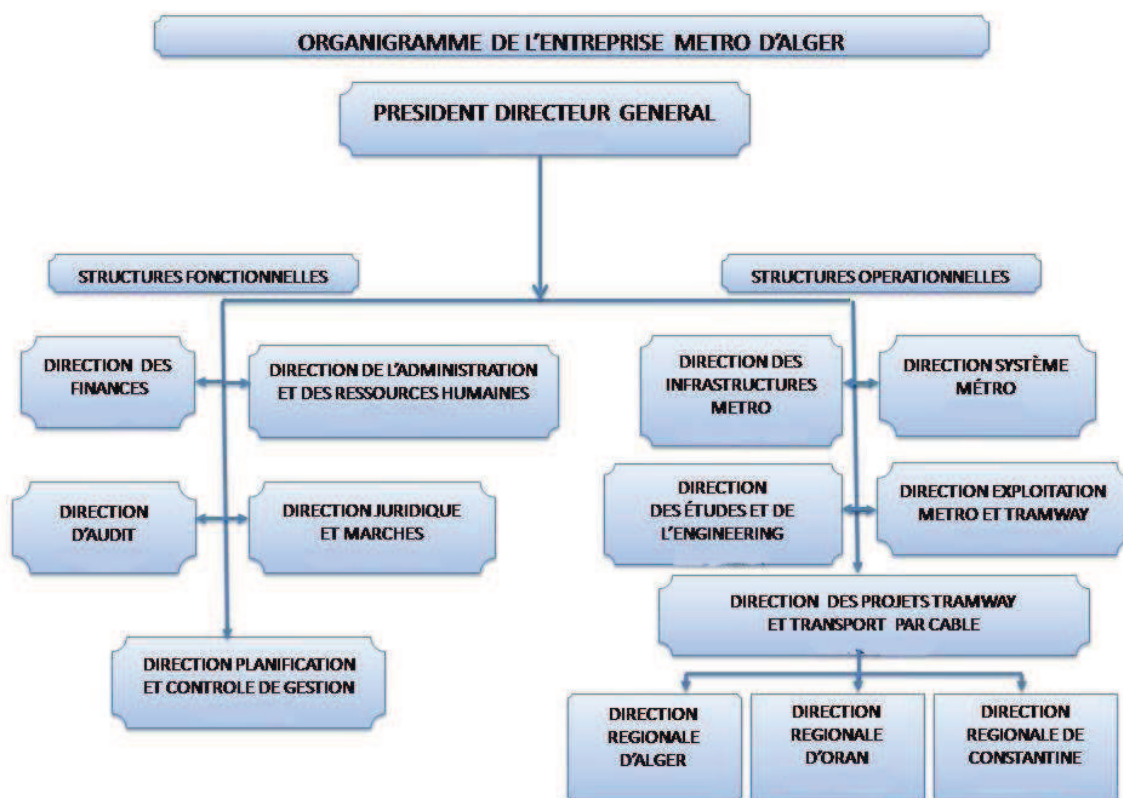


Figure (I.2) Organigramme générale des directions de l'entreprise d'Alger (EMA)

### I.1B.b) Infrastructures

L'EMA possède plusieurs infrastructures concernant les transports urbains et suburbains dont certains en exploitation et d'autres sont réalisation ou en étude :

- **Les tramways :**
  - En exploitation : Alger, Constantine et Oran.
  - En réalisation : Alger, Sidi Bel Abas, Mostaganem et Ouargla.
  - En étude : Batna, Bejaia, Biskra, Bechar, Blida, Tbessa, Tlemcen, Alger, Djelfa, Sétif, Skikda, Annaba, Constantine, Oran.
- **Téléphérique :**
  - Alger en exploitation.
- **Télécabines :**
  - En exploitation : Blida, Tlemcen, Skikda, Annaba, Constantine, Oran.
  - En réalisation : Tizi-Ouzou, Alger, Constantine, Ain Temouchent.
  - En étude : Jijel, Sidi Bel Abas, Medea, Oran, El Taref, Souk Ehra.
- **Metro :**
  - En exploitation : Alger.
  - En réalisation : Alger.
  - En étude : Alger, Oran.

## I.2) Transports urbains

### I.2.A) Transport en commun

Le **transport en commun**, ou **transport collectif**, consiste à transporter plusieurs personnes ensemble sur un même trajet. Il est généralement accessible en contrepartie d'un titre de transport (billet, ticket, carte).

### I.2.B) Les types de transport en commun

#### I.2.B.a) Transports aériens

Le transport aérien utilise aujourd'hui principalement l'avion. Il a autrefois utilisé le ballon dirigeable. La montgolfière est encore utilisée pour les déplacements touristiques.

#### I.2.B.b) Transports maritimes

On distingue:

- Transport maritime de personnes : paquebot, navette maritime (continuité territoriale)
- Transport par voie d'eau de personnes: bateau-mouche, ferry

#### I.2.B.c) Transports terrestres

Historiquement, les premiers transports terrestres ont été à traction hippomobile, aujourd'hui celui-ci subsiste essentiellement sous forme touristique, comme le transport en roulotte par exemple.

On utilise aujourd'hui surtout des véhicules à moteur: autobus (pour les services urbains), autocar (pour les services interurbains), trolleybus, taxi collectif, véhicule léger affecté au transport public de personnes (VLTP), voiture de tourisme avec chauffeur... On peut aussi citer le **chemin de fer** qui est un système de transport guidé . il se compose d'une infrastructure spécialisée, de matériel roulant et de procédures d'exploitation faisant le plus souvent intervenir l'humain, même si dans le cas des métros automatiques cette intervention se limite en temps normal à de la surveillance.

#### I.2.B.d) Les transports urbains

Ils traitent en réalité aussi de transport individuel comme la voiture ou le vélo. Ils concernent les différents moyens de transport qui sont propres à une ville ou un milieu urbain, adaptés à cet environnement.

Ces caractéristiques propres sont principalement: une densité démographique et géographique importante, ce qui implique de bien gérer les flux de voyageurs et marchandises dans l'espace urbain; des activités économiques importantes ce qui ajoute que la ville est à la fois le lieu de départ et d'arrivée de ces flux ; d'autres caractéristiques font que la ville apporte beaucoup de contraintes menant à une politique précise de transports urbains.

Les transports aujourd'hui occupent une place importante à la fois dans l'espace urbain mais aussi dans le temps urbain. C'est l'héritage du XX<sup>e</sup> siècle et de l'apparition de la voiture qui démocratise la mobilité.

## **I.2.C) Les types de transport urbain de la ville d'Alger**

### **I.2.C.a) Les bus**

Le réseau de transport urbain par bus de la ville d'Alger est assez désorganiser, il est essentiellement assurée par les privées avec la participation d'une entreprise d'état l'ETUSA qui assure à elle seul 100% de la demande.

### **I.2.C.b) Le tramway**

Le tramway est un système de transport en commun roulant sur des rails desservant l'agglomération d'Alger. En 2014, il comprend une ligne de 20,4 km et 32 stations.

Un premier tronçon de 7,2 km, situé à l'est de la capitale, reliant Bordj el Kiffan à la Cité Mokhtar Zerhouni, a été mis en exploitation le 8 mai 2011. Il a été ensuite prolongé le 15 juin 2012 à la station multimodale des Fusillés dans le centre-ville, offrant ainsi une interconnexion avec le métro. Un tronçon supplémentaire prolongeant la ligne de Bordj el Kiffan à l'est à Café Chergui a été inauguré le 22 avril 2014.

### **I.2.C.c) Métro**

Il fera l'objet de notre étude.

## **I.3) Présentation du métro d'Alger**

Le **métro d'Alger** est un réseau ferroviaire de transport urbain de type métro desservant la ville d'Alger.

### **I.3.A) Historique**

#### **I.3.A.a) Etat du projet avant l'indépendance**

C'est Le président du conseil général du département d'Alger qui a proposer de construire un nouveau réseau de transport en commun de la région algéroise, lequel comprendrait un métropolitain souterrain comme à Paris. L'étude sur la réorganisation des transports publics algérois est confiée à l'Omnium Lyonnais. Les conclusions de l'étude détaillée publiées en avril 1929 préconisent la construction d'une ligne de métro. La ville d'Alger et plusieurs communes limitrophes se constituent en syndicat intercommunal pour la réalisation du métropolitain.

Le projet prévoit la construction d'une ligne partant du cimetière Saint-Eugène, dans l'actuelle commune de Bologhine, et aboutissant à Maison-Carrée dans l'actuelle commune de El Harrach, en passant en souterrain jusqu'au quartier du Ruisseau situé aujourd'hui à Belouizdad. Une autre branche devait débiter au niveau de la Gare de l'Agha pour aboutir au Parc de Galland (actuel parc de la Liberté).

Mais plusieurs communes se retirent, ne restant qu'Alger, El Biar et Kouba en 1932. Des sondages sont réalisés au niveau des futures stations, mais le projet est peu à peu délaissé jusqu'à être ajourné par délibération du conseil municipal le 26 juillet 1935 à cause de l'importance de la dépense qui était estimée à 80 millions de francs.

Après plusieurs projets de mise en souterrain partiel du réseau de tramways de la ville qui n'aboutirent pas, une nouvelle étude de la Régie autonome des transports parisiens (RATP), remise en 1959, préconise à nouveau la création d'une ligne du même type que le métro sur pneus exploité à Paris.

Cette ligne doit débiter au carrefour Bouzareah-Cambon (*carrefour Triolet*) pour descendre vers Bab El Oued puis se diriger vers la Grande Poste d'Alger avant de se diviser en deux branches ; une première jusqu'au carrefour Galliéni-Roosevelt (actuellement Place Adis-Abeba) et une seconde jusqu'au quartier du Ruisseau, dans la commune actuelle de Belouizdad.

### **I.3.A.b) Etat du projet après l'indépendance**

En 1980, la SOFRETU réalise pour la RSTA une première «étude de réactualisation du projet de métro d'Alger». En 1981, des évaluations préliminaires pour une première ligne sont présentées au gouvernement, puis en 1982, la SOFRETU est chargée d'étudier un réseau de 64 km avec une priorité pour une première ligne de 12,5 km.

Les études techniques sont réalisées entre 1982 et 1985. L'Entreprise du Métro d'Alger est créée le 24 novembre 1984, chargée de la réalisation du projet. Une entreprise allemande et une japonaise sont retenues pour la réalisation, mais la chute du prix du baril de pétrole, de 30 \$ jusqu'à la moitié de cette somme les années suivantes, réduit considérablement les ressources financières de notre pays et retardent sa réalisation.

Il faut attendre trois ans pour que le marché soit réattribué à deux entreprises algériennes, *COSIDER* et *GENISIDER*, en juillet 1988 et août 1989, les travaux vont tarder à commencer à cause de la situation sécuritaire du pays.

Les premiers coups de pioche ont lieu en octobre 1990 au niveau de la place de l'Emir Abdelkader à Alger-Centre. Au niveau de la station Aïssat Idir, les travaux ne débutent qu'en mars 1993, Pour la station *Hamma* sa sera mars 1994.

En 1994, un premier tronçon qui va de la place de l'Emir-Abdelkader à la Grande Poste d'Alger, long de 450 m, est achevé. Un autre tronçon de 650 m, qui relie la station Grande-Poste à la station *Khelifa Boukhalfa*, est lui aussi achevé. En 1996 la jonction est faite entre le tunnel de *Khelifa Boukhalfa* et celui de la station *1<sup>er</sup> Mai*.

En 1999, l'Entreprise du Métro d'Alger (EMA) lance un avis d'appel d'offres international et deux groupements sont choisis : le français Systra pour la maîtrise d'œuvre et l'algéro-allemand GAAMA (comprenant les entreprises *COSIDER* et *DYWIDAG* pour la réalisation et l'achèvement dans un délai de 38 mois des travaux de terrassement et de génie civil.

En 2003, profitant du retour des équilibres économiques, le gouvernement algérien décide de doter le projet de moyens financiers adéquats et de nouvelles structures organisationnelles et opérationnelles.

En janvier 2006, l'Entreprise du Métro d'Alger (EMA) confie la réalisation du « système intégral » (clé-en-main) au groupement constitué de l'entreprise allemande Siemens Transportation Systems pour la pose du matériel fixe, la signalisation et l'électrification et l'entreprise française Vinci Construction Grands Projets et DYWIDAG International GmbH pour le génie civil, ainsi que de l'entreprise espagnole Construcciones y auxiliar de ferrocarriles (CAF) pour le matériel roulant (14 trains de 6 voitures).

Le tronçon *El Hamma - Haï El Badr*, avec ses 4 stations et 17 ouvrages pour la ventilation et les câbles est réalisé dans les délais impartis de 38 mois. Les travaux de génie civil concernant le forage et la pose des rails ont été officiellement achevés le 30 juin 2007. La pose et la soudure des voies d'une longueur de 23 km (jusqu'aux dépôts) sont entamées en avril 2007 par l'entreprise française TSO (Travaux du Sud-Ouest), pour être livrer en novembre 2007.

Les premières rames arrivent à Alger en août 2008.

En 2010, un conflit financier entre EMA et le groupe Siemens-Vinci provoque un arrêt des travaux de plusieurs mois.

Le 8 septembre 2011 débute la « marche à blanc » du métro d'Alger.

Le tronçon *Tafourah (Grande poste) - Haï El Badr* de la première ligne du métro d'Alger, d'une longueur de 9,5 km et comportant dix stations, est inauguré le 31 octobre 2011 par le président Abdelaziz Bouteflika. Ce premier tronçon entre en exploitation commerciale le mardi 1<sup>er</sup> novembre 2011.

## **I.4) Les caractéristiques du métro d'Alger**

Le projet actuel comprend une ligne (ligne1) en exploitation avec des extensions (extension A, B, C) et deux autres lignes en étude (ligne 2 et 3).

### **I.4.A) La ligne 1**

D'une longueur de 9,5 km, la première section de la ligne 1 comprend dix stations, reliant Tafourah - Grande Poste à Haï El Badr. Les stations ont une longueur de 115 m et une largeur de 23 m. Neuf des dix stations sont souterraines et comportent deux voies centrales encadrées par deux quais latéraux. Seule la station Haï El Badr est en surface et comporte trois voies et deux quais centraux.

### **I.4.B) Les Stations de la ligne1**

Le métro d'Alger de la ligne 1, desserve les stations suivantes présenter dans le

Tableau(I.1)

Stations	Communes desservies
Tafourah - Grande Poste	Alger-Centre
KhelifaBoukhalfa	Alger-Centre
1 <sup>er</sup> Mai	Sidi M'Hamed
AïssatIdir	Sidi M'Hamed
Hamma	Belouizdad
Jardin d'essai	Belouizdad
Les Fusillés	Hussein-Dey
Cité Mer et Soleil	Hussein-Dey
Haï El Badr	El Magharia

Tableau(I.1) : Stations de la ligne 1

### I.4.C) Extensions

Afin de subvenir au besoin du transport trois extensions de la ligne 1 sont en cours de construction.

- **De Tafourah - Grande-Poste vers la Place des Martyrs (Extension A)**

Le prolongement de la ligne depuis la station Tafourah - Grande-Poste vers la Place des Martyrs, au nord d'Alger, d'une longueur de 1,69 km, comporte deux stations, Ali Boumendjel dans la commune d'Alger-Centre et **Place des Martyrs** dans la commune de la Casbah. La livraison de cette extension est prévue en 2015. Les travaux de ce prolongement ont été retardés afin de procéder à des fouilles archéologiques autour de la place des Martyrs, au pied de la Casbah, suite à la découverte de vestiges historiques

- **De Hai El Badr vers El Harrach (Extension B)**

Le prolongement de la ligne depuis la station Hai el Badr vers El Harrach, d'une longueur de 4 km, comportera quatre stations : **Bachdjarah 1**, **Bachdjarah 2**, **El Harrach-Gare** et **El Harrach-Centre** et un viaduc de 250 m au-dessus de la bretelle d'autoroute de Oued Ouchaïah (entre la station Hai-El-Badr et Bachdjarah 1).

Le groupement COSIDER-DYWIDAG qui a réalisé le premier tronçon, a fait une offre de 250 millions d'euros comprenant la réalisation d'une station multimodale (métro/train/bus/taxis) au niveau de la gare ferroviaire d'El Harrach. Le groupement Colas-Kouge a décroché la réalisation du système intégral pour 85 millions d'euros.

Les travaux de génie civil ont débutés en août 2008 et ont été réceptionnés le 22 octobre 2012. La partie technique comprenant la pose des rails et du système intégral est en cours de réalisation et devrait durer 23 mois.

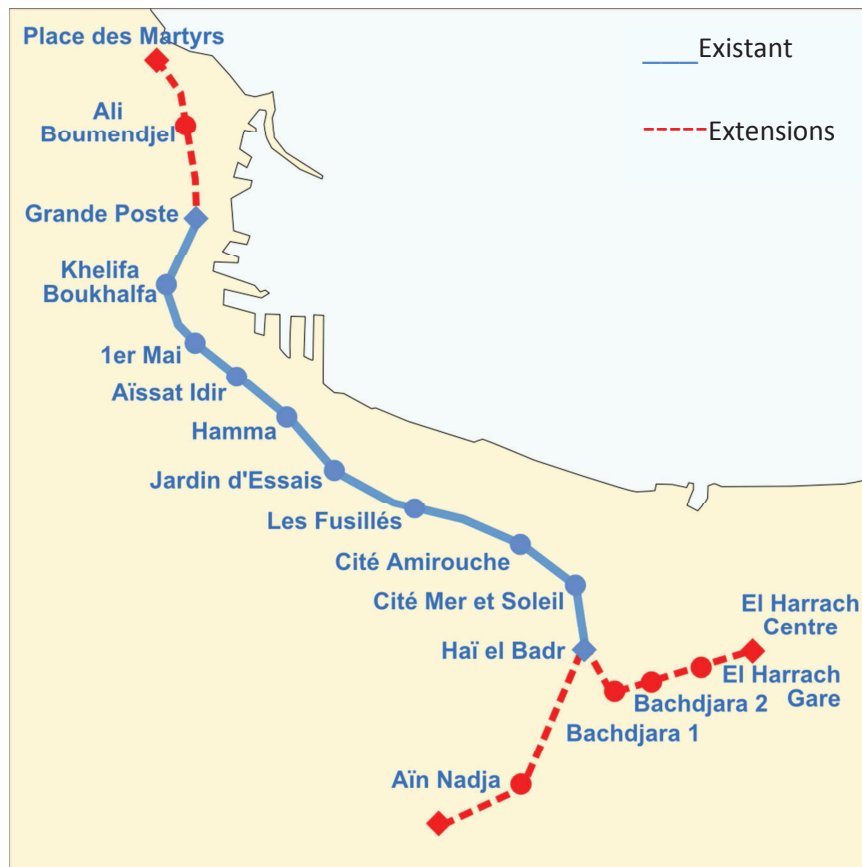
La livraison de cette extension était prévue en 2012, pour une ouverture en 2013.

- **De Haï El Badr vers AinNaâdja (Extension C)**

Une nouvelle branche de la ligne 1, d'une longueur de 3,70 km, est en construction depuis l'été 2011. Cette branche reliera la station de Haï El Badr au quartier d'AïnNaâdja et

comportera deux stations et un viaduc de 132 m. L'appel d'offre, lancé en 2009, a été remporté par le groupement COSIDER-DYWIDAG comme pour le reste de la ligne 1. Le percement du tunnel de 800 mètres entre les stations Ain Naadja 1 et Ain Naadja 2 a été achevé le 21 octobre 2013.

La figure (I.2) montre le tracé de la ligne 1 avec stations existantes et les extensions en projet.



Figure(I.2) Tracé de la ligne 1 du métro d'Alger

## Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés aux transports en commun de la ville d'Alger et aux problèmes logistiques de ces transports urbains, rappelons l'histoire de la création du métro d'Alger et une présentation globale sur l'entreprise métro d'Alger plus précisément les caractéristiques du tracé de sa ligne 1<sup>e</sup> ainsi que ces extensions, Par la suite on verra les caractéristiques techniques du métro d'Alger de ce qu'ils comportent comme systèmes et sous-systèmes, On se rendra compte de comment ces différents systèmes coopèrent et collaborent en station pour permettre aux rames de métro de rouler sans le moindre problème. Ce système assure ainsi un fonctionnement optimal du métro.

# Chapitre II

## **Introduction**

Le métro d'Alger est l'un des métros les plus performants au monde, lors de sa construction et pour son exploitation on a installé du matériel de dernière génération comme les automates siemens S7-400, la performance de ces systèmes vient d'être amélioré dans les extensions A, B, et C de la ligne 1 en cours de réalisation pour d'autre éventuelle extension, on utilise aussi des technologies du domaine ferroviaire comme le système de train de garde MTCBTC.

Dans ce chapitre on présentera le principe de fonctionnement général du métro d'Alger, ainsi qu'un aperçu des technologies et matériels utiliser.

### **II.1) Informations techniques [1]**

Comme on l'a vu dans le chapitre précédent, le métro d'Alger se compose de plusieurs stations réparties le long de la ligne ainsi qu'un Poste de Commande Centralisé (PCC) comme son nom l'indique ce poste de commande centralisé toutes les informations relatives au bon fonctionnement du métro. Il comporte aussi tous les outils nécessaires pour un contrôle total et à distance (Commande et contrôle) de chaque système et sous-système.

La remonté d'information des stations vers le poste de commande centralisé se fait grâce à un double anneau a fibre optique, on utilise de la fibre optique pour assurer une remonté fluide et rapide des informations. Pour un souci de sécurité et de fiabilité, la plus part des importants systèmes sont redondants (doublé). Et vu que l'anneau à fibre optique est l'élément central qui assure la communication entre stations et poste de commande centralisé donc sa redondance est indispensable.

### **II.2) Architecture de transmission des données [1]**

#### **II.2.A) Double anneau a fibre optique**

##### **II.2.A.a) Description du double anneau à fibre optique**

Ce sont deux câbles de fibre optique multi-mode mis en parallèle l'un à côté de l'autre et qui serpente sur toute la longueur de la ligne du métro d'Alger. Toutes les stations et le poste de commande centralisé (PCC) sont reliés à ce double anneau à l'aide de nœuds

Open Transmission Network (OTN). Ces nœuds servent de liens entre les stations et le double anneau à fibre optique. Comme on peut le voir dans la figure(II.1)

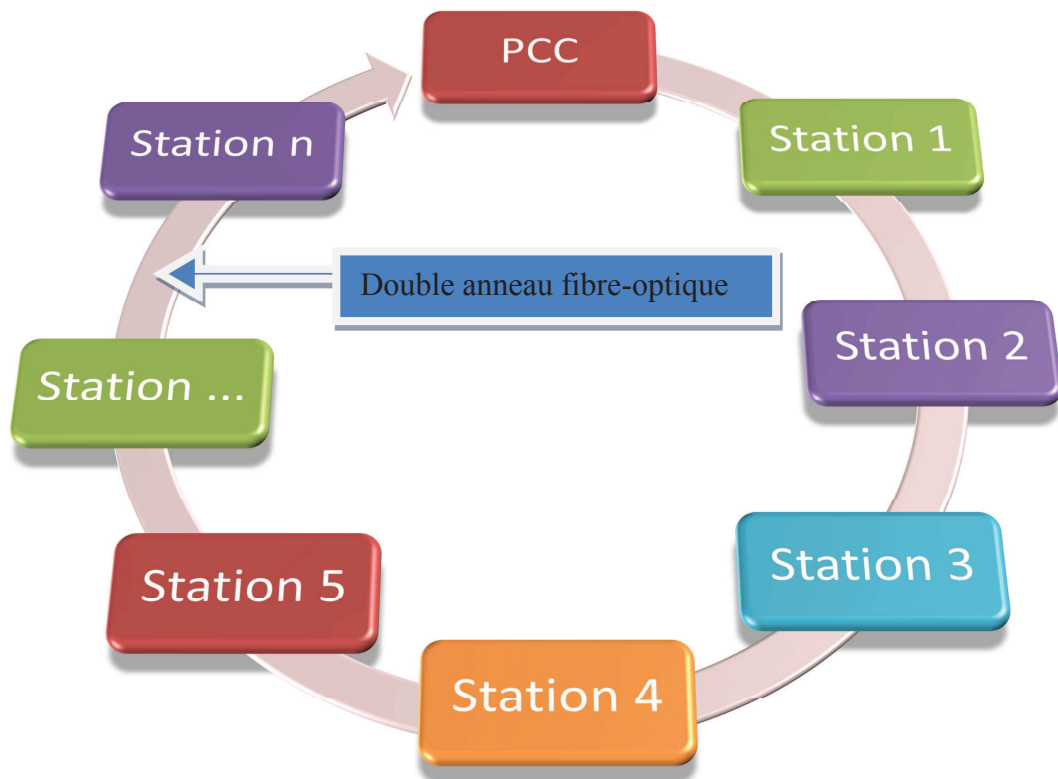


Figure (II.1) représentation de l'anneau à fibre optique

Les informations circulent dans un sens ou dans l'autre mais le système peut changer le sens de récupération et d'envois des informations. Quand le système de transmission des données fonctionne un seul câble est utilisé l'autre se met en Stand-By en cas de défaillance ou de sectionnement du câble, une procédure se met en route en utilisant les deux câbles avec changement de sens de circulation des données. La figure (II.2) illustre ce fonctionnement en cas de défaillance.

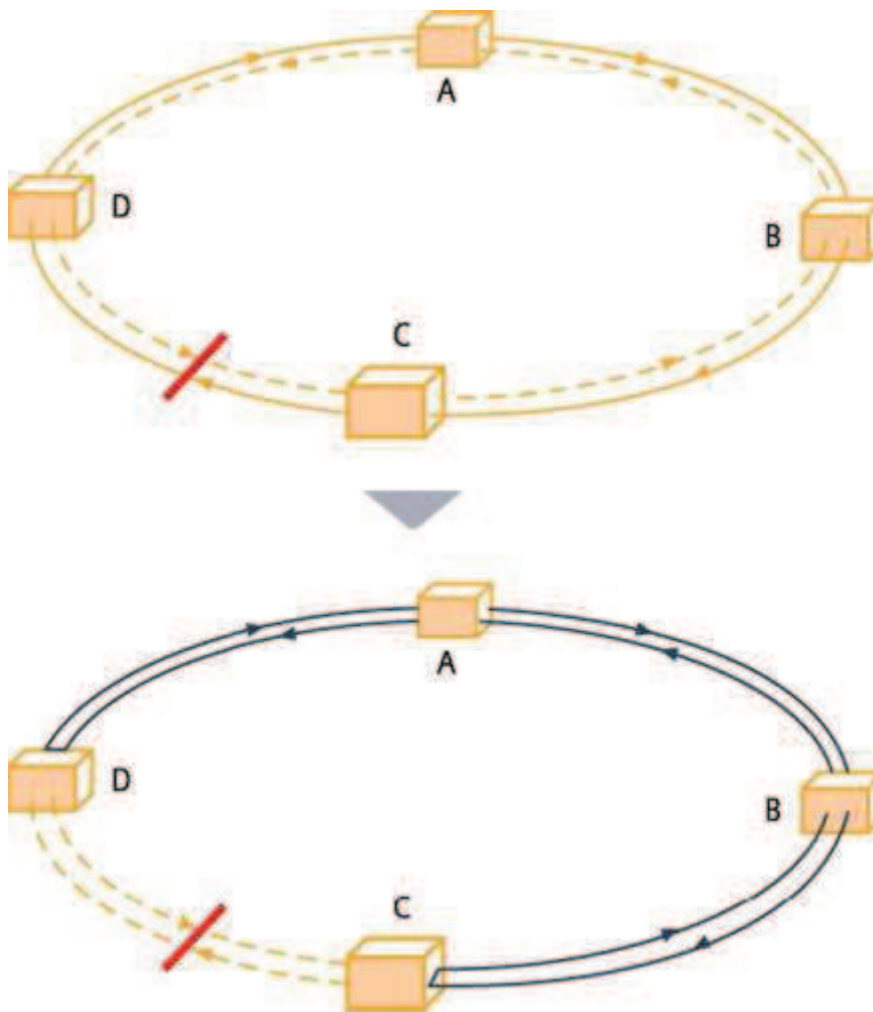


Figure (II.2) changement de sens du double anneau à fibre optique

### II.2.A.b) Nœud Open Transmission Network (OTN)

Pour que les stations soient toutes reliées à l'anneau on utilise ce qu'on appelle des nœuds : Open Transmission Network (OTN), ils sont constitués d'une multitude de cartes électroniques, parmi ces cartes on trouve la carte BORA qui est chargée de la conversion « optique-cuivre » de la fibre optique à l'Ethernet ou l'inverse.

Chaque nœud est relié en station à l'automate Unité d'Acquisition Station (UAS) en liaison Ethernet (câble RG45) et le poste de commande centralisé ce connecte via sont automate frontale a son propre nœud.

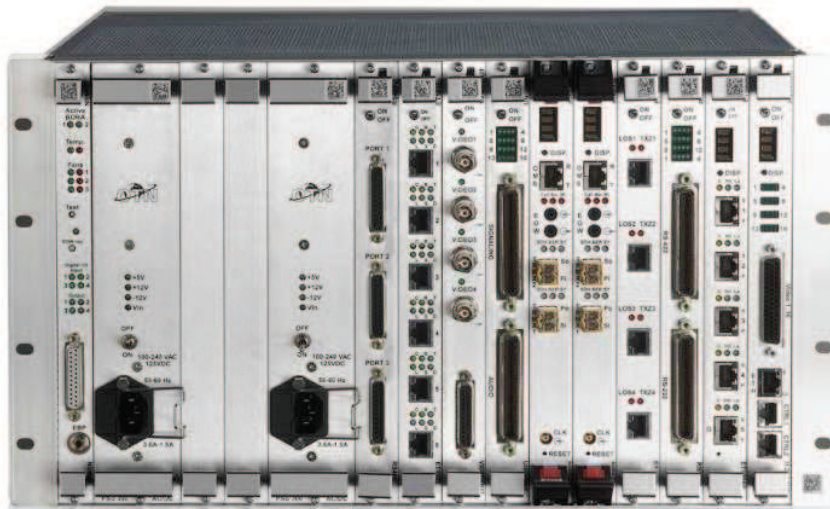


Figure (II.3) : Nœud Open Transmission Network OTN N-42

## II.2.B) Transmission des données du poste de commande centralisé

### II.2.B.a) Interface homme machine

Ce poste permet à l'opérateur chargé de l'exploitation de visualiser et de commander en temps réel, tous les systèmes et sous-système de la commande contrôle juste avec un clic.

### II.2.B.b) Serveur SCADA

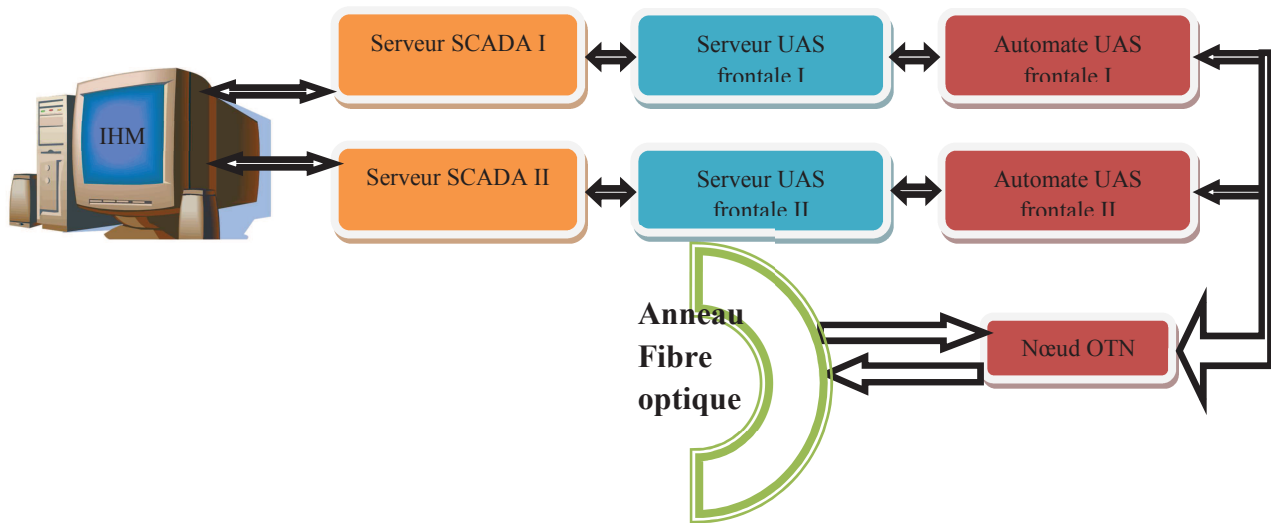
Il gère l'acquisition et le stockage de données à grande échelle, permettent de traiter en temps réel une grande partie d'entre elles et même de contrôler à distance toute les installations du métro d'Alger.

### II.2.B.c) Serveur unité d'acquisition station

Il assure la communication et l'encodage des données entre le serveur SCADA et l'automate frontale

### II.2.B.d) Automate unité d'acquisition station frontale

C'est un automate de type siemens S7-400, il récolte toute les données qui sont émises par les stations dans l'anneau a fibre optique en protocole S7. Cet automate est en interlocking permanent avec les automates unité acquisition station (UAS).



Figure(II.4) : Synoptique de transmission des données depuis le poste de commande centralisé vers les stations

### II.2.C) Transmission des données en stations

Une station de métro a besoin de plusieurs systèmes pour assurer un fonctionnement optimal à sa clientèle en termes de confort mais aussi de sécurité. Tous ces systèmes coopèrent et collaborent avec l'automate fédérateur qui les commande et récupère toute les informations qu'ils génèrent. Tel que présenter et expliquer dans la figure (II.5).

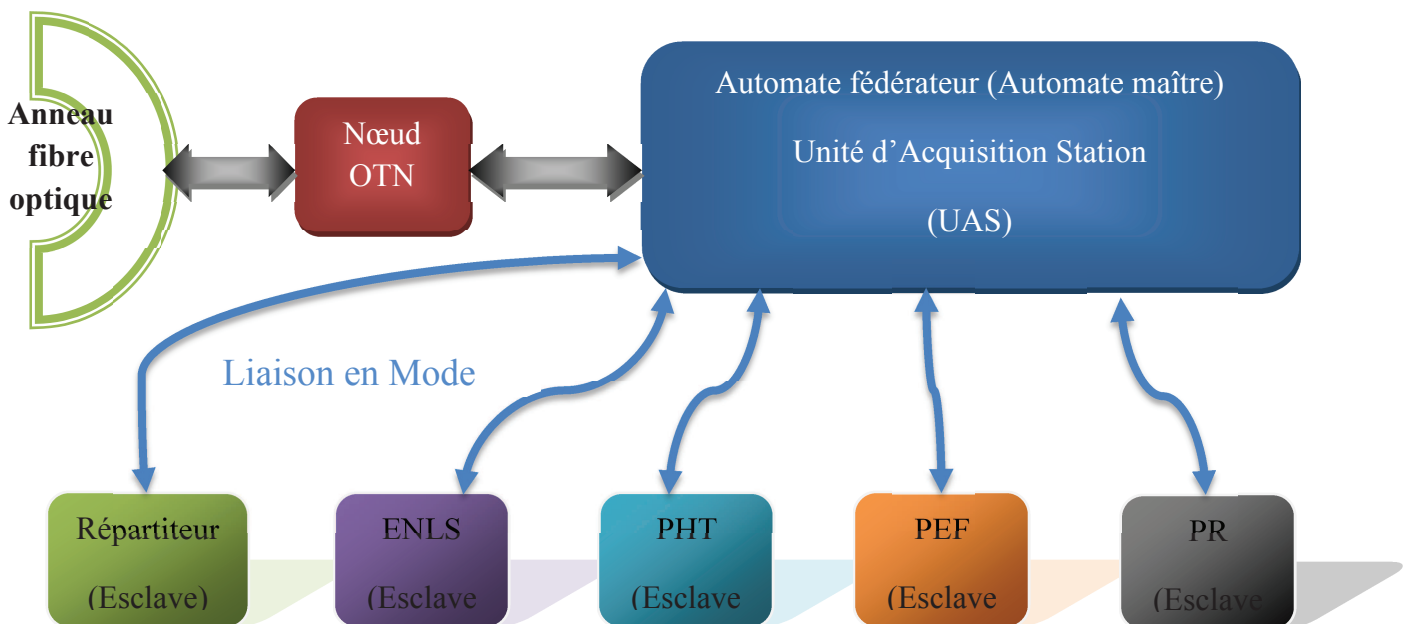


Figure (II.5) : schéma illustrant la connexion des systèmes avec l'UAS ligne1 (existante)

### **II.2.C.a) Unité d'Acquisition Station (UAS)**

Appeler aussi automate fédérateur, il s'agit d'un automate de type siemens (S7-400). Il est essentiellement chargé de la communication entre les différents systèmes d'une station. Il assure la collecte des données de toute la station ainsi que la communication avec le poste de commande centraliser (PCC). Il peut gérer ou exécuter quelques tâches.

### **II.2.C.b) Les équipements non liés au système (ENLS)**

Ceux sont des équipements annexes qui servent en générale comme équipements de sécurité et de confort pour les clients, qui sont :

- Escaliers mécaniques
- Epuisement station
- Epuisement inter station
- Ventilation station
- Ventilation inter station
- Centrale de secours

### **II.2.C.c) Répartiteur**

C'est la fonctionnalité responsable de la billetterie.

### **II.2.C.d) Poste Electro Force (PEF)**

C'est le poste responsable de l'éclairage et des besoins énergétiques de la station et l'inter-station, chaque poste électro-force (PEF) est décomposé en deux parties, celle du premier quai et celle du deuxième, chacune fonctionne à 50% de sa puissance, car en cas de perte d'une partie l'autre prend en charge l'autre partie (un système redondant).

### **II.2.C.e) Poste de Haute Tension (PHT)**

Ce poste a pour mission de recevoir et de distribuer l'énergie électrique en haute tension, il alimente tout ce qui est relié au métro. Il n'existe que deux PHT en tout qui se situent aux Anacér.

### **II.2.C.f) Poste de Redressement (PR)**

Il est l'objet de notre travail, son rôle est de convertir l'énergie électrique de 30Kv alternatif en 750 v continue, pour alimenter le troisième rail responsable de la traction des rames. Ce dernier est alimenté à partir des PHT à l'aide de câbles de cuivre moyenne tension acheminer dans le tunnel avec caniveaux et il fonctionne à une puissance réduite de sa

capacité, car si l'un ou plusieurs poste de redressement tombent en panne, les zones qu'il prenait en charge seront alimentés par les poste de redressement adjacents.

### II.2.D) Amélioration du système de transmission des données des stations du métro d'Alger

L'extension de la ligne 1 du métro d'Alger vers l'est prévoit quelques améliorations dans le domaine des transmissions de données. Il est à noter l'apparition d'un double anneau fibre optique interne (Figure (II.6)) en station qui assure la communication entre l'automate fédérateur et les automates esclaves des autres systèmes. L'incorporation d'un nouveau module est indispensable.

La Scalance assure la connexion Ethernet fibre optique et inverse. Elle joue le rôle du nœud OTN mais dans une échelle moins importante en termes de quantité de données traités

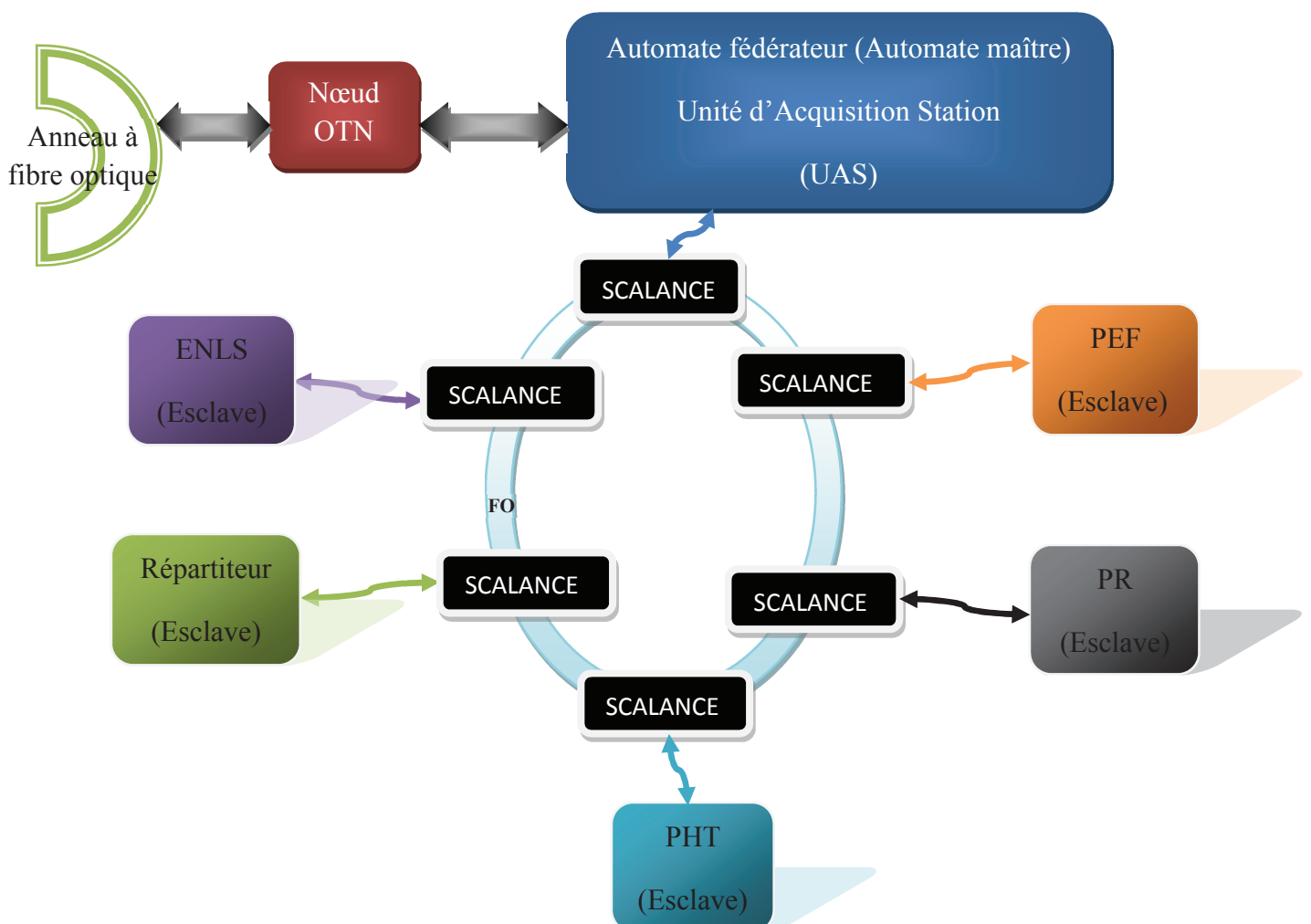


Figure (II.6) Schéma illustrant le nouveau système de transmission de données en station dans l'extension B de la ligne 1

## II.3) Poste de redressement numéro 11 de l'extension B de la ligne 1 du métro d'Alger [1]

### II.3.A) Situation

Le poste est situé dans la station HAÏ EL-BADR et c'est le premier de l'extension B

### II.3.B) Caractéristiques techniques et composants

#### II.3.B.a) Transformateur de traction

##### 1) Caractéristiques générales (tableau II.1)

- une barre de masse pour raccordement au circuit de terre
- un dispositif anti-déflagration

Service	Intérieur
Type de refroidissement	Naturel
Puissance	3300 kVA
Bobinages secondaires	2 X 1 650 kVA
Fréquence nominale	50 HZ
Tension primaire nominale	30 kV
Tension nominal d'isolement (primaire)	36 kV
Niveau d'isolement	70 kV
Tension secondaire nominale	Environ 585V
Tension nominale d'isolement (secondaire)	1,1 kV
Prises additionnelles	-7.5 %, -5 %, -2.5 %, % ; +2.5 %, +5%
Couplage	Couplage Dyn11d0
Diélectrique	huile siliconée 60 Ou Sec
Cycle de charge ( IEC 60146 - Classe VI )	100 % -continu 150 % -2 heures 300 % -

Tableau (II.1) : Caractéristiques générales du transformateur de traction

##### 2) Protection du transformateur de traction

Dans le cas d'un transformateur sec, la température des enroulements à deux seuils. Dans le cas d'un transformateur à huile, les protections suivantes sont assurées :

- a) Contrôle de la température des enroulements BT à deux seuils.
- b) Surveillance du niveau d'huile
- c) Surveillance de la pression

Le transformateur de traction sera équipé d'un détecteur de type DGPT2 équipé d'un contact d'alarme bas niveau, d'un contact de défaut surpression et de 2 contacts thermostats réglables (un pour l'alarme et un pour le déclenchement).

### II.3.B.b) Redresseur

Le redresseur est composé de deux convertisseurs hexaphasés avec diodes en simple pont de Graëtz triphasé. Un système de verrouillage par clé empêche l'accès au redresseur quand celui-ci est en service.

#### Caractéristiques générales (Tableau II.2)

Type	Double pont de Graetz hexaphasé
Semi – conducteur	Diode type avalanche
Puissance nominale	3MW ( 2 x 1,5 )
Tension à vide en charge ( 100 % )	790 Vcc 750Vcc
Urrm	4 400V c à c (limite haute)
Tension d'alimentation des auxiliaires	110 Vcc
Niveau de bruit	< 65 dBA à 1.0 mètres

Tableau (II.2) : caractéristiques générale du redresseur

### II.3.B.c) Sectionneur d'isolement automatique(SIA)

Le SIA est un sectionneur bipolaire à ouverture automatique, il est utilisé pour isoler le transformateur et le redresseur en cas de défaillance. L'appareil sera également capable de couper des courants faibles qui sont dus au retour de tension ligne vers le redresseur, après mise en arrêt du groupe et ouverture du disjoncteur MT.

#### Caractéristiques générales

Tension d'isolement	3000 Vcc
Tension nominale	750 Vcc
Tension d'alimentation des auxiliaires indicatrices	110Vcc
Contacts auxiliaires :	O/O : 2 mini F/O :
Indice de protection (minimum)	IP 20

Tableau (II.3) : Caractéristiques générales du Sectionneur d'isolement automatique (SIA)

### II.3.B.d) Cellules de feeder(CF)

Chaque poste de redressement (PR) est composé de :

- Deux cellules de feeder avec disjoncteur ultra-rapide associées à des relais de protection.
- Une cellule de by-pass.

L'armoire des cellules de feeder est compartimentée.

#### Caractéristiques générales

Tension d'isolement	8000 Vcc
Tension nominale du circuit principal	750 Vcc
Seuil de déclenchement	Réglable : entre 6kA – 1 2kA ou 9kA -1 5kA
Courant nominal :	
- en régime permanent	3900
- 2 heures	A
- 1 minute	5400
Tension d'alimentation pour le contrôle – A commande et lampes indicatrices	110 Vcc
Tension d'alimentation du chauffage anti - condensation	230 Vca , 50 HZ
Contacts auxiliaires	O/O : 6 mini F/O

Tableau (II.4) : Caractéristiques générales des Cellules de feeder (CF)

### II.3.B.e) Sectionneurs de feeder (SF)

Le sectionneur de feeder est un grand interrupteur, appelé aussi interrupteur Sectionneur, son rôle est de créer un pont en deux point permettant au courant de passer d'un point à un autre.

#### Caractéristiques générales

Type de service	Intérieur
Tension nominale	750 Vcc
Tension de service maximale	3,6 kV
Courant nominal en régime continu	3.000 A
Courant de coupure possible	3.000 A
Tension d'essai a fréquence industrielle	20kv
Tension d'essai sous pluie et sur la distance de sectionnement	22 kV

Tableau (II.5) : Caractéristiques générales des sectionneurs de feeder(SF)

**II.3.B.f) Sectionneur négatif (SN)**

Le sectionneur négatif est un sectionneur unipolaire motorisé. Il sert de borne négative pour la traction

**Caractéristiques générales**

Commande	Motorisée
Tension d'isolement	1500 Vcc
Tension nominale	750 Vcc
Courant nominal :	
en régime permanent	4 000 A
2 heures	6 000 A
1 minute	12 000 A
Tension d'alimentation du chauffage anti - condensation	230 Vca , 50 HZ

Tableau (II.6) : Caractéristiques générales sectionneur négatif (SN)

Les composants décrits par leurs caractéristiques générales sont illustrés dans la figure (II.7) ci jointe représentant le schéma électrique général du poste de redressement N°11 situé à Haï El-Bard.

**II.4) Cahier des charges [1]**

L'exploitation du métro impose des contraintes sur le poste de redressement, le respect de ces contraintes passe par des vérifications continues et systématiques des composants du poste de redressement qui sont :

**Contrainte sur le transformateur :**

1. Vérification de température 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> seuil.
2. Vérification de la pression d'huile.
3. Vérification diélectrique.

**Contrainte sur le redresseur :**

1. Vérification de température 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> seuil.
2. Vérification des fusibles des diodes.
3. Vérification du fusible RC.
4. Vérification du relais retour de courant.



Figure (II.7) : Schéma générale du poste de redressement

**Contrainte sur les cellules de feeder :**

1. Détection de défaut électrique sur la ligne (DDL).
2. Essai de ligne (EDL).

**II.4.A) Fonctionnement normal**

Le poste de redressement doit alimenter le 3<sup>ème</sup> rail qui assure la traction avec du 750vcc (continue) pour cela il faut ordonnée la fermeture de l'interrupteur d'arrivée (IA) et le sectionneur négatif (SN) pour alimenter les cellules du poste de redressement, après vérification de la présence de courant haute tension (pHT) et que le sectionneur négatif et fermé l'ordre est donnée au disjoncteur moyen tension de ce fermé (DMT) cela alimente le transformateur puis le redresseur. Les cellules de feeder (CF) sont alimentées à leur tour via le sectionneur d'isolement automatique (SIA). Les sectionneurs de feeder se ferment en dernier et le courant passe dans le 3<sup>ème</sup> rail.

**II.4.B) Fonctionnement en mode dégrader (cas de défaillance)****Défaut 1<sup>er</sup> niveau :**

Dans ce cas l'exploitation du poste de redressement ne changera pas, juste une remonté d'alarme au poste de commande centralisée.

**Défaut 2<sup>ème</sup> niveau :****Procédure de traitement d'alarme majeur sur le transformateur ou le redresseur**

En cas de perte du transformateur ou du redresseur, on ouvre les cellules feeder (CF) puis le disjoncteur moyenne tension (DMT) en suite le sectionneur d'isolement automatique (SIA) est ouvert pour isoler le bloque transformateur/redresseur une fois cette procédure est terminé on referme les cellules de feeder (CF) pour alimenter le 3<sup>ème</sup> rail avec les poste de redressement voisin.

**Procédure du traitement d'alarme majeur sur les cellules de feeder**

On ouvre là où les cellules feeder sont endommagées puis on enclenche la fermeture du sectionneur de feeder N° 3 situé entre les cellules de feeder (CF) pour créer un pont d'alimentation entre deux sections du 3<sup>ème</sup> rail.

**II.4.C) Réparation des défaillances**

En cas de plusieurs alarmes en même temps, notre système est conçu pour que chaque système marche indépendamment l'un de l'autre ainsi si une alarme est réparé son système retrouve son état de fonctionnement par défaut même si une autre alarme est encore en cour.

## **Conclusion**

Dans ce deuxième chapitre nous avons décrit le poste de redressement N°11 de l'extension B de la ligne 1 ainsi que son principe de fonctionnement, nous nous sommes aussi intéressés au système de remonté d'information du poste de redressement jusqu'au poste de commande centralisé pour comprendre le système de commande contrôle.

La compréhension du fonctionnement du poste de redressement nous permettra de créer facilement un modèle à base de réseaux de Petri dans le chapitre qui suit.

# Chapitre III

## Introduction

L'objectif premier de la modélisation est de concevoir, de reproduire et de traduire le comportement d'un système de façon virtuelle à l'aide de la création d'un modèle, ce modèle doit être l'exactitude même du système ou bien s'en rapprocher le plus possible tout en respectant les contraintes de ce système. On crée un modèle avec une représentation plus ou moins abstraite destiné à fournir un support pratique d'analyse pour mieux étudier son fonctionnement, mesurer ces performances, le simuler pour diagnostiquer des erreurs et les corriger avant la création du véritable système.

Le choix des outils de modélisation se fait par un compromis entre la puissance de modélisation, la possibilité de valider le modèle établi et d'en analyser son comportement.

C'est CARL ADAM PETRI un mathématicien allemand contemporain qui a permis de modéliser le comportement de systèmes dynamique à événement discrets grâce aux réseaux de Petri en 1962.

Les Réseaux de Petri (RdP) est l'outil par excellence pour la modélisation et l'évaluation des performances des systèmes automatisés, ils occupent une place privilégiée en raison de leur représentations graphique concise et leur pouvoir de description et analytique.

### III.1) Définition [4]

Un réseau de Petri est un graphe biparti, avec une représentation mathématique graphique simple. Composé de deux sommets : les places et les transitions. Des arcs orientés relient les places aux transitions et les transitions aux places.





On s'inspire de cercles pour représentées les place et de barres pour les transitions. Les Réseaux de Petri (**RdP**) ont été développés pour permettre la modélisation de classes importantes de systèmes, comme la classe de systèmes automatisés dans notre cas, afin de permettre leur conception, leur évaluation et leur amélioration.

Ils permettent de modéliser et de visualiser des comportements comportant du parallélisme, de la synchronisation, et du partage de ressource.

C'est un outil de modélisation de la composition et la communication entre les automates, il permet la simulation, la validation et l'évaluation de performances.

### III.2) Elément de base d'un réseau de Petri

Le tableau suivant nous montre la signification des objets graphique utilisé dans les réseaux de Petri telle que les places et les transitions.

Elément	Place	Transition	Arc orienté	Jeton
Signification	Un état du système	Un changement d'état (Action)	reliant soit une place à une transition, soit une transition à une place	état actuel du système
Symbole graphique				

### III.3) Evolution d'un Réseaux de Petri

L'évolution d'un réseau de Petri (RdP) correspond à l'évolution de son marquage au cours du temps : il se traduit par un déplacement de marques, ce qui s'interprète comme la consommation/production de ressources déclenchée par des événements ou des actions.

Déterminer l'évolution d'un réseau de Petri correspond en fait à le simuler.

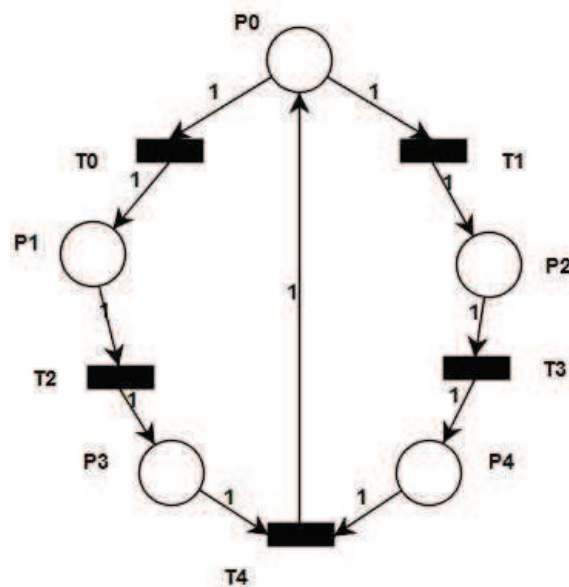
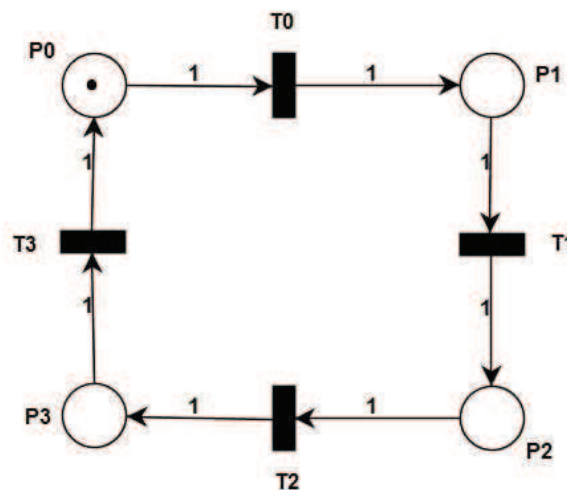


Figure (III.1) évolution d'un réseau de petri

### III.4) Les réseaux de Petri autonomes et non autonomes

#### III.4.A) Réseau de Petri autonome

Un réseau de Petri autonome décrit le fonctionnement d'un système dont les instants de franchissement des transitions ne sont pas connus.



Figure(III.2) Réseau de petri autonome

#### III.4.B) Réseau de petri non autonome

Un réseau de Petri non autonome décrit le fonctionnement d'un système dont l'évolution est conditionné par des événements externes ou par le temps. Un réseau de Petri non autonome est synchronisé et/ou temporisé.

### III.5) Propriétés des réseaux de Petri

Les réseaux de Petri possèdent un certain nombre de propriétés (accessibilité, état d'accueil, la bornitude et la vivacité), dépendent du marquage initial du système et sont liées à l'évolution du réseau. Elles permettent d'apporter des réponses aux questions, concernant l'accessibilité d'un marquage particulier, la bornitude, la vivacité.

#### III.5.A) L'accessibilité

Le franchissement d'une transition validée dans un réseau de Petri apportera une modification au marquage initial. Un marquage M est dit accessible à partir de marquage initial M0, s'il existe une séquence de franchissement  $\gamma = T_1 T_2 \dots T_n$  qui transforme M0 en M.

### III.5.B) Etat d'accueil et réseau de Petri réinitialisable

Un réseau de Petri possède un état d'accueil  $M_a$  pour un marquage initial  $M_0$  si pour tout marquage accessible  $M \in R(M_0)$ , il existe une séquence de franchissement  $\gamma$  tel que :

$$M \xrightarrow{\gamma} M_a$$

Si le marquage initial  $M_0$  est un état d'accueil, alors le réseau de Petri est réinitialisable.

### III.5.C) Réseau de Petri borné (Bornitude)

Un réseau de Petri est borné pour un marquage initial  $M_0$  si toutes ses places sont bornées pour  $R(M_0)$  (le réseau de Petri est  $k$ -borné si toutes les transitions sont  $k$ -bornées).

Une place est dit bornée pour un marquage initial  $M_0$  s'il existe un entier naturel  $K$  tel que, pour tout marquage accessible à partir de  $M_0$ , le nombre de marques de cette place est inférieur ou égal à  $k$ .

Un réseau de Petri est dit **sauf** s'il est 1-borné.

### III.5.D) Conflits

Un conflit **structurel** est défini comme l'existence d'une place qui a au moins deux transitions en sortie. Un conflit **effectif** est l'existence d'un conflit structurel et d'un marquage tels que le nombre de marques dans la place est strictement inférieur au nombre des transitions en sortie de cette place validées par le marquage.

Lorsqu'un conflit effectif se produit, il est nécessaire de choisir la transition qui va être effectivement franchie.

### III.5.E) Vivacité

Un réseau de petri est dit vivant si et seulement si, pour tout marquage accessible  $M \in R(M_0)$ , il est possible de franchir toute transition de réseau en progressant à travers une séquence de franchissement.

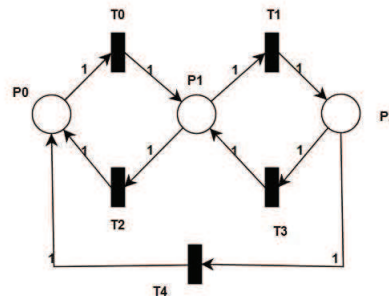
La vivacité d'un réseau garantit le franchissement de toute transition quel que soit le marquage atteint.

Un réseau de Petri vivant est un réseau de Petri sans blocage. Un blocage est un marquage tel qu'aucune transition n'est validée.

### III.6) Réseaux de Petri particuliers [5]

#### III.6.A) Graphe d'état

Un réseau de Petri est un graphe d'état si et seulement si toute transition a exactement une seule place d'entrée et une seule place de sortie. Comme illustrés dans la figure ci-dessus



Figure(III.3) graphe d'état

#### III.6.B) Graphe d'événements

Un Réseau de Petri est un graphe d'événement si et seulement si chaque place possède exactement une seule transition d'entrée et une seule transition de sortie.

#### III.6.C) Réseau de Petri sans conflits

Un réseau de Petri sans conflit est un réseau dans lequel chaque place a au plus une transition de sortie.

Un réseau de Petri avec conflit est un réseau qui possède donc une place avec au moins deux transitions de sorties.

Un conflit est noté:  $[P_i, \{T_1, T_2, \dots, T_n\}]$  ; avec  $T_1, T_2, \dots, T_n$  étant les transitions de sorties de la place  $P_i$ .

#### III.6.D) Réseau de Petri à choix libre

Un réseau de Petri à choix libre est un réseau dans lequel pour tout conflit  $[P_i, \{T_1, T_2, \dots, T_n\}]$  aucune des transitions  $T_1, T_2, \dots, T_n$  ne possède aucune autre place d'entrée que  $P_i$ .

#### III.6.E) Réseau de Petri simple

Un réseau de Petri simple est un réseau de petri dans lequel chaque transition ne peut être concernée que par un conflit au plus.

#### III.6.F) Réseau de petri pur

Un réseau de Petri pur est un réseau dans lequel il n'existe pas de transition ayant une place d'entrée qui soit à la fois place de sortie de cette transition.

### III.6.G) Les réseaux de Petri temporisés

Il s'agit de prendre en considération des contraintes temps dans la modélisation.

L'introduction des temporisations dans un réseau de Petri (les réseaux de Petri temporisés) permettent une étude quantitative du modèle (évaluation des performances, dimensionnement).

Dans un réseau de Petri temporisé, les temporisations sont associées :

- Soit aux places (un temps qui correspond à la durée minimale de séjour d'un jeton dans une place) modèle **P-temporisé**.
- Soit aux transitions (un temps qui correspond à la durée de franchissement de cette transition) modèle **T-temporisé**.

#### III.6.G.a) Les réseaux de Petri P-temporisés

##### Définition

Un réseau de Petri P-temporisé est un doublé  $(R, \text{Tempo})$  tel que :

- R est un réseau de Petri marqué.
- Tempo :  $P \rightarrow N$  est la fonction de temporisation.

Tempo ( $P_i$ ) =  $d_i$ , est la temporisation de la place  $P_i$ .

#### III.6.G.b) Les réseaux de Petri T-temporisés

##### Définition

Un réseau de Petri T-temporisé est doublet  $(R, \text{Tempo})$  tel que :

- R est un réseau de Petri marqué.
- Tempo :  $T \rightarrow N$  est la fonction de temporisation.

Tempo ( $T_j$ ) =  $d_j$ , est la temporisation de la transition  $T_j$ .

### III.7) Les propriétés des réseaux de Petri temporisés

Les propriétés des réseaux de Petri temporisés qui peuvent être étudiées sont les mêmes que les réseaux de Petri et elles ont les même définitions.

- Les propriétés dynamiques des réseaux de Petri ne se conservent pas tout le temps lorsque l'on introduit une temporisation.
- Un réseau de Petri temporisé peut être vivant alors que son réseau sous-jacent ne l'est pas.
- Un réseau de Petri temporisé est nécessairement borné si le réseau sous-jacent est borné.

En ce qui concerne les propriétés structurelles les temporisations associées aux réseaux de Petri temporisés imposent des contraintes supplémentaires sur le fonctionnement des réseaux sous-jacent.

- L'ensemble des marquages accessibles d'un réseau de Petri temporisé est un sous ensemble des marquages des réseaux de Petri sous-jacent, et on trouve par conséquence :

Les T-invariants (respectivement P-invariants) des réseaux de Petri temporisé sont aussi les T-invariants (respectivement P-invariants) des réseaux de Petri sous-jacent

### **III.8) Eléments de modélisation**

#### **III.8.A) Parallélisme**

Le parallélisme représente la possibilité que plusieurs processus évoluent simultanément au sein du même système.

#### **III.8.B) Synchronisation**

La synchronisation ou rendez-vous permet de synchroniser les opérations de deux processus.

#### **III.8.C) Partage de ressources**

Cette structure va modéliser le fait qu'au sein du même système plusieurs processus partagent une même ressource.

Le franchissement d'une transition qui a une place en entrée (ressource partagée) et plusieurs places en sorties validera une seule place et exclura les autres automatiquement.

### **III.9) Modélisation fonctionnelle du poste de redressement numéro 11**

#### **III.9.A) Stratégie suivit lors de la modélisation du poste de redressement numéro 11**

Etant donné que le Poste de redressement (PR11) est un système complexe constitué par une grande variété de composants, son réseau de petri reste difficile à établir en un seul et grand modèle, c'est pour cela qu'il est nécessaire de procéder à une subdivision en sous-modèles, c'est sous-modèle communique et ce transmettent des information pour former un grand modèle capable de simulé le fonctionnement réelle de tous le poste numéro 11.

Dans la modélisation du poste de redressement numéro11 de l'extension B du métro d'Alger on a créé sept sous-modèles à base de réseaux de petri qui sont les suivant :

- modèle du poste de redressement.
- modèle du Transformateur.
- modèle du Redresseur
- modèle des Cellules de feeder.
- modèle des Sectionneurs.
- modèle de traitement de défaillance du poste de redressement (transformateur et redresseur).
- modèle de traitement de défaillance des cellules de feeder (CF).

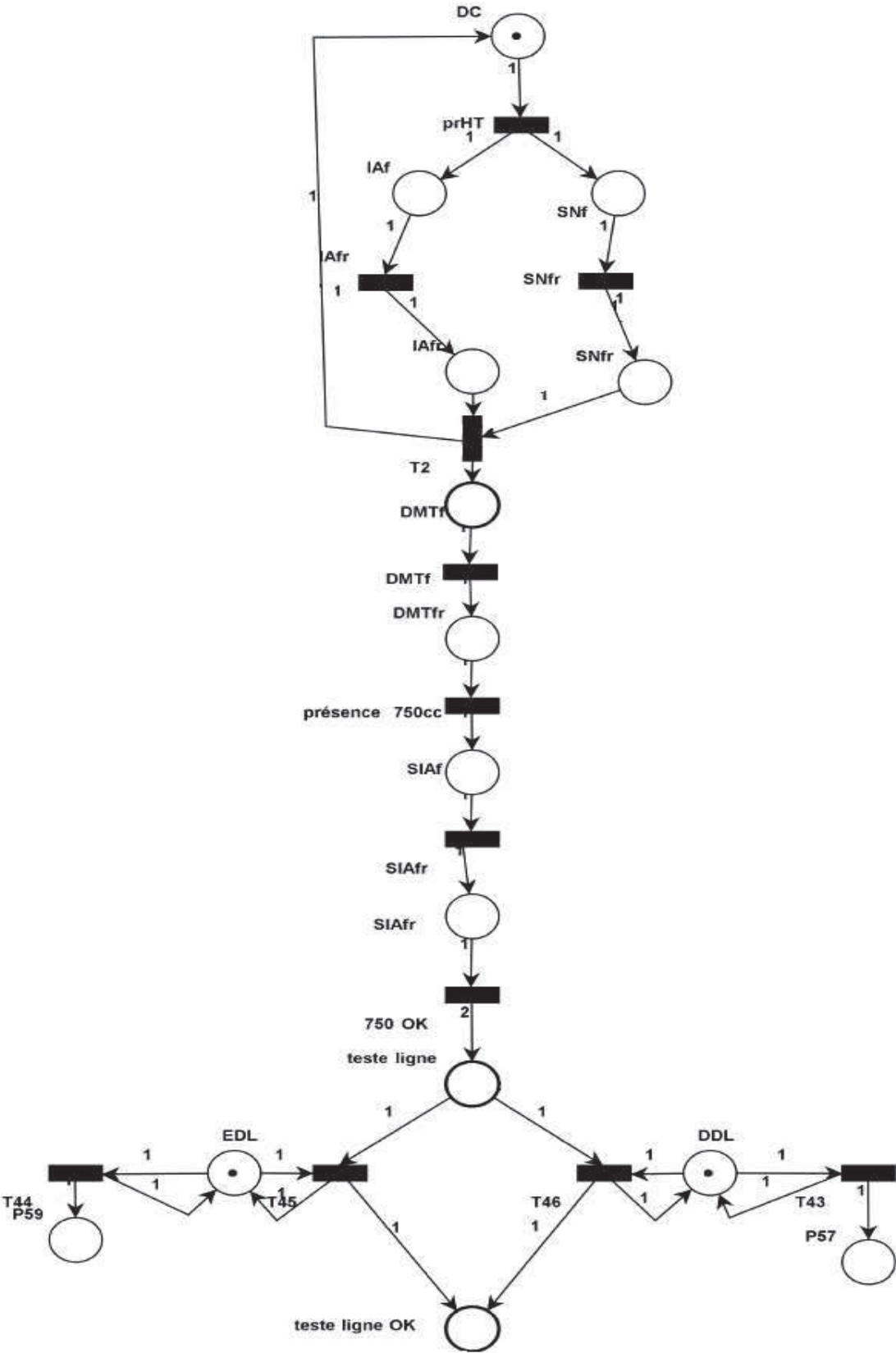
Il est a noté que le sous-modèle poste de redressement contrôle tous les autre modèle en leur envoyant des marques ou en exigent des marques, ainsi ce modèle serra la pièce maitresse du grand modèle que formera tous les sous-modèle.

Les sous-modèles solution de défaillance du poste de redressement et solution de défaillance des cellules de feeder prévoient comme leur nom l'indique des solutions en cas de défaut majeur dans notre poste de redressement, ces deux modèles enclenche la procédure d'exploitation en mode dégradé ils assurent le bon fonctionnement même en cas de défaillance.

### **III.9.B) Réseaux de petri du poste de redressement numéro 11 (RdP du PR11)**

#### **III.9.B.a) Modèle du poste de redressement**

Ce modèle est la colonne vertébrale du grand modèle final du poste de redressement, c'est un sous modèle qui communique avec tous les autre sous-modèles, il envoi des directives aux autre réseaux de Petri qui lui réponde en lui revoyant des informations relative au bon fonctionnement des systèmes qu'ils simulent. La figure nous montre le sous-modèle telle que nous l'avons créé avec les réseaux de petri, dans cette figure on a représenté que les entré et sortie directement commandé par ce sous-modèle. La représentation des interactions avec les autres modèle ce ferra par la suite lors de l'assemblage de tous les modèles.



Figure(III.4) Sous-modèle du poste de redressement à base de réseau de petri

## Nomenclature des places et transitions

### Les places :

Place	Action associé
Dc	Bouton de démarrage
IAf	Ordre de fermeture de l'interrupteur d'arrivé du courant
IAfr	L'interrupteur d'arrivé de courant et réellement fermé
SNf	Ordre de fermeture de sectionneur de terre
SNfr	Le sectionneur de terre et réellement fermé
DMTf	Ordre de fermeture du disjoncteur moyenne tension
DMTfr	Le disjoncteur moyenne tension et réellement fermé
SIAf	Ordre de fermeture du sectionneur d'isolement automatique
SIAfr	Le sectionneur d'isolement automatique et réellement fermé
Teste ligne	Ordre de teste la ligne
EDL	acquisition continue du détecteur edl
DDL	acquisition continue du détecteur ddl
P57	Alarme ddl
P59	Alarme edl
Teste ligne OK	Le teste de la ligne n'a donné aucune défaillance

### Les transitions

Transition	Action associé
PrHT	Présence du courant haut tension
IAfr	L'interrupteur d'arrivé est fermé
SNfr	Le sectionneur de terre est fermé
T2	Envois et reçois des informations au sous-modèle de réseaux de petri
DMTf	Le Disjoncteur moyenne tension est fermé
SIAf	Le sectionneur d'isolement automatique et fermé
présence 750cc	Présence de 750 courants continue
750 OK	Le pr est ok et envois du 750
T43	Défaillance DDL
T44	Défaillance EDL
T45	EDL pas de défaillance
T46	DDL pas de défaillance

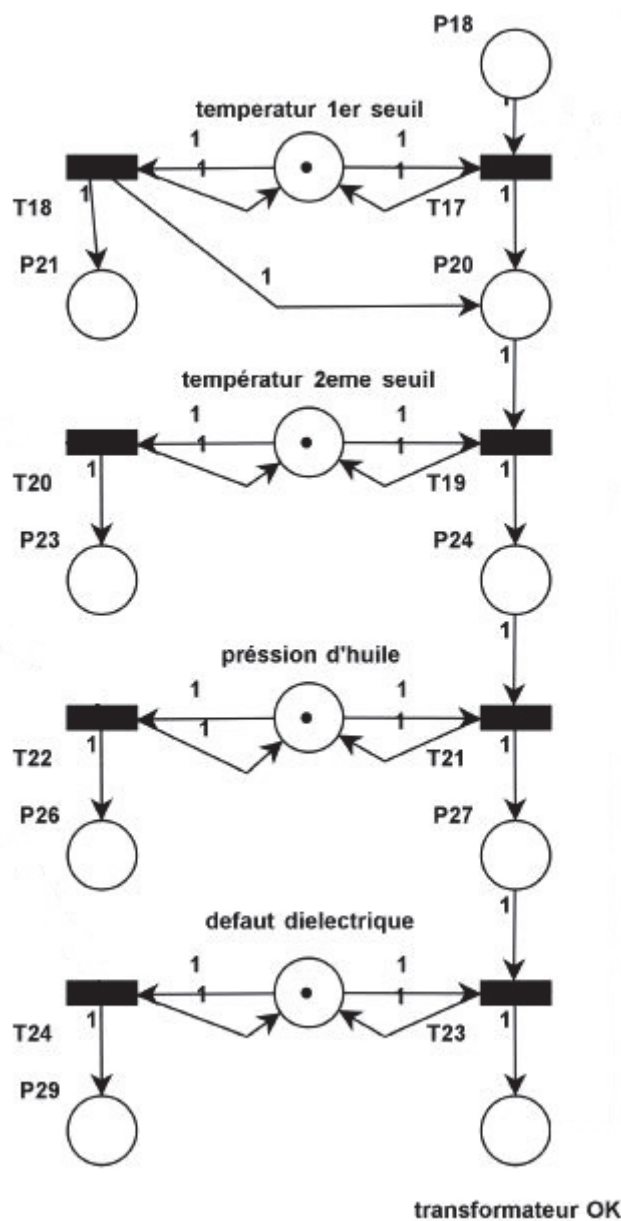
### III.9.B.b) Modèle du transformateur

Le transformateur contient 03 capteurs (température, pression d'huile et défaut diélectrique).

La modélisation du transformateur impose des boucles d'acquisition continue de ces 03 capteurs pour un fonctionnement optimale de ce transformateur.

La figure si dessous montre le modèle du transformateur telle qu'on l'a créé avec le réseau de petri et sa simulation à l'aide du logiciel PIPE.

Il est a noté que la P18 possède un marquage qui lui vient du sous-modèle poste de redressement.



Figure(III.5) Réseau de petri du transformateur

## Nomenclature des places et transitions du transformateur

### Les places

Places	Action associé
P18	Elle permet au modèle de commencé sa simulation et son marquage lui vient du sous-modèle poste de redressement
Température 1 <sup>er</sup> seuil	Son marquage est à l'état 1, car cette place alimente la bouque d'acquisition continue qui simule le détecteur du 1 <sup>er</sup> seuil de température
P20	Fin de vérification de la température
P21	Alarme température 1 <sup>er</sup> seuil atteinte
Température 2 <sup>ème</sup> seuil	Elle est à l'état 1, car cette place alimente la bouque d'acquisition continue du détecteur du 2 <sup>ème</sup> seuil de température
P23	Alarme température 2 <sup>ème</sup> seuil atteinte
P24	Fin de vérification de la température
Pression d'huile	l'état 1 de cette place alimente la bouque d'acquisition continue du détecteur de pression
P26	Alarme pression d'huile
P27	Fin de vérification de la pression d'huile
Défaut diélectrique	Son marquage est à l'état 1, car cette place alimente la bouque d'acquisition continue qui simule le détecteur
P29	Alarme défaut diélectrique détecté
Transformateur OK	Fin de vérification du transformateur

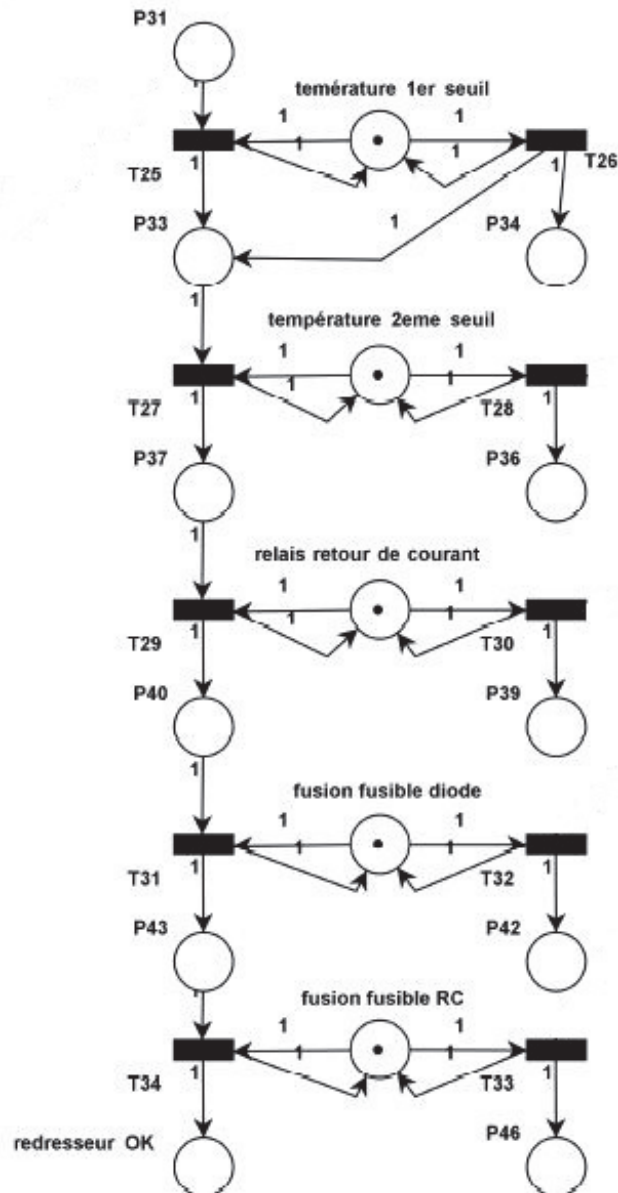
### Les transitions

Transitions	Action associé
T17	Transition de passage au prochain teste sans détection de défauts
T18	1 <sup>er</sup> seuil de température détecté
T19	Transition de passage au prochain teste sans détection de défauts
T20	2 <sup>ème</sup> seuil de température détecté
T21	Transition de passage au prochain teste sans détection de défauts
T22	Pression d'huile détecté dans le transformateur
T23	Transition de passage au prochain teste sans détection de défauts
T24	Défaut diélectrique détecté dans le transformateur

### III.9.B.c) Modèle du redresseur

Ce réseau de petri représente le sous-modèle redresseur qui simule le fonctionnement et les défauts qui peuvent subvenir dans ces composants.

La particularité de ce modèle est qu'il marche en continue.



Figure(III.6) Réseau de petri du redresseur

## Nomenclature des places et transitions

### Les places

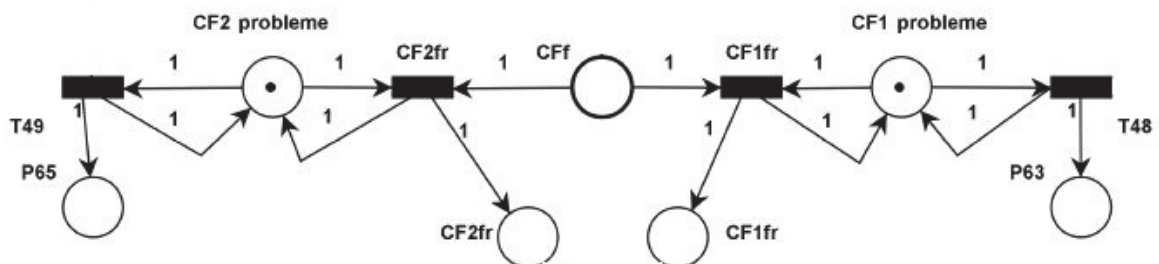
place	Action associé
P 31	Elle permet au modèle de commencé sa simulation et son marquage lui vient du sous-modèle poste de redressement
Température 1 <sup>er</sup> seuil	Elle est à l'état 1, car cette place alimente la bouque d'acquisition continue du détecteur du 1 <sup>er</sup> seuil de température
P33	Fin de vérification de la température
P34	Alarme température 1 <sup>er</sup> seuil atteinte
Température 2eme seuil	Son marquage est à l'état 1, car cette place alimente la bouque d'acquisition continue qui simule le détecteur du 2eme seuil de température
P36	Alarme température 2eme seuil atteinte
P37	Fin de vérification de la température
Relais retour de courant	Il est a noté que l'état 1 de cette place alimente la bouque d'acquisition continue du détecteur
P39	Alarme relais retour de courant
P40	Fin de vérification sur le relais retour de courant
Fusion fusible diode	Place qui permet l'acquisition continue du détecteur fusion des fusibles de diode
P42	Alarme fusion du fusible de diode
P43	Fin de vérification du fusible des diodes
Fusion fusible RC	la bouque d'acquisition continue du détecteur exige un état initial à 1 pour fonctionner
P46	Alarme fusion du fusible RC
Redresseur OK	Fin de vérification du redresseur

### Les transitions

Les transitions	Action associé
T25	Transition de passage au prochain teste sans détection de défauts
T26	1 <sup>er</sup> seuil de température atteinte
T27	Transition de passage au prochain teste sans détection de défauts
T28	2eme seuil de température atteinte
T29	Transition de passage au prochain teste sans détection de défauts
T30	Détection de défaillance dans le relais retour de courant
T31	Transition de passage au prochain teste sans détection de défauts
T32	Fusion du fusible de diode
T33	Fusion de fusible RC
T34	Transition de passage au prochain teste sans détection de défauts

### III.9.B.d) Modèle des cellules de feeder

La figure montre le modèle en réseaux de petri des cellules de feeder du poste de redressement numéro11 du métro d'Alger. Il faut souligner que la place CFf est vide et que son état est déterminé par le sous-modèle poste de redressement.



Figure(III.7) réseau de petri des cellules de feeder

## Nomenclature des places et transitions du modèle des cellules de feeder

### Les places

places	Action associé
CFf	Ordre de fermeture des cellules de feeder, sont marquage lui vient du sous-modèle poste de redressement
CF1 problème	Place qui alimente la boucle d'acquisition continue du détecteur de problème sur la cellule de feeder numéro 1
CF2 problème	Place qui alimente la boucle d'acquisition continue du détecteur de problème sur la cellule de feeder numéro 2
CF1fr	La cellule de feeder numéro 1 et réellement fermé
CF2fr	La cellule de feeder numéro 2 et réellement fermé
P63	Alarme défaillance de la cellule de feeder numéro 1
P65	Alarme défaillance de la cellule de feeder numéro 2

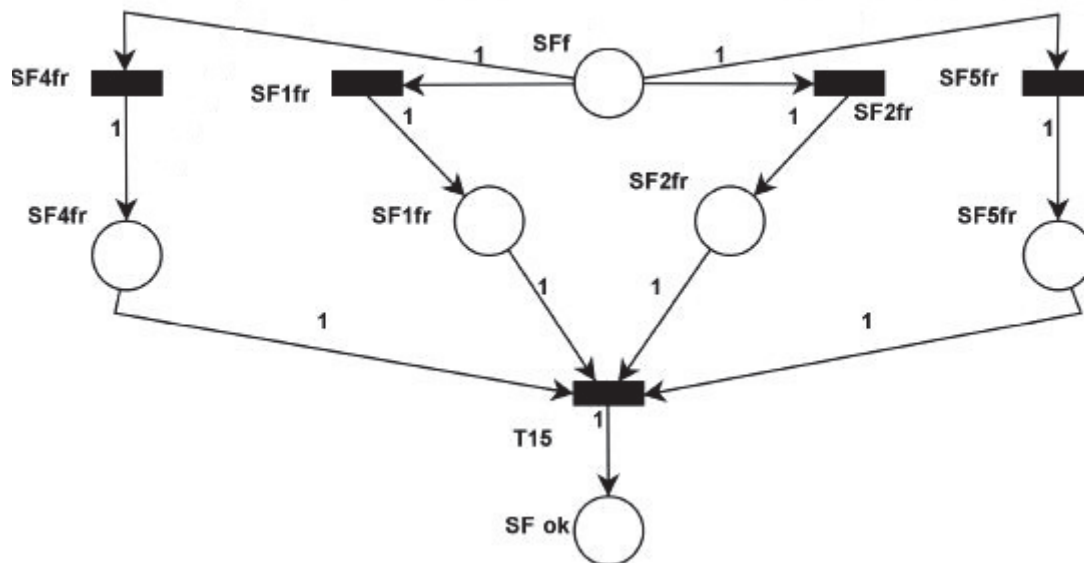
### Les transitions

transition	Action associé
CF1fr	Détecteur de fermeture de la cellule de feeder numéro 1
CF2fr	Détecteur de fermeture de la cellule de feeder numéro 2
T48	Alarme défaillance cellule de feeder numéro 1
T49	Alarme défaillance cellule de feeder numéro 2

### III.9.B.e) Modèle des sectionneurs de feeder

Ce modèle et le dernier des sous-modèles, il commande la fermeture des interrupteurs sectionneurs.

Dans ce modèle la place SFf reçoit le marquage du sous-modèle cellules de feeder qui se situe avant lui.



Figure(III.8) Réseau de petri des sectionneurs de feeder

### Nomenclature de places et transitions

#### Les places

places	Action associé
SFf	Ordre de fermeture des sectionneurs
SF1fr	Le sectionneur numéro1 et réellement fermé
SF2fr	Le sectionneur numéro2 et réellement fermé
SF4fr	Le sectionneur numéro4 et réellement fermé
SF5fr	Le sectionneur numéro5 et réellement fermé
SF ok	Tous les sectionneurs fonctionnent



## Nomenclature des places et transitions

### Les places

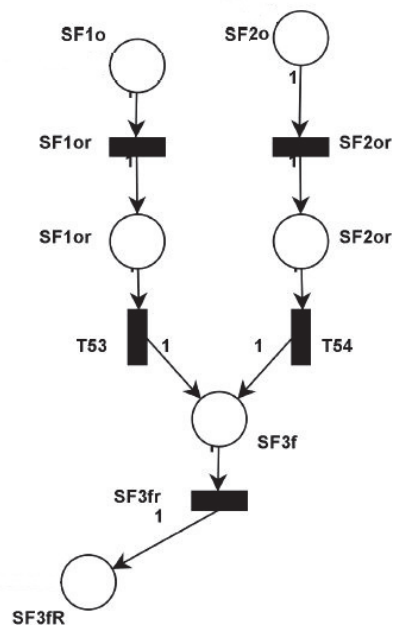
place	Action associé
DMTo	Ordre d'ouverture du disjoncteur moyenne tension
DMTor	Le disjoncteur moyenne tension et réellement ouvre
CFo	Ordre d'ouverture des cellules de feeder
CF1or	La cellule de feeder numéro1 et réellement ouverte
CF2or	La cellule de feeder numéro2 et réellement ouverte
SIAo	Ordre d'ouverture du sectionneur d'isolement automatique
SIAor	Le sectionneur d'isolement automatique et réellement fermé

### Les transitions

transition	Action associé
DMTor	Détection de fermeture du disjoncteur moyenne tension
CF1or	Détection de fermeture de la cellule de feeder numéro1
CF2or	Détection de fermeture de la cellule de feeder numéro2
T36	Transition de passage
T39	Transition de passage
SIAfr	Détection de fermeture du sectionneur d'isolement automatique

### III.9.B.g) Modèle de traitement de défaillance des cellules de feeder

Lorsqu'une défaillance survient sur une des cellules de feeder ce modèle permet au système d'isoler la panne, il possède la capacité de régler la défaillance en acheminant de l'électricité d'une autre section du tronçon au niveau des postes de redressement voisin.



Figure(III.10) réseau de petri en cas de défaillance des cellules de feeder.

## Nomenclature des places et transitions

### Les places

Les places	Action associé
SF1o	Ordre d'ouverture du sectionneur numéro1
SF2o	Ordre d'ouverture du sectionneur numéro2
SF1or	Fermeture réelle du sectionneur numéro1
SF2or	Fermeture réelle du sectionneur numéro2
SF3f	Ordre de fermeture du sectionneur numéro3
SF3fr	Fermeture réelle du sectionneur numéro3

### Les transitions

Transition	Action associé
SF1or	Détection d'ouverture du sectionneur numéro1
SF2or	Détection d'ouverture du sectionneur numéro2
T53	Transition de passage
T54	Transition de passage
SF3fr	Détection de fermeture du sectionneur numéro 3

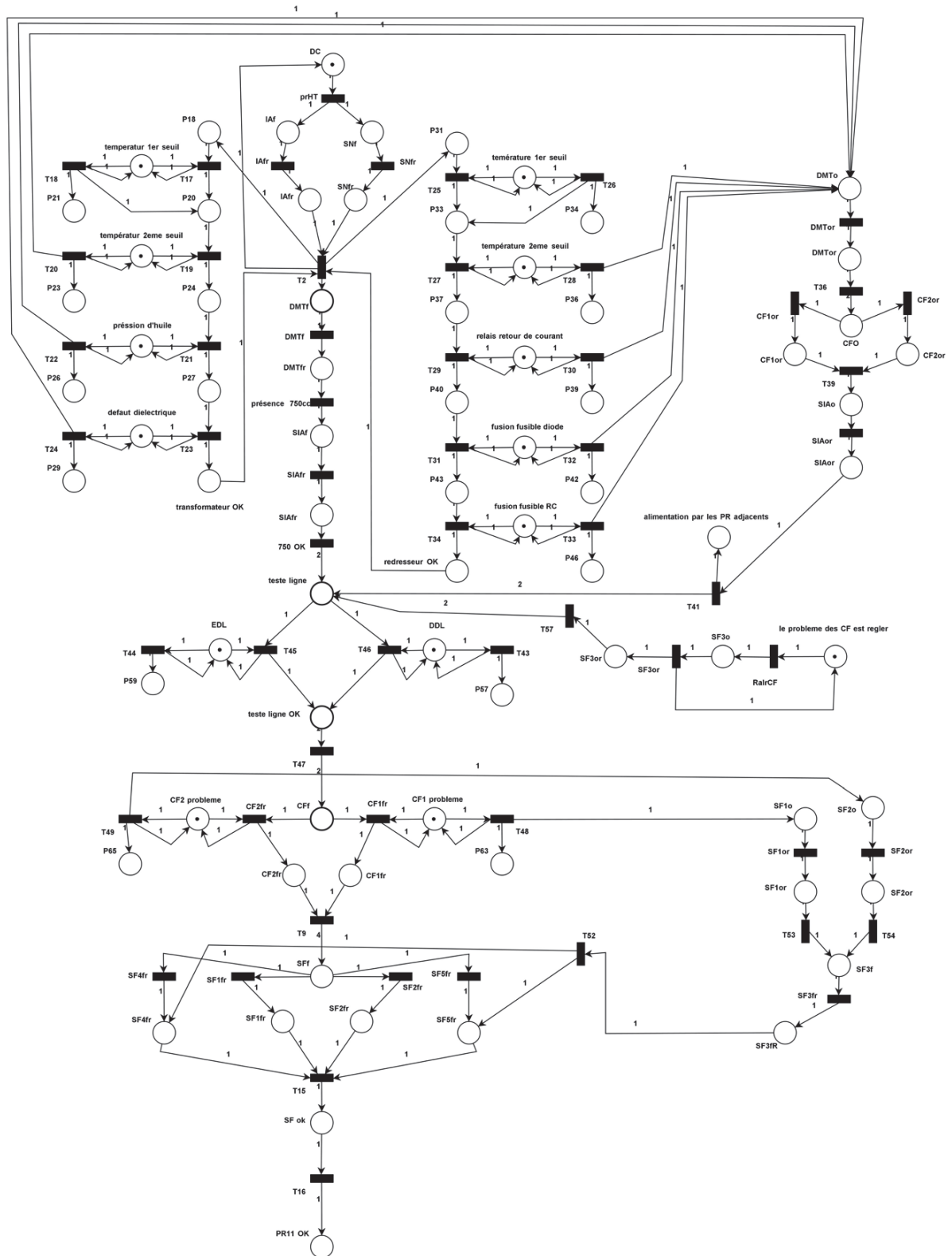


Figure (III.11) : Schéma du modèle général

### III.9.C.) Modèle du poste de redressement numéro 11 de l'extension B

La figure (III.11) si jointe nous illustre le modèle complet du poste de redressement numéro 11 de l'extension B de la ligne 1 du métro d'Alger, ce réseau de petri comporte tous les sous-modèles développés, ces modèles sont liés entre eux à l'aide d'arcs pour s'échanger des informations.

Les réseaux sont placés par leur ordre d'exécution et leur importance dans le fonctionnement du poste de redressement ainsi notre sous-modèle poste de redressement est au milieu du modèle il joue le rôle du coordinateur, il gère tous les autres sous-modèles.

Les modèles du transformateur et du redresseur se retrouvent tout en haut vu qu'ils se mettent en marche dès le démarrage du système, alors que le modèle des sectionneurs qui sont les derniers à être simulés sont placés tout en bas.

Les réseaux de petri qui assurent le traitement des défaillances sont placés à la périphérie des autres car leur intervention dans le système n'est que momentanée car en revient au fonctionnement normal lors de la résolution des problèmes de défaillance.

### Conclusion

La modélisation par les réseaux de petri nous a permis de concevoir un modèle qui respecte fidèlement le mode de fonctionnement de notre poste de redressement et prenant en charge les principaux cas de défaillance. Vu la complexité de notre système, la simplification qu'offre les réseaux de petri par leur fiabilité et leur grande capacité de représentation met en évidence les structures fonctionnelles indispensables pour le bon fonctionnement de notre système.

Les modèles de réseaux de petri développés, simulés ont été validés avec le logiciel Platform Independent Petri net Editor version 4.3.0 (PIPE V4.3)

Le modèle créé sera traduit sous forme d'une solution programmable et implantable sur automate programmable industriel (API) de type Siemens S7-300.

Dans la suite nous allons programmer notre modèle proposé grâce à l'outil S7-HiGraph, permettant de programmer et d'implémenter des modèles qui se basent sur les réseaux de petri (RdP).

# Chapitre IV

## Introduction

L'industrie d'aujourd'hui est très avancée et cela grâce à l'automatisme, les premières méthodes apparues dans l'automatisme étaient trop compliquées et très limitées au même temps ; c'est après le développement de la logique programmée des automates programmable industriels (API) que l'industrie a fait un saut énorme.

Les automates programmables industriels sont apparus pour la première fois en Amérique, ils étaient destinés à l'industrie automobile, mais dans peu de temps on les trouve dans tout sort d'industrie, et encore des domaines plus vastes comme les systèmes de sécurité et les transports ferroviaires.

### IV.1) Automates programmables industriels (API)

#### IV.1.A) Définition d'un automate programmable industriel (API)

Un **automate programmable industriel**, ou **API (en anglais Programmable Logic Controller, PLC)** est un dispositif électronique programmable (un type particulier d'ordinateur, robuste et réactif) destiné à la commande de processus industriels par un traitement séquentiel. Il envoie des ordres vers les pré-actionneurs (partie opérative ou PO côté actionneur) à partir de données d'entrées (capteurs) (partie commande ou PC côté capteur), de consignes et d'un programme informatique.

#### IV.1.B) Choix d'automate programmable

Après avoir établi notre cahier des charges, nous avons déterminé le nombre d'entrées et sorties en comptabilisant le nombre d'actionneurs et de capteurs nécessaires au bon fonctionnement de notre poste de redressement N°11 (PR11), ainsi que le l'outil de programmation utilisé pour implémenter notre modèle à base de réseau de pétri, le choix de l'automate SIMATIC nous a été imposé par l'entreprise du métro d'Alger (EMA) afin de simplifier l'intégration de notre système actuel, à cette effet nous avons opter pour le S7-300 avec la CPU « 315-2 PN/DP ».

### IV.1.C) Automate programmable S7-300

L'automate programmable S7-300 de Siemens, fabriqué par la gamme SIMATIC, est de type modulaire. Il offre des performances élevées pour les installations et les machines automatisées, ne nécessitant qu'un entretien minimal, disposant de nombreuses fonctions intégrées et permet un vaste choix de modules.

La figure IV.1 représente une vue d'ensemble d'un API S7-300 avec modules intégrés.



Fig (IV.1) Structure d'un API S7-300

## IV.2) Programmation avec SIMATIC Step7

### IV.2.A) Définition

Le SIMATIC Step7 est un logiciel de programmation d'automates programmables industriels (API) de marque Siemens, il est doté d'outils de programmation pour répondre aux besoins d'un cahier des charges prédéfini, et aussi pour une programmation adaptée à la complexité et au fonctionnement de chaque système. Il existe plusieurs versions dans notre cas on a utilisé la version 5.5 ; avec une configuration matérielle adéquate.

### IV.2.B) Configuration matérielle

Avant de passer à la programmation de la solution une configuration matérielle s'impose. C'est dans cette étape qu'on définit le type de la CPU utilisé ainsi que les modules entrée-sortie qui sont imposés par le cahier des charges.

La figure (IV.2) représente la fenêtre de la configuration matérielle adéquate à l'exécution de notre solution.

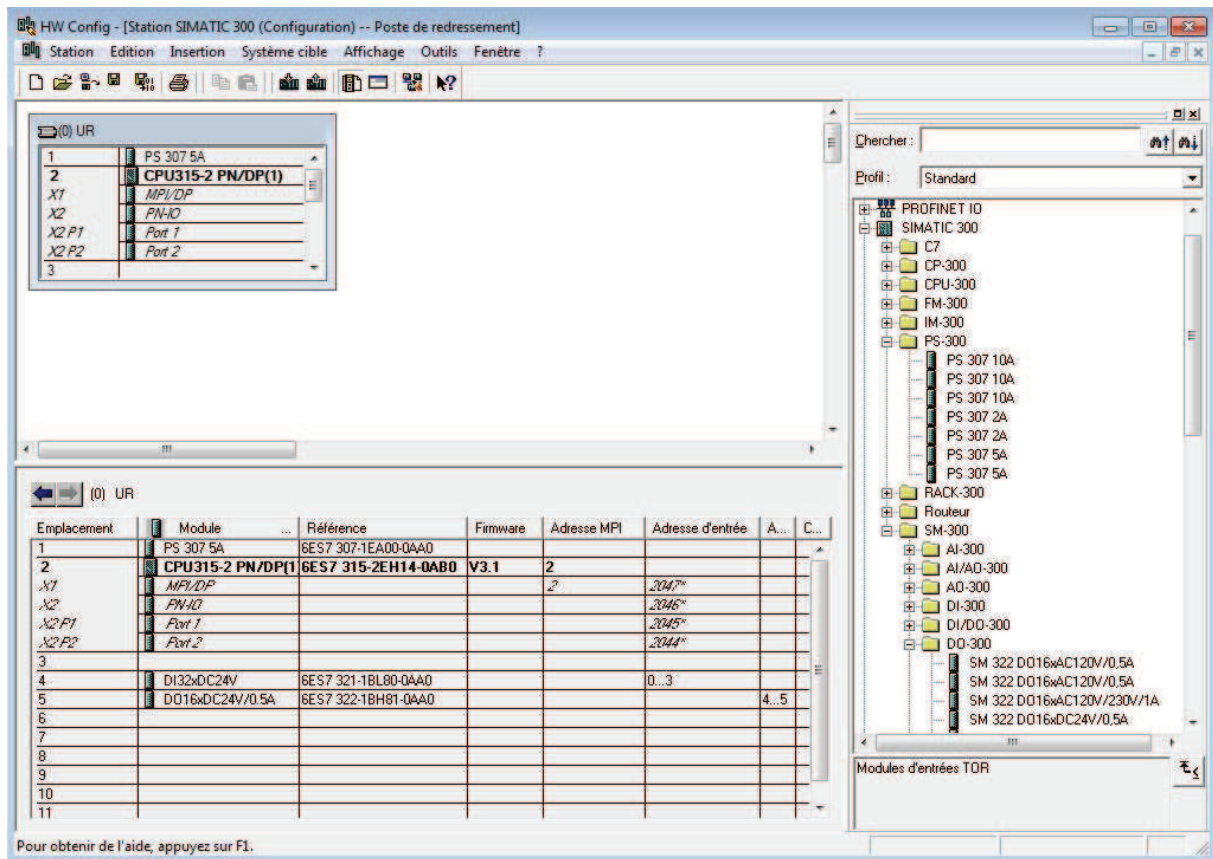
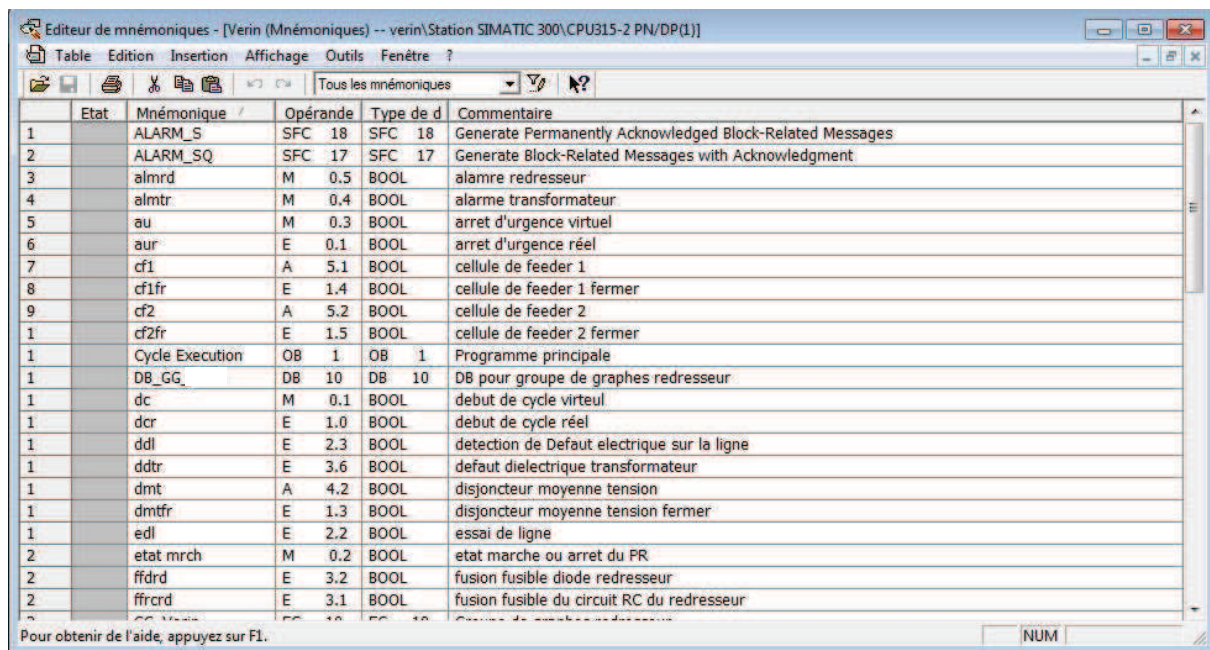


Figure (IV.2) : Configuration matérielle.

### IV.2.C) Programmation symbolique (table des mnémoniques)

Cette étape consiste à nommer les entrées et les sorties et leurs attribuer des nomenclatures, à fin de simplifier la programmation et sa lecture, ce type de programmation est appelé programmation symbolique. La figure(IV.3) qui suit représente notre table des mnémoniques



Editeur de mnémoniques - [Verin (Mnémoniques) -- verin\Station SIMATIC 300\CPU315-2 PN/DP(1)]

Table Edition Insertion Affichage Outils Fenêtre ?

Tous les mnémoniques

	Etat	Mnémonique	Opérande	Type de d	Commentaire
1		ALARM_S	SFC 18	SFC 18	Generate Permanently Acknowledged Block-Related Messages
2		ALARM_SQ	SFC 17	SFC 17	Generate Block-Related Messages with Acknowledgment
3		almrd	M 0.5	BOOL	alarme redresseur
4		almtr	M 0.4	BOOL	alarme transformateur
5		aur	M 0.3	BOOL	arrêt d'urgence virtuel
6		aur	E 0.1	BOOL	arrêt d'urgence réel
7		cf1	A 5.1	BOOL	cellule de feeder 1
8		cf1fr	E 1.4	BOOL	cellule de feeder 1 fermer
9		cf2	A 5.2	BOOL	cellule de feeder 2
1		cf2fr	E 1.5	BOOL	cellule de feeder 2 fermer
1		Cycle Execution	OB 1	OB 1	Programme principale
1		DB_GG_	DB 10	DB 10	DB pour groupe de graphes redresseur
1		dc	M 0.1	BOOL	debut de cycle virtuel
1		dcr	E 1.0	BOOL	debut de cycle réel
1		ddl	E 2.3	BOOL	detection de Defaut électrique sur la ligne
1		ddtr	E 3.6	BOOL	defaut dielectrique transformateur
1		dmt	A 4.2	BOOL	disjoncteur moyenne tension
1		dmtfr	E 1.3	BOOL	disjoncteur moyenne tension fermer
1		edl	E 2.2	BOOL	essai de ligne
2		etat mrch	M 0.2	BOOL	etat marche ou arret du PR
2		ffdrd	E 3.2	BOOL	fusion fusible diode redresseur
2		ffcrd	E 3.1	BOOL	fusion fusible du circuit RC du redresseur

Pour obtenir de l'aide, appuyez sur F1.

Figure (IV.3) : Table des mnémoniques

## IV.3) L'outil de programmation S7 Hi-Graph [2] [3]

### IV.3.A) Présentation de l'outil S7-HiGraph

#### IV.3.A.a) Présentation de S7-HiGraph

L'outil de programmation S7-HiGraph s'ajoute aux nombreuses fonctions de STEP 7. Il permet de programmer graphiquement des graphes d'état.

Les graphes d'état servent à représenter clairement et rapidement des processus qu'on souhaite commander. Dans ce but, on décomposera le processus en unités fonctionnelles faciles à comprendre au moyen de graphes d'état. Cette façon de faire est particulièrement facile à concevoir, on représente la construction du programme par un graphique auquel on ajoute directement des textes au besoin, Cette représentation très adapté pour le programmeur, mais aussi pour le constructeur, l'ingénieur ou le personnel effectuant la mise en service.

#### IV.3.A.b) Structure d'un programme en graphes d'état et groupes de graphes

##### 1) Graphes d'état

Les graphes d'état sont des parties de programme utilisables à plusieurs reprises. On peut réutiliser ceux qu'on a créés pour une certaine unité fonctionnelle à d'autres endroits du programme demandant une unité fonctionnelle similaire.

Tous les graphes d'état programmer dans un programme S7 sont regroupés dans le dossier des "Sources". Ces sources peuvent être utilisé et dupliqué autant de fois que la solution l'exige.

L'appel d'un graphe d'état dans un groupe de graphes est qualifié d'instance, ils peuvent être modifiés de manière centrale. La modification d'une instance modifie toute les instances du programme.

## **2) Groupes de graphes (concept d'instance)**

Le groupe de graphes définit l'ordre dans lequel les graphes d'état sont appelés et exécutés de manière cyclique dans le programme.

Afin de pouvoir utiliser plusieurs fois des graphes d'état sans avoir à en modifier chaque fois les opérandes, il est recommandé de déclarer tous les signaux (entrées/sorties) utilisés dans un graphe en tant que paramètres formels. Pour chaque appel d'un graphe, on doit définir dans le groupe de graphes les paramètres effectifs de l'interface de graphe respective.

### **IV.3.A.c) Etapes de la programmation**

L'utilisation de l'outil S7-HiGraph comme outil d'implémentation passe par l'exécution d'un ensemble d'étapes qui sont présentés ci-contre

1. Création de graphes d'état
2. Déclaration des variables
3. Programmation des états
4. Programmation des transitions
5. Programmation d'opérations permanentes
6. Création d'un groupe de graphes
7. Insertion d'instances de graphes d'état
8. Etablissement de l'ordre d'exécution
9. Programmation de messages
10. Affectation de paramètres effectifs
11. Enregistrement et compilation

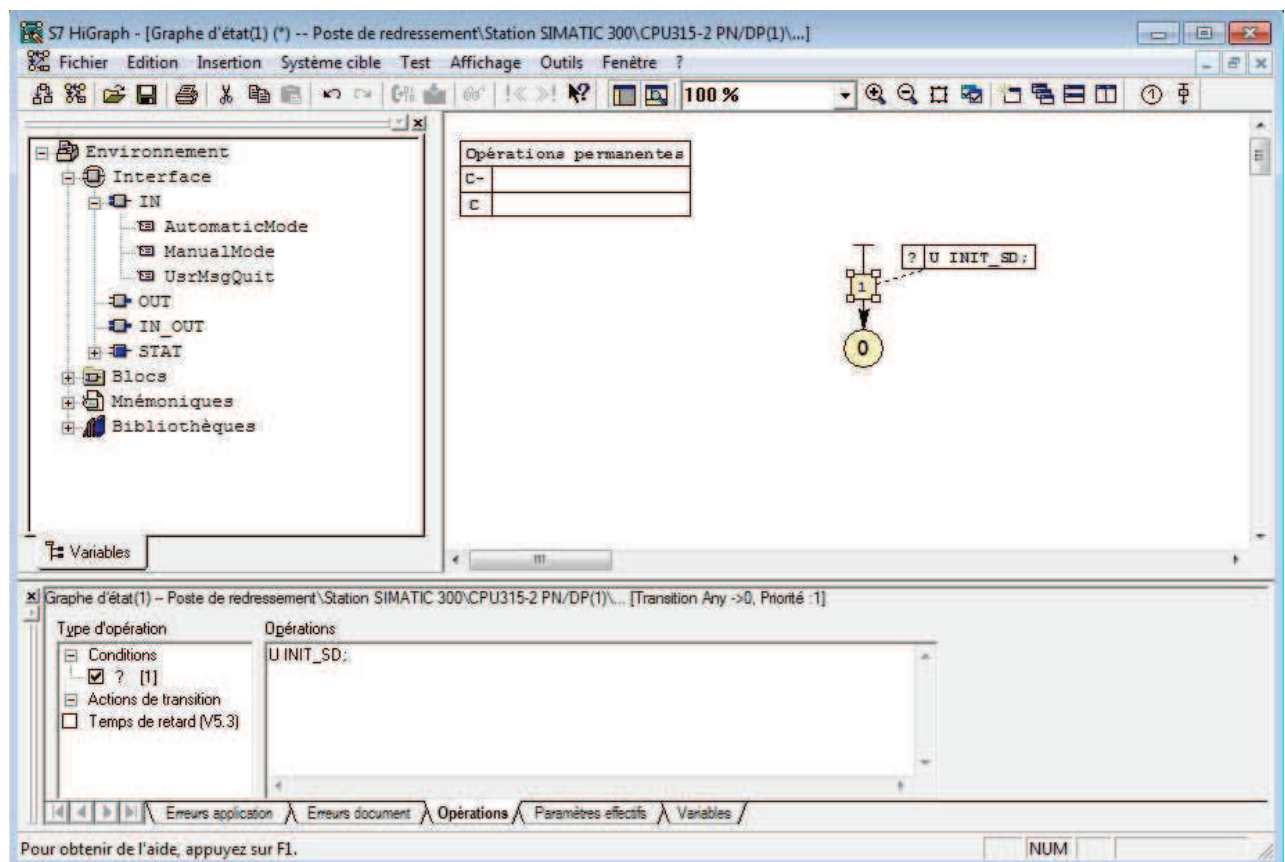
### **IV.3.A.d) Procédure de création des graphes d'état**

Pour créer un graphe d'état, l'utilisateur ce servira de l'interface utilisateur que l'outil S7-HiGraph met à la disposition de ces programmeur. Cela se fait avec des commandes simples grâce à des boites de dialogue.

La création de graphe d'état peut aussi se faire directement dans un projet SIMATIC Manager déjà existant, cette commande permet d'associer plusieurs types de programmation dans un même projet sans porter atteinte à leur bon fonctionnement.

#### IV.3.A.e) Interface utilisateur du S7-HiGraph

L'interface utilisateur de l'outil S7-HiGraph est constituée d'une fenêtre de variables, d'un espace de travail et d'une fenêtre d'outil de configuration système. La figure(IV.5) représente un aperçu d'une fenêtre de S7-HiGraph



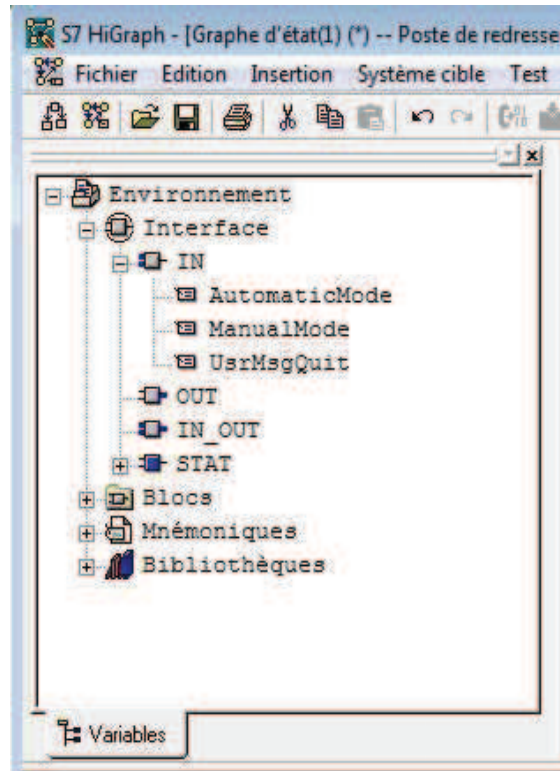
Figure(IV.4) fenêtre interface utilisateur de S7-HiGraph.

#### a) Fonction des fenêtres

L'interface S7-HiGraph offre une multitude de fenêtres qu'on peut afficher, réduire, déplacer, ou masquer au besoin pour une utilisation optimale, elles sont placées de façon très judicieuse pour permettre au programmeur d'avoir une vision globale. Elle se divise en trois principales fenêtres

## 1- Fenêtre de déclaration des variables

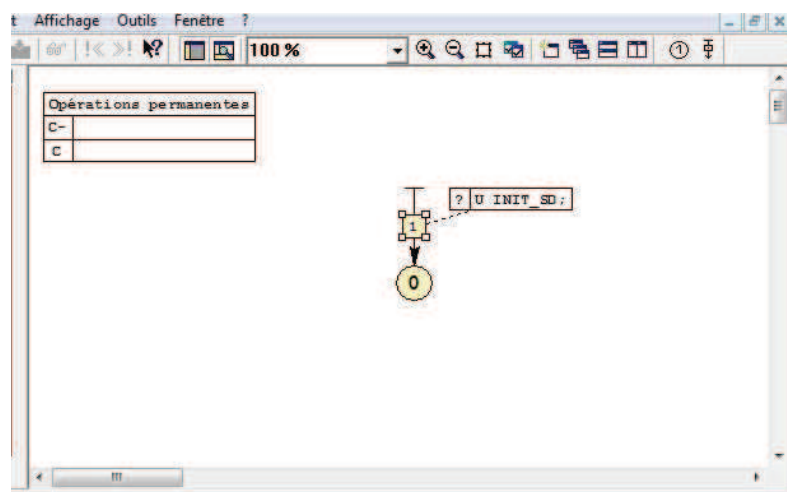
Dans cette fenêtre, on saisit la déclaration des variables du graphe d'état en cours d'édition.



Figure(IV.5) : Fenêtre de déclaration des variables

## 2- Fenêtre de travail

Dans la fenêtre de travail, on élabore les diagrammes des graphes d'état et des groupes de graphes.



Figure(IV.6) : Fenêtre de travail

### 3- Fenêtre détail

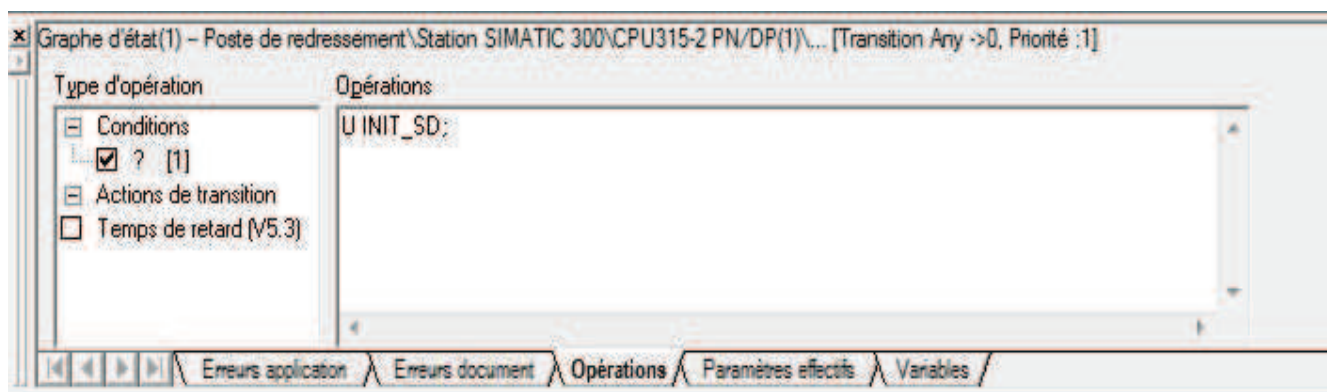
Cette fenêtre affiche les erreurs, les avertissements, les opérations et les paramètres effectifs. Elle est constituée de plusieurs onglet qui se subdivise en deux page.

-l'onglet "Opérations" utiliser pour programmer états, les transitions et opérations permanentes,

-l'onglet "Paramètres effectifs" permettant l'affectation des paramètres effectifs des instances.

· L'onglet "Erreurs document" montre les erreurs de syntaxe découvertes dans le graphe ou dans le groupe de graphe, il s'affiche automatiquement dès qu'une erreur ou une incohérence survient dans le programme.

· L'onglet "Erreurs application" contient les messages d'erreur et les avertissements émis lors de la compilation, il s'affiche après chaque opération de compilation. Ils concernent des erreurs survenues dans le groupe de graphes ainsi que dans les graphes d'état qui y sont instanciés.



Figure(IV.7) : Fenêtre détail

## IV.3.B) Programmation de la structure d'un graphe d'état

### IV.3.B.a) Eléments d'un graphe d'état

Le graphe d'état est constitué d'états, de transitions, aux quelles sont attribués des noms, des numéros et commentaires a fin de simplifié leur interprétation. La figure (IV.9) présente un exemple de structure de graphe d'état avec les différents états et transition.

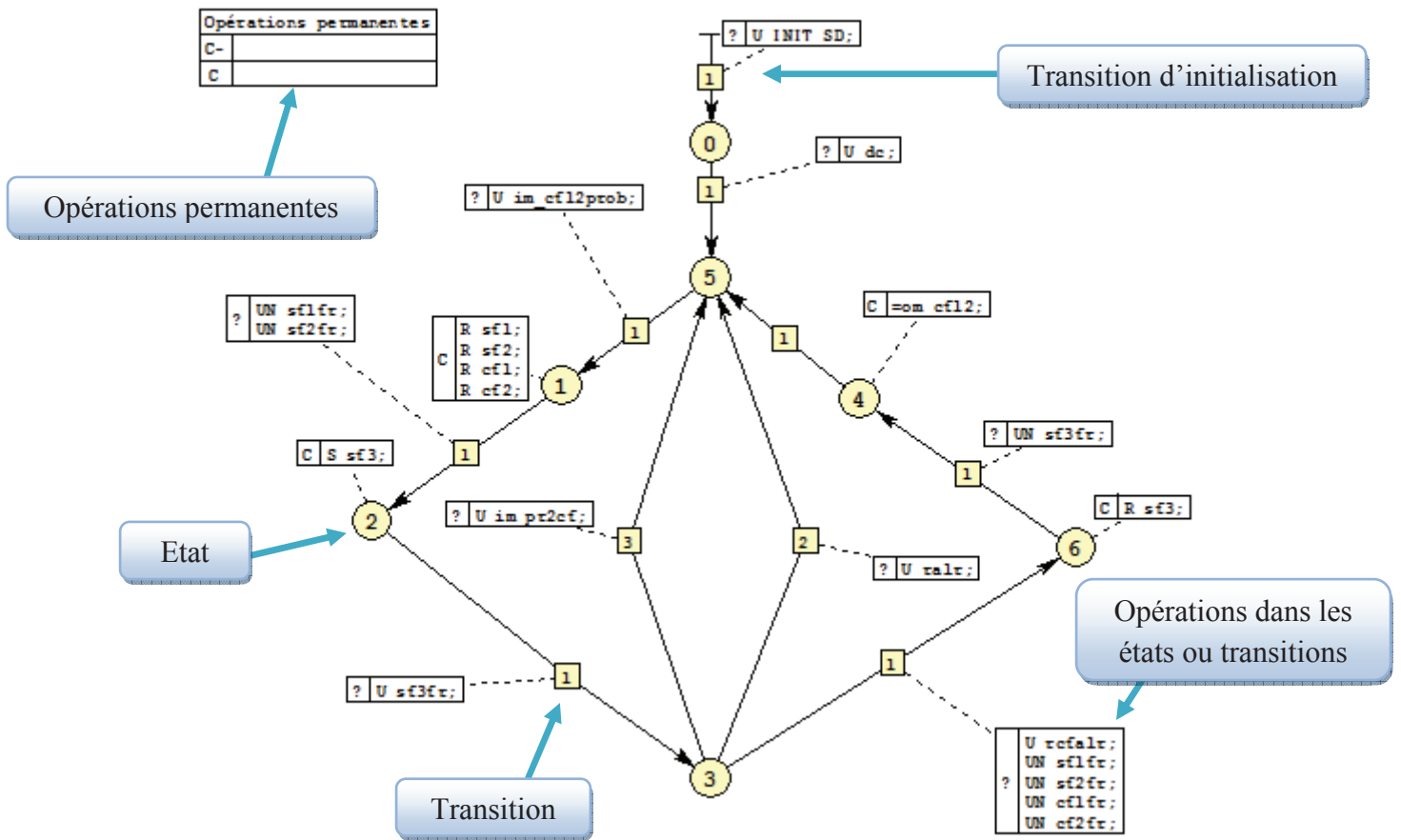


Figure (IV.8) : Eléments d'un graphe d'état.

**Remarque :** un graphe d'état peut contenir jusqu'à 255 états et 4090 transitions.

### 1) Etats

Un état est symbolisé par un cercle, Chaque état qui peut prendre une unité fonctionnelle est représenté par un état du graphe et possède un numéro unique dans le graphe. Notre programme gagnera en clarté si on donne des noms aux différents états. Les états servent à déclencher des actions. On peut même choisir le moment auquel l'action sera exécutée c'est à dire à l'entrée de l'état, durant l'état ou à la sortie de l'état.

Chaque graphe nécessite un état pour l'initialisation. Cet état initial peut servir à vérifier si l'unité fonctionnelle se trouve dans une position de départ définie. Si nécessaire, elle peut être amenée dans cette position de départ.

## 2) Transitions

Les transitions contiennent des conditions de franchissement. Il y a changement d'état lorsque la réceptivité d'une transition c'est-à-dire la fonction combinatoire de toutes ses conditions de franchissement est vraie.

D'un même état peuvent partir plusieurs transitions, une priorité différente est automatiquement attribuée à chacune d'elles. Cette priorité est indiquée dans un petit carré sur la flèche représentant la transition. La numérotation de la priorité peut être changé Si besoin est, si la réceptivité de plusieurs d'entre elles est vraie, c'est la transition de plus haute priorité qui sera franchie (en sachant que le nombre le plus petit détermine la priorité la plus haute). Il existe trois types de transition

- **Transition normal**

Une transition normale conduit d'un état source à un autre état lui succédant.

- **Transition Any**

Une transition Any mène de tous les états à un état cible (programmé). Les transitions Any sont traitées constamment, quel que soit l'état dans lequel se trouve le graphe. Elles servent, par exemple, à la surveillance permanente des conditions de rang supérieur (par exemple l'arrêt d'urgence). L'apparition du cas de surveillance programmé dans la transition Any entraîne le passage à l'état cible.

Lorsqu'un graphe d'état a plusieurs transitions Any, chacune d'elles reçoit sa propre priorité. Les priorités des transitions Any sont évaluées indépendamment des priorités des autres transitions : toutes les transitions Any ont toujours la priorité sur les transitions normales.

Une transition Any interrogeant la variable prédéfinie INIT\_SD est considérée comme transition de démarrage. Elle sert à initialiser le graphe d'état

- **Transition return**

Une transition Return mène de l'état courant à l'état précédemment actif. Les transitions Return n'ont pas la priorité sur les transitions normales.

La figure (IV.10) illustre les différents types de transition



Figure (IV.9) Types de transitions

### 3) Opérations permanentes

Les opérations permanentes sont exécutées une fois par cycle du graphe d'état quel que soit l'état en cours. Ils servent pour programmer de manière centrale les événements de :

- Calcul de grandeurs de processus interrogées à plusieurs endroits,
- détection et traitement d'événements auxquels il importe de réagir indépendamment de l'état en cours (ex. : la surveillance d'une grille de protection).

Il existe deux types d'opérations permanentes :

- Actions cycliques en amont (permanentes) (C-) : qui est toujours exécutées au début de cycle.
- Actions cycliques (permanentes) (C) : qui est toujours exécutées à la fin de cycle.

C'est types d'opérations sont décrite dans un tableau situé dans la fenêtre de travail du programme S7-HiGraph la figure(IV) représente le tableau telle qu'il est vu par l'utilisateur.

Opérations permanentes	
C-	
C	

Figure (IV.10) Opérations permanentes

### IV.3.B.b) Programmation des opérations

#### 1) Opérations dans les états et les transitions, opérations permanentes

Chaque opération représente une instruction de commande du processus. Elle commande par exemple une entrée, une sortie ou un memento ou elle appelle un bloc. On peut associer des opérations aux états et aux transitions, ou programmer des opérations permanentes qui seront exécutées indépendamment des états et des transitions.

La figure (IV.12) représente un exemple de programmation des opérations dans un état et les différentes parties du bloc d'opérations

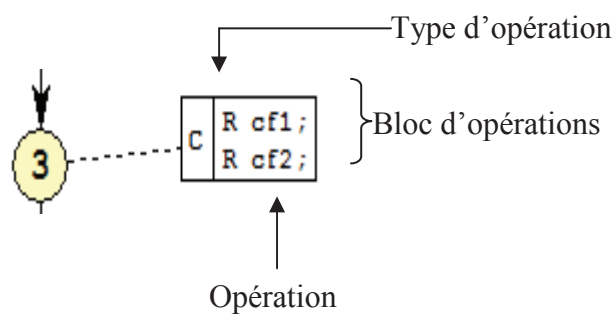


Figure (IV.11) Bloc d'opération d'un état

Les opérations sont subdivisées en blocs d'opérations. Chaque bloc est représenté par une ligne dans le tableau d'opérations. Il peut y avoir plusieurs blocs d'opérations du même type (l'exemple de la figure (IV.12) contient deux blocs d'opérations de type C).

- Type d'opérations

S7-HiGraph distingue plusieurs types d'opération qui déterminent à quel moment l'opération sera exécutée (par exemple à l'entrée dans l'état, durant l'état ou à la sortie de l'état). Les types d'opération sont désignés par les abréviations E, C-, C et X.

- Opération

Elle se compose de deux parties, l'opération permanente et un opérande absolu ou symbolique.

#### 1- Types d'opérations

- Actions entrées (E)

Actions exécutées une seule fois à l'entrée dans un état.

- Actions cycliques en amonts (C-)  
Actions exécutées durant un état avant la vérification de la réceptivité des transitions à franchir et contenant des combinaisons amont de conditions qui sont propres à cet état.
- Actions cycliques (C)  
Actions exécutées durant un état après la vérification de la réceptivité des transitions à franchir.
- Actions sorties (X)  
Actions exécutées une seule fois à la sortie d'un état.
- Temps d'attente (TA)  
Détermine si l'automate devra rester dans un état pendant un temps minimal.
- Temps de surveillance (TS)  
Détermine si la durée d'un état fera l'objet d'une surveillance.
- Conditions (?)  
Opérations décrivant les conditions de réceptivité de la transition.
- Actions de transition  
Opérations exécutées une seule fois lorsque la transition est franchie.

## 2- Règles de saisi d'opérations

La syntaxe des opérations est la même que celle du langage LIST, dans un bloc d'opérations chaque ligne ne comporte qu'une seule opération et chaque ligne doit se terminer par un point-virgule (;).

Les opérandes utilisés doivent être des variables pré déclarées et ne prennent pas en charge la différence entre la majuscule et la minuscule, les piles de parenthèses ne doit pas dépasser 7 entiers. Et l'adressage indirect n'est pas autorisé.

### IV.3.B.c) Programmation des temps d'attente et temps de surveillance

#### 1) Programmation des temps d'attente

On peut définir un temps d'attente minimum durant lequel l'automate restera dans l'état où il se trouve avant que la réceptivité des transitions suivantes soit vérifiée.

On indique le temps d'attente sous forme de valeur constante fixe ou de valeur variable. L'avantage de la valeur variable, qui peut être un paramètre formel ou une variable

globale, est qu'elle permet des temps d'attente différents dans les diverses instances du graphe d'état.

## 2) Programmation des temps de surveillance

Dans le cas où la durée d'un état est surveillée. Un temps de surveillance est défini et que l'automate ne quitte pas l'état en question dans le temps prévu, la variable prédéfinie "ST\_Expired" est mise à 1. De plus, un message d'erreur est remis au programme de diagnostic.

Le temps de surveillance est donné sous forme de valeur constante ou de valeur variable. L'avantage de la valeur variable, qui peut être un paramètre formel ou une variable globale, et permet des temps de surveillance différents dans les diverses instances d'un graphe.

Le temps de surveillance est mesuré en temps réel. Il continue donc de s'écouler même si le traitement cyclique du graphe d'état est interrompu, par exemple lors du traitement d'une alarme.

### IV.3.B.d) Programmation des modes de fonctionnement

L'écriture un programme avec modes de fonctionnement en faisant dépendre le franchissement des transitions de certaines variables d'entrée. Dans ce cas, les variables d'entrée sont interrogées en plus des conditions de transition.

On dispose des modes de fonctionnement suivants :

- Auto

Un changement d'état a lieu quand la réceptivité de la transition est vraie et que la variable AutomaticMode a la valeur 1.

- Manuel

Un changement d'état a lieu quand la réceptivité de la transition est vraie et que la variable ManualMode a la valeur 1.

- Aucun mode de fonctionnement affecté

Un changement d'état a lieu quand la réceptivité de la transition est vraie.

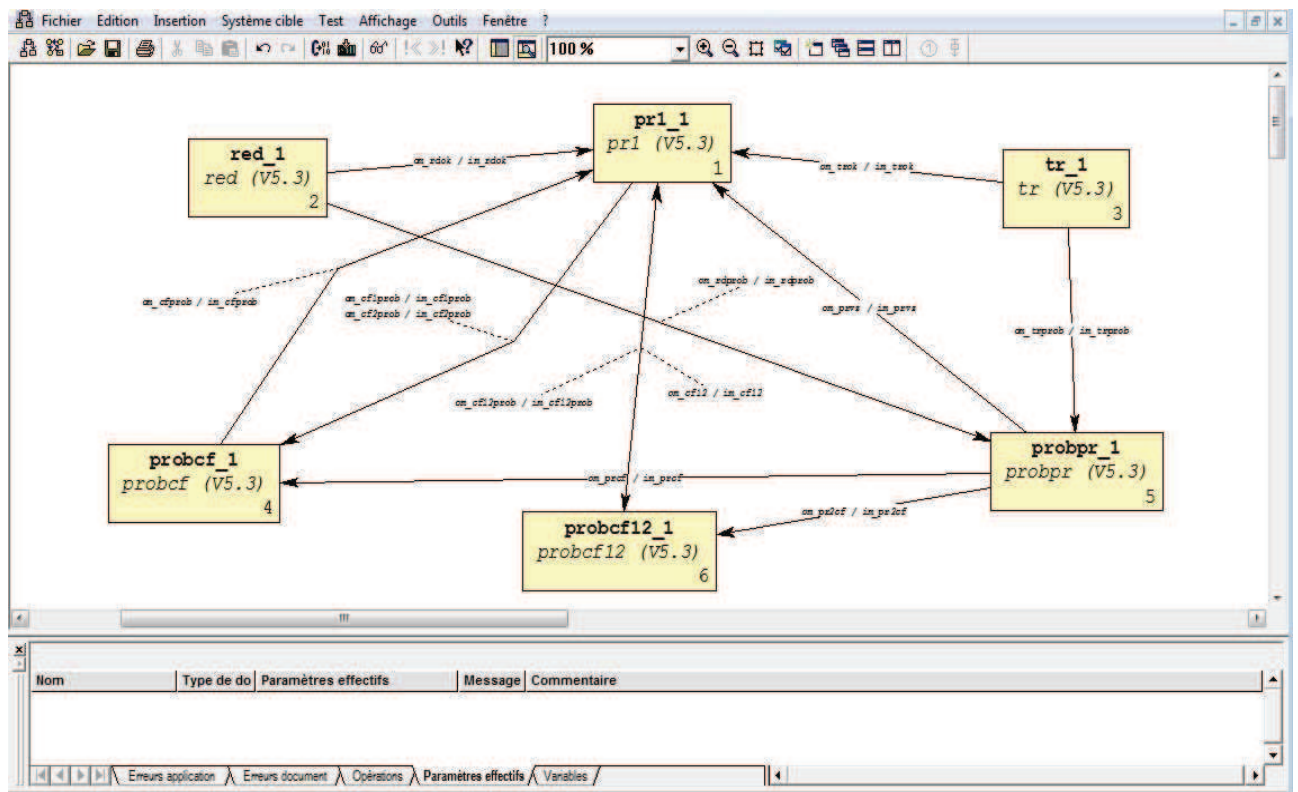
Pour utiliser les modes de fonctionnements il suffit d'affecter aux transitions les attributs « Manuel » ou « Auto ». De cette façon, le S7-HiGraph interrogera les variables du mode de fonctionnement avant les conditions et les réceptivités des transitions.

### IV.3.C) Programmation de groupes de graphes

#### IV.3.C.a) Groupes de graphes

Les graphes d'état décrivent les différentes unités fonctionnelles d'une machine. On peut coordonner plusieurs graphes d'état en un groupe afin de décrire une machine ou une installation dans sa totalité. C'est le groupe de graphes qui définit l'ordre dans lequel les différents graphes d'état seront appelés dans l'exécution cyclique du programme. L'appel d'un graphe d'état est qualifié d'instance.

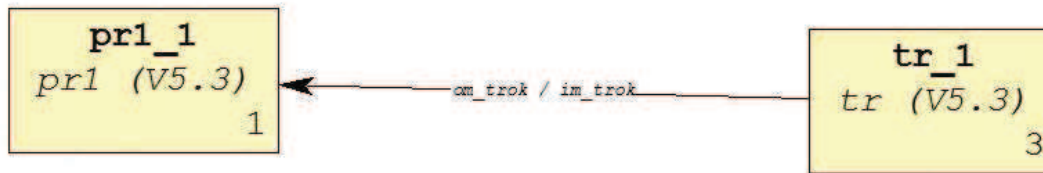
Les instances sont traitées dans le système cible dans l'ordre d'exécution spécifié par le groupe. Un groupe de graphes ne peut contenir que des instances du programme S7 dans lequel il se trouve. Voir figure (IV.13).



Figure(IV.12) Fenêtre de programmation de groupe de graphes

### IV.3.C.b) Principes de l'échange de données

Les messages servent à la communication entre les graphes d'état. Un graphe d'état émet un signal qui est reçu par un autre graphe d'état. L'échange de signaux est représenté par des flèches dans le groupe de graphes. Voir la figure (IV.14)



Figure(IV.13) Principe de l'échange de données

Le message d'échange est réalisé au moyen d'un bit qui est mis à l'état logique 1 par le graphe émetteur et évalué dans le graphe récepteur.

### IV.3.C.c) Types de message

La communication entre les graphes d'état d'un groupe de graphes se fait grâce à des messages interne, une adresse binaire dans le bloc de données (DB) HiGraph. La communication entre graphes d'état des différents groupes ou entre les blocs fonction (FC) HiGraph passe par l'utilisation des messages externe.

### IV.3.C.d) Programmation des messages

Le principe de la programmation des messages se résume à un bit qui est mis à 1 par le graphe émetteur et évalué dans le graphe récepteur, sans possibilité d'accès directe. Cette programmation est possible grâce à des variables d'émission déclarées dans le graphe émetteur au tant que sorties d'une part ; et des variable de réception déclarées dans le graphe récepteur au tant qu'entrées d'autre part.

## IV.3.D) Enregistrement et compilation

### IV.3.D.a) Enregistrement de graphes et de groupes de graphes

Pour mémoriser dans la PG de nouveaux graphes d'état, des groupes de graphes ou des modifications, il faut passer par l'enregistrement de l'application ; ainsi, les objets HiGraph sont stockés dans le dossier Sources du programme S7 dans leur état courant. Ils ne sont soumis à aucune vérification syntaxique.

### **IV.3.D.b) Compilation du programme**

Lors de la procédure de compilation, l'outil S7-HiGraph vérifie la syntaxe du programme, génère une fonction(FC) et un bloc de données (DB) pré-déclarés et les range dans le dossier Blocs du programme S7. Les erreurs de syntaxe éventuelles s'affichent dans la fenêtre "Erreurs et avertissements".

Dans ce cas, aucun bloc exécutable n'est généré. Les avertissements, par contre, n'ont pas d'influence sur le résultat de la compilation ; un bloc de code exécutable est donc généré.

Le compilateur de l'outil S7-HiGraph ne compile que des groupes de graphes entiers ; il n'est pas possible de compiler des graphes d'état isolés.

### **IV.3.E) Appel et chargement de la FC HiGraph**

#### **IV.3.E.a) Appel de la FC à partir d'un programme S7**

Afin que le programme utilisateur puisse s'exécuter dans la CPU, il est impératif d'appeler la fonction FC générée à la compilation du groupe de graphes dans un bloc d'exécution cyclique, par exemple l'OB1.

Le bloc appelant est programmé dans l'un des langages de programmation de STEP 7 (CONT, LOG, LIST ou S7-HiGraph).

#### **1) Paramètre d'initialisation INIT\_SD**

La transition de démarrage interroge le paramètre d'initialisation INT\_SD. S'il est à l'état logique 1, la transition de démarrage est franchie et mène à l'état initial.

On peut affecter cette valeur au paramètre à l'aide de l'information de déclenchement de l'OB1 (variable #OB1\_SCAN\_1).

#### **IV.3.E.b) Conditions requises pour le chargement**

La procédure de chargement du programme utilisateur dans l'automate est exécuter lors de la programmation du programme utilisateur est compilé sans erreurs, avec appel du bloc fonction (FC) dans le bloc d'exécution cyclique en présence d'une connexion protocolaire entre la console de programmation et le système d'automatisation.

### **IV.4) Programmation et implémentation**

Lors de la programmation du poste de redressement (PR11) nous allons nous basés sur la même stratégie utiliser lors de la modélisation, pour la modélisation on a du développé des sous-modèle pour les déférente partie qui composé le poste de redressement et cas de défaillance. La programmation développé avec l'outil S7-HiGraph nous permet de rester sur

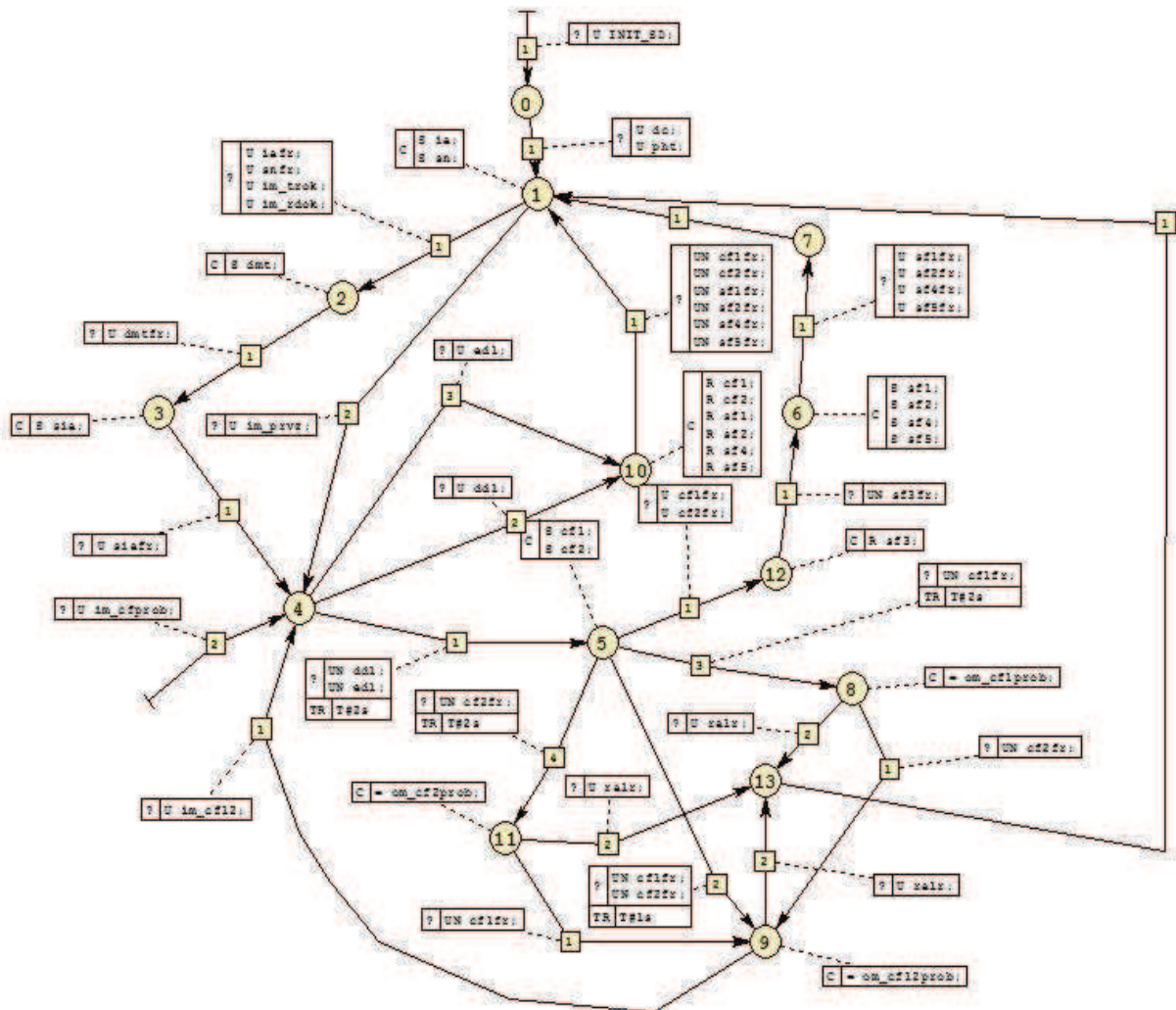
la même stratégie, Notre programme ce composera de six graphes d'état pour chaque composant.

Un groupe de graphe nous permettra de réaliser les communications entre tous les graphes d'état avec des messages interne.

#### IV.4.A) Graphes d'état du programme

##### IV.4.A.a) Graphe coordinateur (pr1)

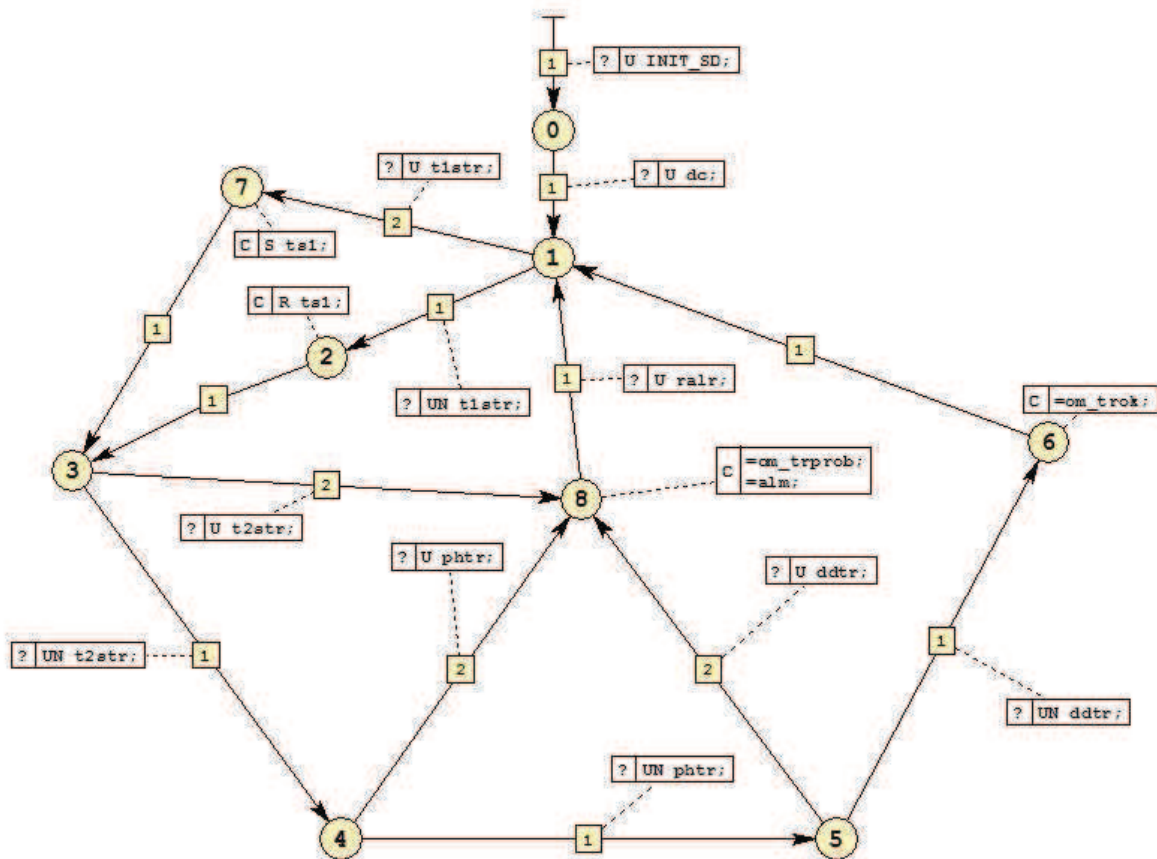
Ce graphe d'état est le seul a communiqué avec tous les autres, il est le coordinateur, il communique, reçoit et envoie des instructions sur l'état du poste de redressement. Il assure le fonctionnement nominal (sans défaillance) du poste de redressement.



Figure(IV.14) Programme du graphe coordinateur

**IV.4.A.b) Graphe du transformateur (tr)**

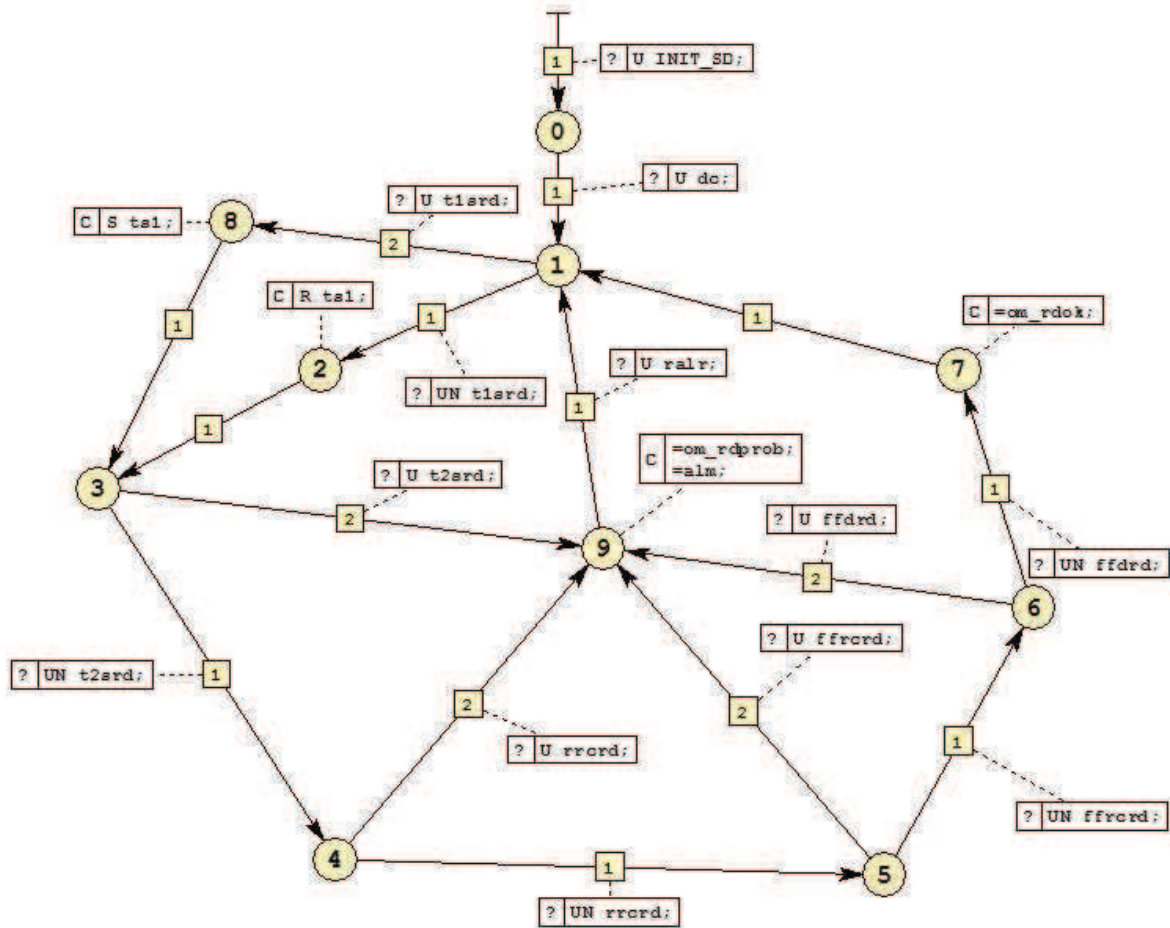
Assure le contrôle des paramètres du transformateur telle que la température, le diélectrique, et la pression d'huile. Il communique avec le graphe coordinateur pour lui transmettre les paramètres relatifs au cas de défaillance, en présence d'un cas de défaillance l'état 6 du graphe (tr) transmet l'information de défaut au graphe problème poste de redressement.



Figure(IV.15) Programme du graphe du transformateur (tr)

#### IV.4.A.c) Graphe du redresseur (red)

Le programme graphe du redresseur (red) présenté en figure (IV.16) a pour objectif la surveillance des paramètres du redresseur et de rediriger l'information en cas de défaillance vers le graphe problème poste de redressement (probpr)



Figure(IV.16) Graphe d'état du redresseur

#### IV.4.A.d) Graphe de traitement de défaillance du poste de redressement (probpr)

Ce graphe illustré en figure (IV.17) résous le cas de problème de défaillance dans le transformateur et le redresseur, en cas de perte de l'un des deux éléments ce graphe permet d'acheminer de l'énergie électrique d'une zone à une autre en enclenchant une procédure d'urgence.

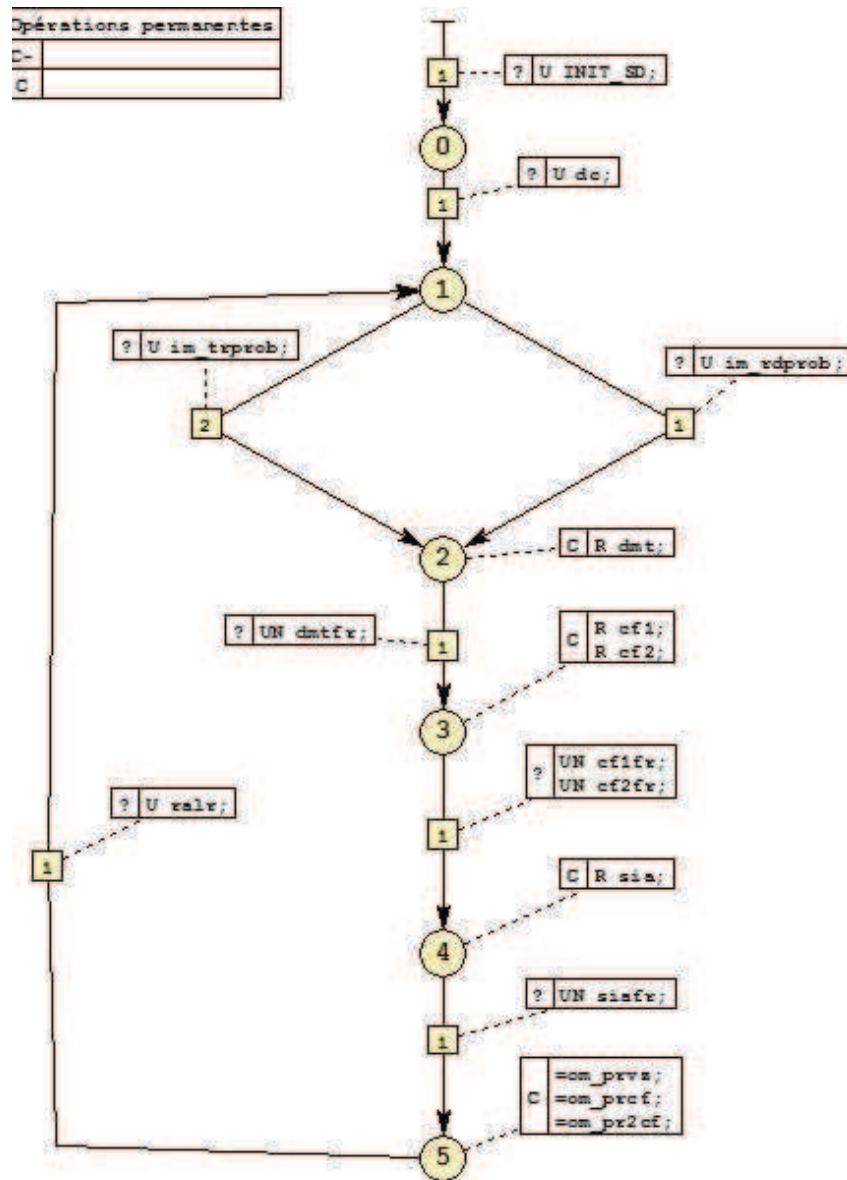


Figure (IV.17) graphe d'état de traitement de défaillance du poste de redressement

#### IV.4.A.e) Graphe de traitement de défaillance d'une des cellules de feeder (probcf)

Il assure un fonctionnement du poste de redressement N°11 avec une défaillance d'une des deux cellules de feeder. Cette défaillance est détectée dans le graphe principal qui est communiqué au graphe d'état (probcf) pour résoudre ce cas de dysfonctionnement.

Le graphe de traitement de défaillance (probcf) est illustré en figure (IV.18)

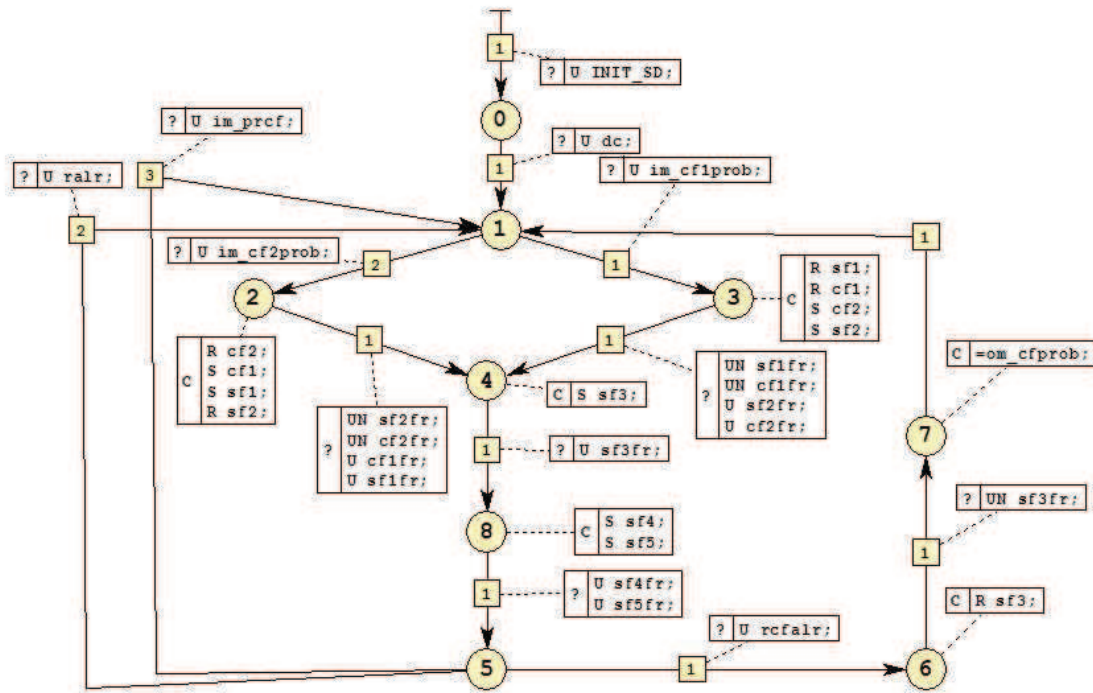
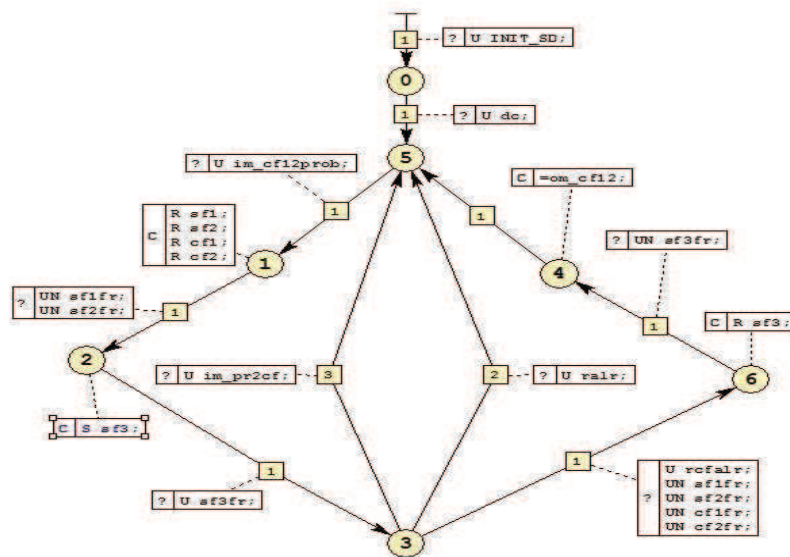


Figure (IV.18) Graphe d'état de traitement de défaillance d'une des cellules de feeder

#### IV.4.A.f) Graphe de traitement de défaillance des deux cellules de feeder (probcf12)

Dans le cas où un dysfonctionnement survient au niveau des deux cellules de feeder à la fois le programme graphe (probcf12) s'active et exécute l'ordre de fermeture d'un sectionneur interrupteur assurant ainsi un fonctionnement en mode dégradé du poste de redressement. La figure (IV.19) démontre le fonctionnement de ce graphe.



Figure(IV.19) Graphe d'état de traitement de défaillance des deux cellules de feeder

## IV.4.B) Groupe de graphes

Pour génère ce groupe de graphe nous avons importé tous les graphes d'état comme instance, Ces instances communiquent entre elle grâce à des messages internes, dans le schéma de la figure (IV.20), le graph coordinateur (pr1) est en position centrale de transmission/ réception des informations de tous les graphes.

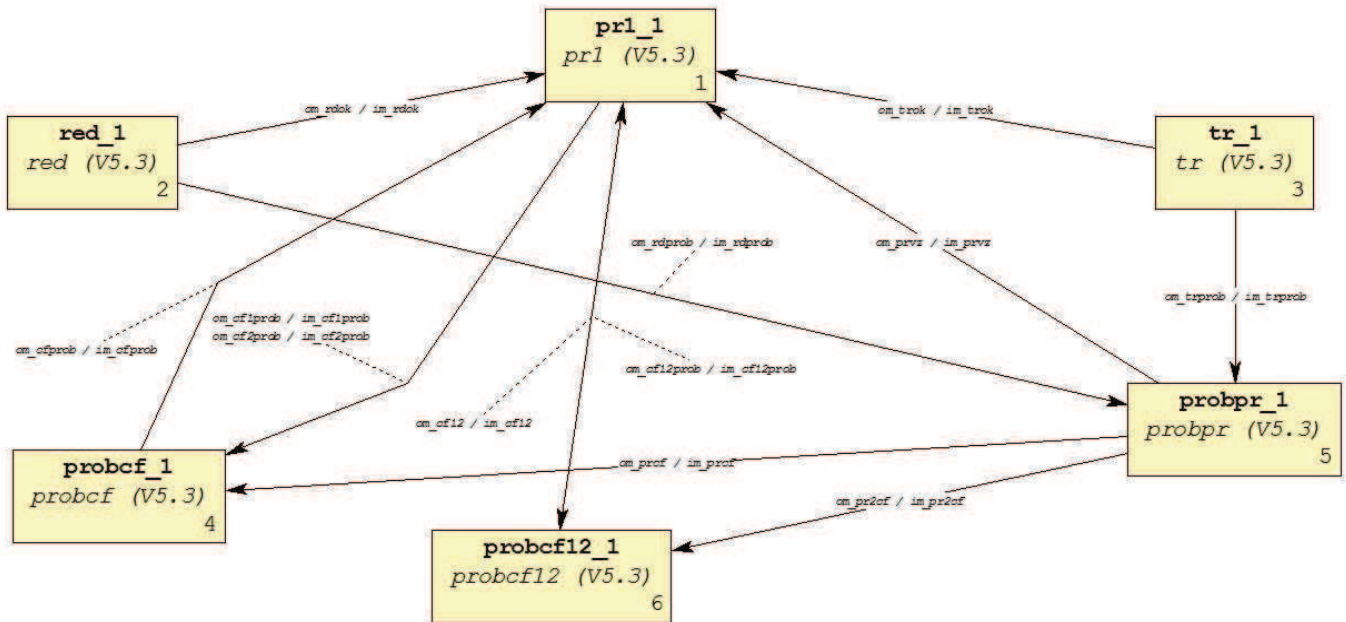


Figure (IV.20) Schéma du Groupe de graphe

## IV.4.C) Compilation et Appelle des blocs

### IV.4.C.a) Compilation

Après la sauvegarde de tous les graphes d'état et du groupe de graphe une compilation du groupe doit être effectuée, après avoir définie les blocs fonction FC et les blocs de données DB dans lesquels le programme que nous avons développé sera généré

La figure (IV.21) nous montre les paramètres de déclaration des blocs FC et DB avant la compilation.

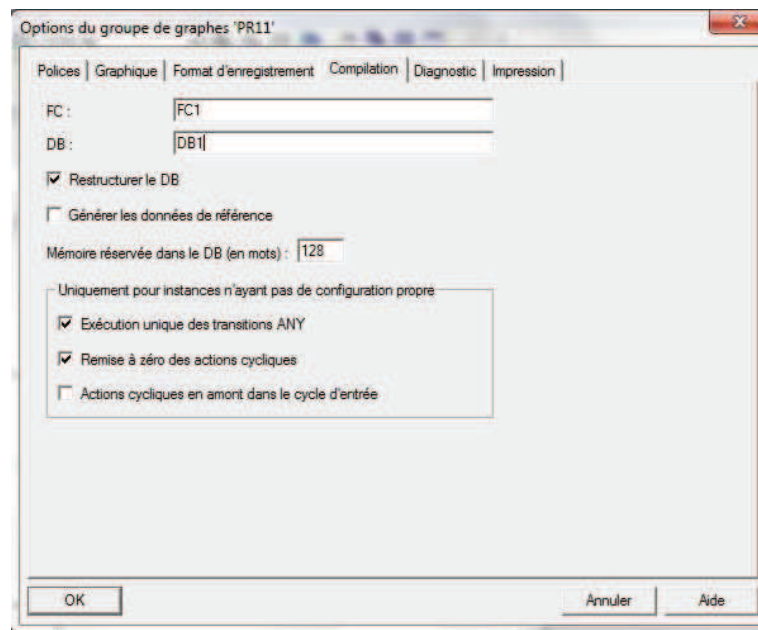


Figure (IV.21) paramètre de déclaration des blocs

La compilation vérifie que le programme développé n'a aucune erreur de syntaxe, et génère les blocs système nécessaire à son excursions

#### IV.4.C.b) Appelle du bloc FC

L'appelle du FC bloc est effectué dans un bloc OB, on peut utiliser les trois type de langage CONT, LIST et LOG. Lors de l'appel du bloc FC, l'initialisation de la variable INIT\_SD exécuté

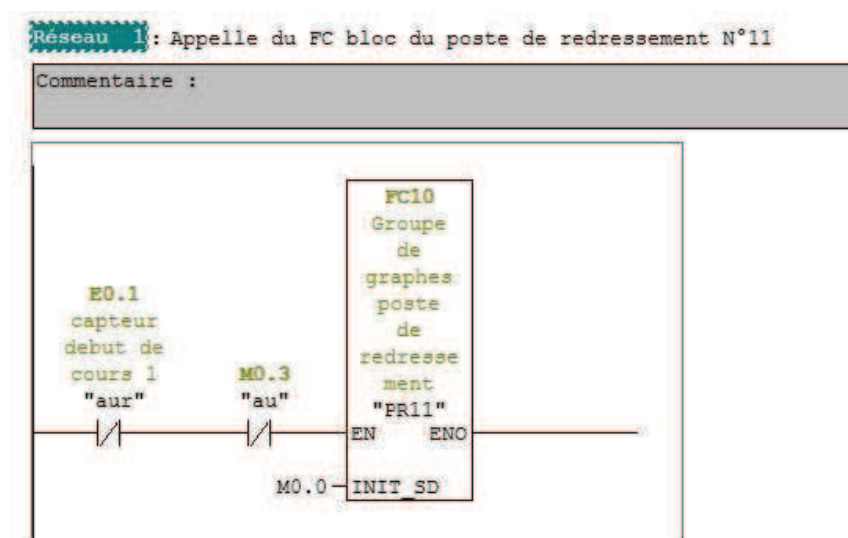


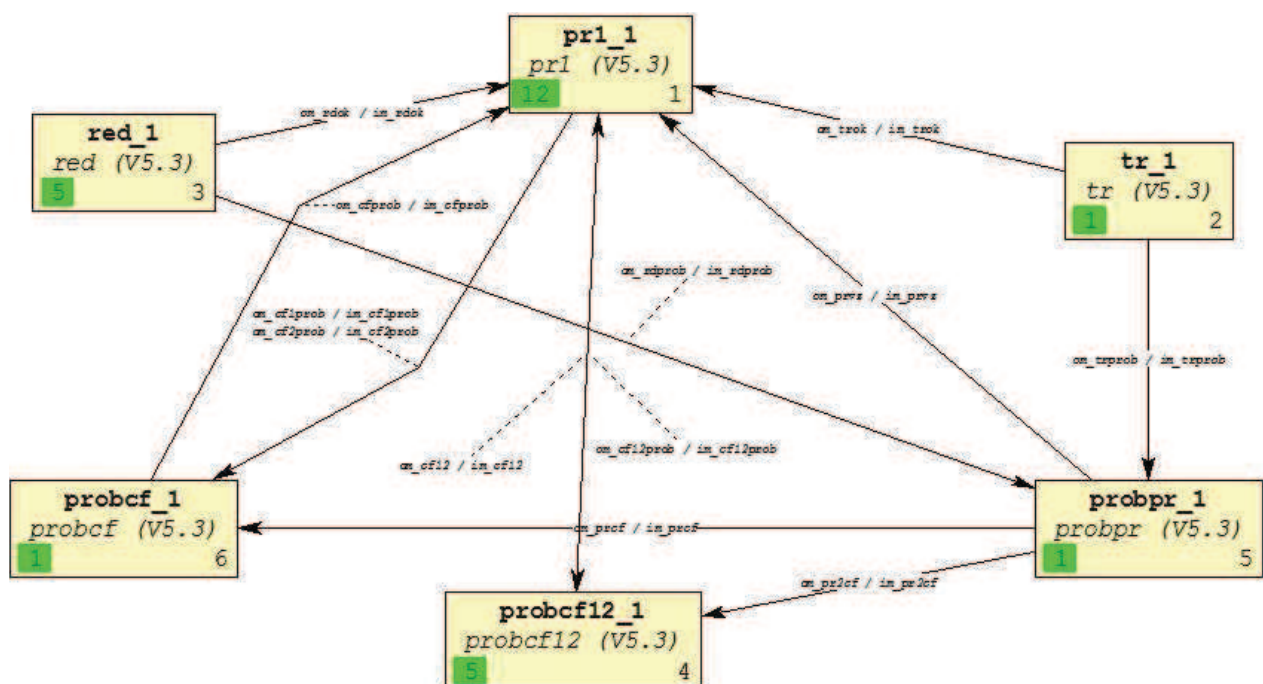
Figure (IV.22) Appelle du FC bloc avec le langage contacte

## IV.5) Simulation et Visualisation

Après la compilation du groupe de graphe, on charge tous nos blocs dans un automate programmable ou bien dans le PLCSIM (automate virtuelle) a fin de visualiser et de tester le bon fonctionnement du programme, cette fonction permet d'observer le déroulement d'un programme dans la CPU. Les différents états et transitions sont représentés graphiquement avec affichage des informations actuelles sur les opérations en cours d'exécution. Ceci permet la détection d'erreurs n'ayant pas été signalée par la vérification de cohérence formelle accompagnant l'écriture du programme ainsi que par la vérification de syntaxe accompagnant sa compilation. La visualisation aide à détecter des erreurs de type programmation comme des temps d'attente mal ajuster, ou bien des erreurs logique dans le programme, par exemple si les états et les transitions programmés ne coïncident pas avec le déroulement souhaité.

### IV.5.A) Visualisation du groupe de graphes

Il est a souligné que dans la figure (IV.23) suivante les petit carreaux vert indique l'état en cours dans le graphe d'état de l'instance. Par exemple le graphe d'état de l'instance pr1 est en excursions de l'étape 12.



Figure(IV.23) Visualisation de la simulation du groupe de graphes

### IV.5.B) Visualisation d'un graphe d'état

La visualisation des graphes d'état est définie par l'attribution d'une couleur de dynamisation (vert), c'est ainsi que l'état actif et la transition ayant conduit à cet état sont dynamisée, même le dernier état actif est dynamisée. Par contre la transition prioritaire partant de l'état actif s'affiche sous forme de tableau de couleur verte qui se compose des éléments suivants :

OPD : Paramètre effectif

RLG : Résultat logique

ETAT : Bit d'état

STD : L'état d'une temporisation, un mot de compteur ou le contenu de l'accumulateur.

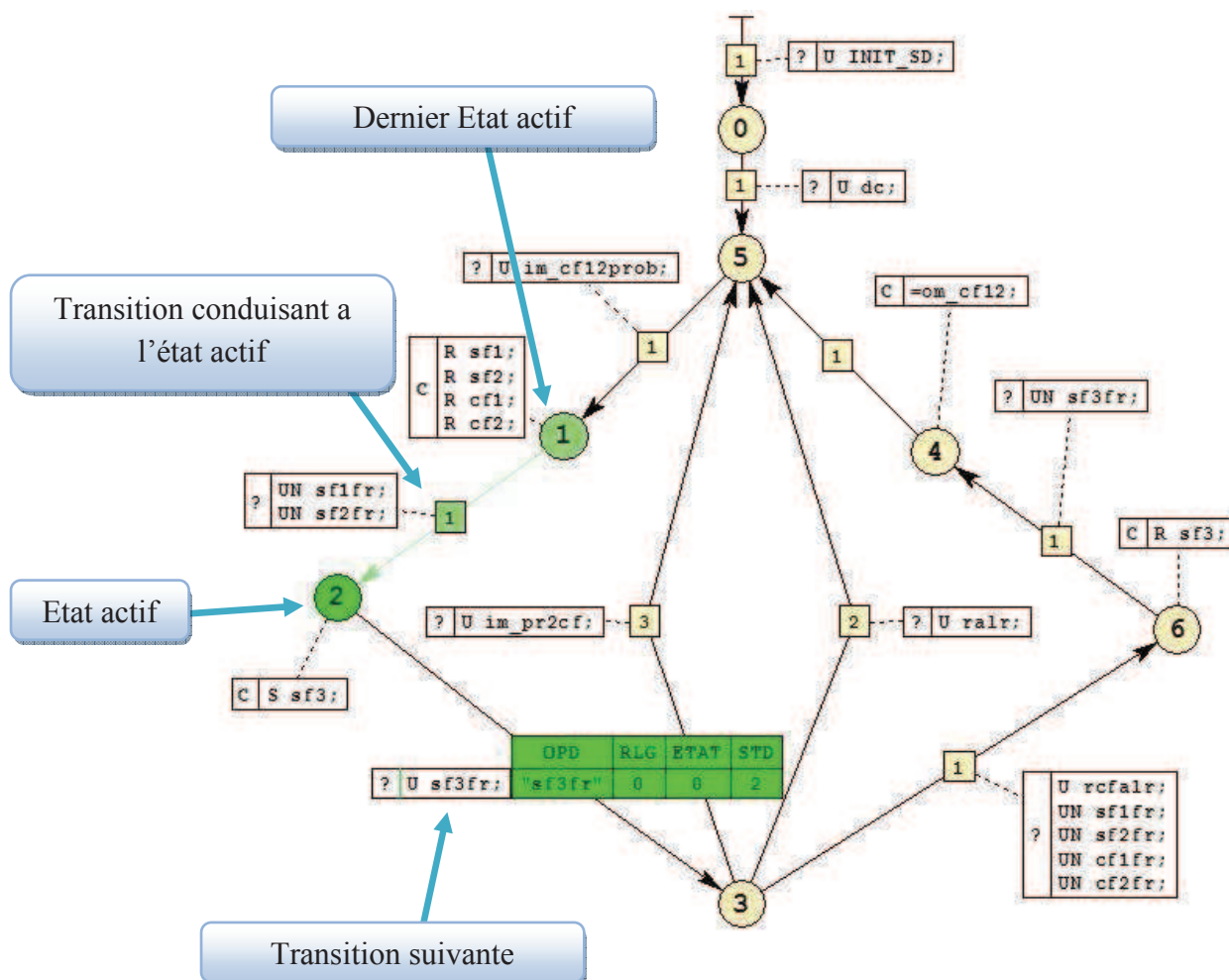


Figure (IV.24) Visualisation d'un graphe d'état en simulation

## Conclusion

Après avoir modélisé notre système on respectant toutes les conditions imposées dans le cahier des charge la tâche suivante était l'implémentation de ce modèle sur un automate programmable industrielle, et pour cela nous avons choisi le nouveau outils de programmation S7-HiGraph.

L'outil S7-HiGraph est un logiciel aux performances remarquable, sa faciliter de représentation graphique ainsi que ces capacité a intégré les systèmes les plus complexe comme les réseaux de petri nous a permis de faire l'implémentation et la validation du modèle du poste de redressement N°11 de l'extension B de la ligne 1 du métro d'Alger sous le logiciel de simulation des modules physiques S7-PLCSIM.

Dans le dernier chapitre, nous allons développer une plat forme de supervision et la proposer aussi complète que possible, permettant une visualisation dynamique des paramètres entrée/sortie en simplifiant la tâche de contrôle à l'opérateur de contrôle sur winCC-flexible.

# Chapitre V

## Introduction

Lorsque la complexité des processus augmente et que les machines et installations doivent répondre à des spécifications de fonctionnalité toujours plus sévères, l'opérateur a besoin d'un maximum de transparence. Cette transparence s'obtient au moyen de l'interface Homme-Machine (IHM).

Un système IHM constitue l'interface entre l'homme (opérateur) et le processus (machine/installation). Le contrôle proprement dit du processus est assuré par le système d'automatisation. Il existe par conséquent une interface entre l'opérateur et l'IHM et une interface entre l'IHM et le système d'automatisation.

## V.1) Système de supervision SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) [7]

### V.1.A) Définition

Un système SCADA inclut des composants hardware et software. Les éléments hardware assurent la collecte des informations qui sont à disposition du ordinateur sur lequel est implanté le logiciel de supervision. Le ordinateur traite ces données et en donne une représentation graphique réactualisée périodiquement.

### V.1.B) Décomposition d'un système SCADA

Le système SCADA comprend trois sous-ensembles fonctionnels :

- La commande
- La surveillance
- La supervision

#### V.1.B.a) Partie commande

La partie commande regroupe toutes les fonctions qui agissent directement sur les actionneurs du procédé qui permettent d'assurer :

- Le fonctionnement en l'absence de défaillance.
- La reprise ou gestion des modes.
- Les traitements d'urgence.
- Une partie de la maintenance corrective.

#### V.1.B.b) Partie surveillance

La partie surveillance:

- Recueille en permanence tous les signaux en provenance du procédé et de la commande.
- Reconstitue l'état réel du système commandé.
- Fait toutes les inférences nécessaires pour produire les données utilisées pour dresser des historiques de fonctionnement.
- Met en œuvre un processus de traitement de défaillance le cas échéant.

Cette partie ne fait que la tâche de surveillance sans influence sur le système réel.

### **V.1.B.c) Partie supervision**

#### **1- Définition**

Interface évoluée entre l'homme et la machine, la supervision permet la surveillance, la conduite et le contrôle en temps réel de processus automatisés.

La supervision des processus permet de gagner en performance et de diminuer le coût d'entretien par l'amélioration de la disponibilité des systèmes de production.

##### **a) En fonctionnement normal**

Son rôle est surtout de prendre en temps réel les dernières décisions correspondant aux degrés de liberté exigés par la flexibilité décisionnelle. Pour cela elle est amenée à faire de l'ordonnancement temps réel, de l'optimisation, à modifier en ligne la commande et à gérer le passage d'un algorithme de surveillance à l'autre.

##### **b) En présence de défaillance**

La supervision va prendre toutes les décisions nécessaires pour le retour vers un fonctionnement normal. Après avoir déterminé un nouveau fonctionnement, Il peut s'agir de choisir une solution curative, d'effectuer des ré ordonnancements "locaux", de prendre en compte la stratégie de surveillance de l'entreprise, de déclencher des procédures d'urgence, etc

## **V.2) Logiciel de supervision**

### **V.2.A) Logiciel WinCC flexible 2008**

Le WinCC flexible 2008 est un logiciel de gamme SIMATIC de siemens, conçu pour la supervision et la commande des processus commandés par automate programmable industriel (API), il sert d'interface homme machine (IHM) c'est-à-dire un lien entre l'opérateur et le processus.

Le WinCC flexible 2008 est subdivisé en deux sous logiciels :

#### **V.2.A.a) WinCC flexible ES**

Il est fait pour création de projet ainsi création et configuration des vues, création des liaisons et tous ce qui est comme paramètres à définir.

### 1- Fenêtre d'accueil

La figure (V.1) représente la fenêtre d'accueil du WinCC flexible 2008

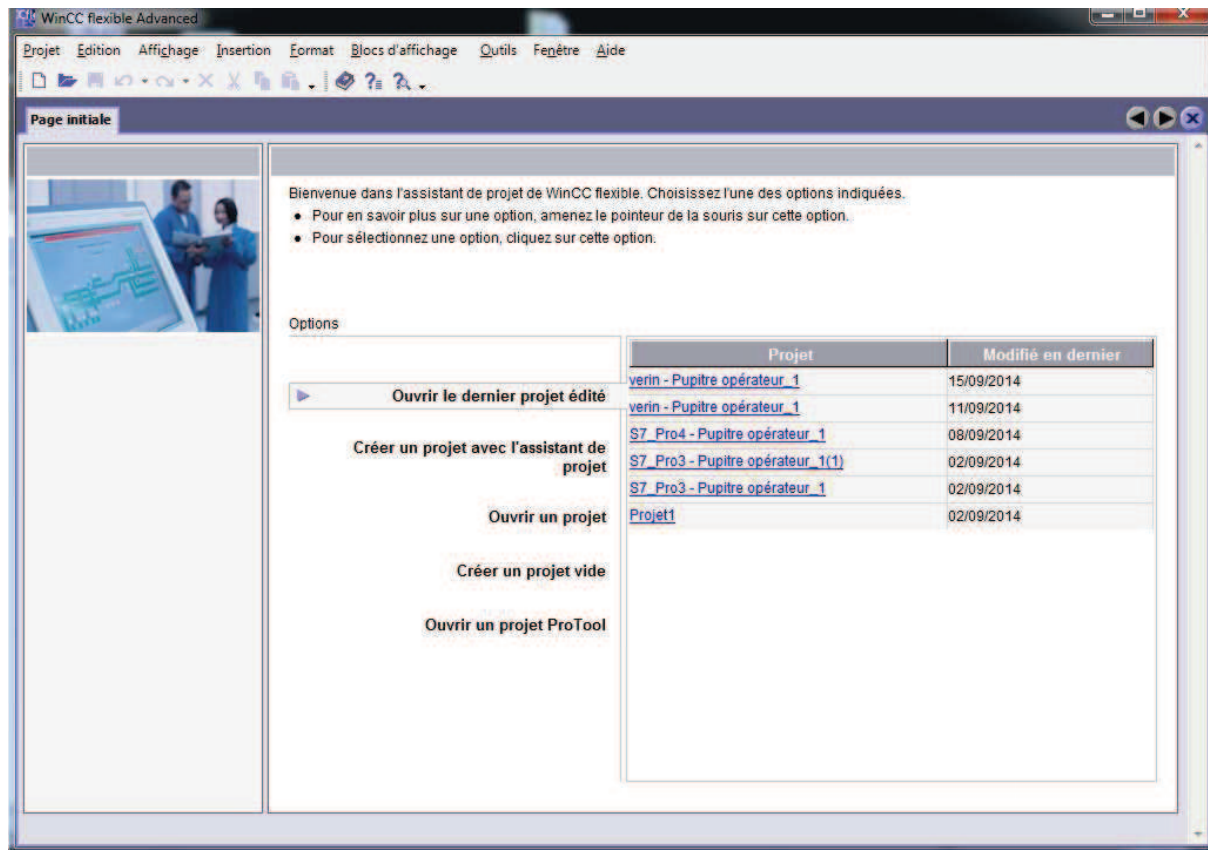


Figure (V.1) : Fenêtre d'accueil WinCC flexible 2008

Cette fenêtre permet l'ouverture et la création d'un projet (sans ou avec assistance)

### 2- Fenêtre de l'espace de travail

La figure (V.2) représente la fenêtre de l'espace de travail qui est divisé en plusieurs parties, c'est ici qu'on crée les dessins, animations, texte et boutons nécessaires pour mieux illustrer le processus et faire apparaître les informations utiles.

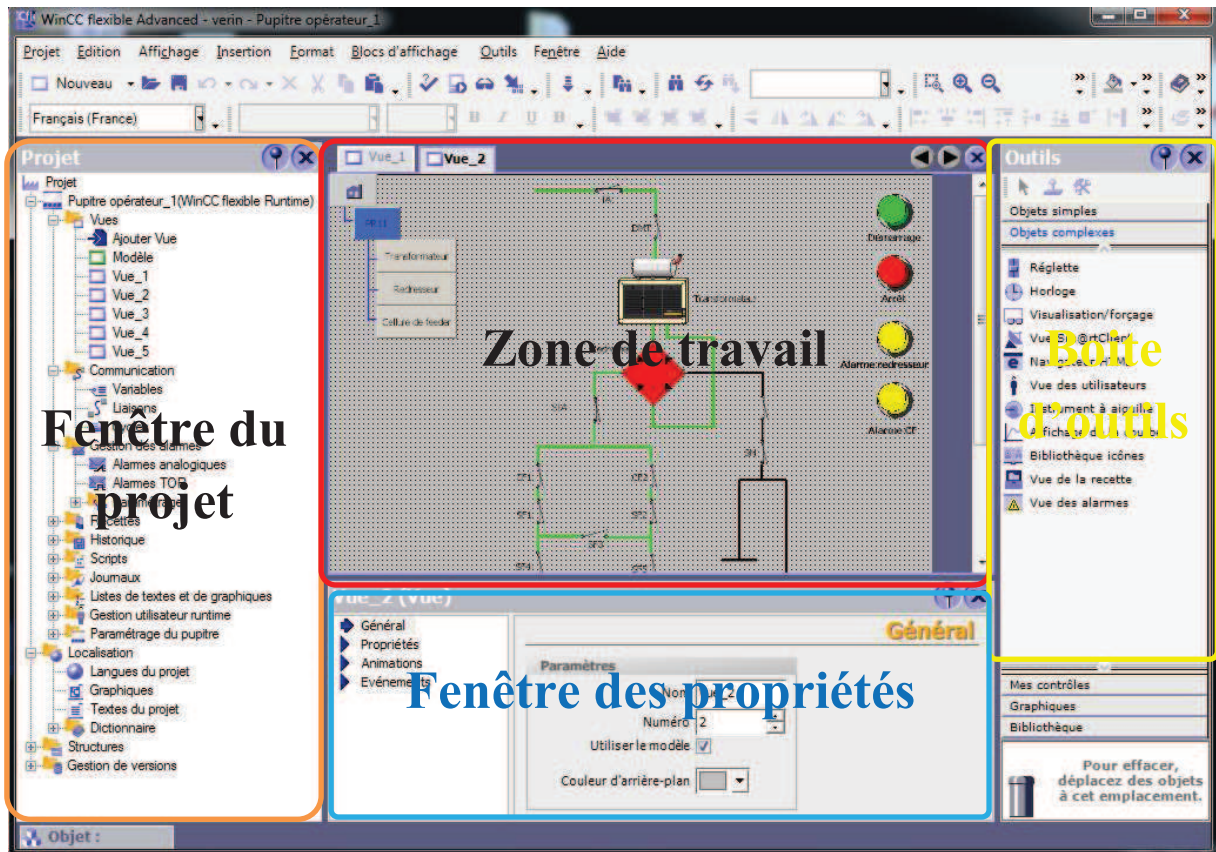


Figure (V.2) : Fenêtre de l'espace de travail

### 3- Création des liaisons

La figure (V.3) qui suit représente la fenêtre des liaisons, entre WinCC et les automates programmables qui commandent le système.

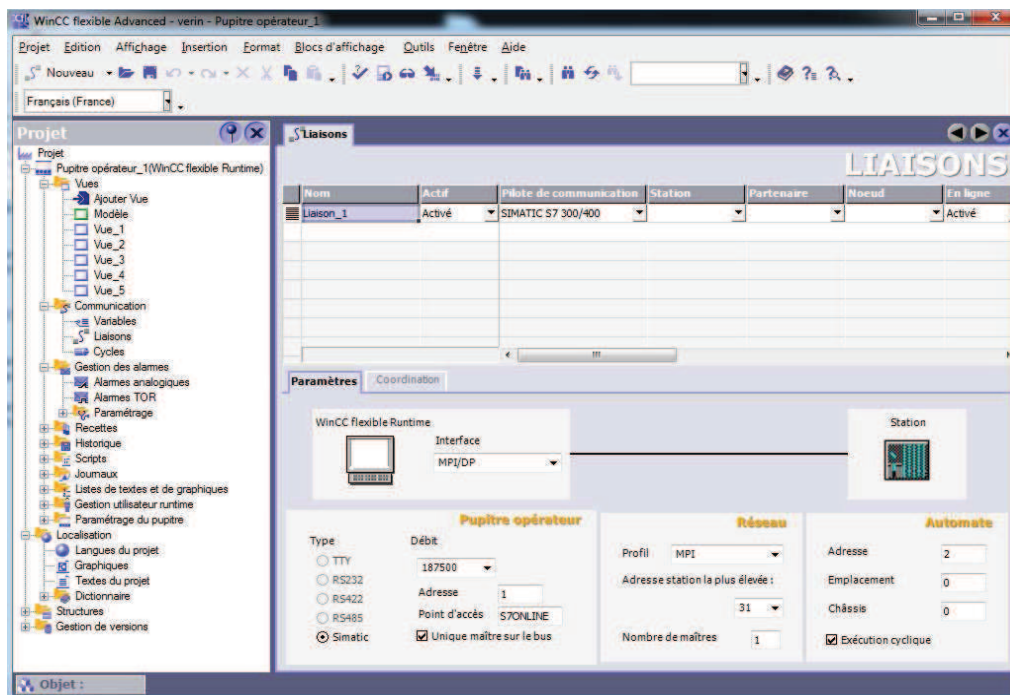


Figure (V.3) : Fenêtre des liaisons

#### 4- Déclaration des variables

Pour que le WinCC flexible communique avec l'automate programmable on doit déclarer des variables et leur affecter les adresses comme déjà fait sur Step7.

La figure (V.4) représente la fenêtre de déclaration des variables

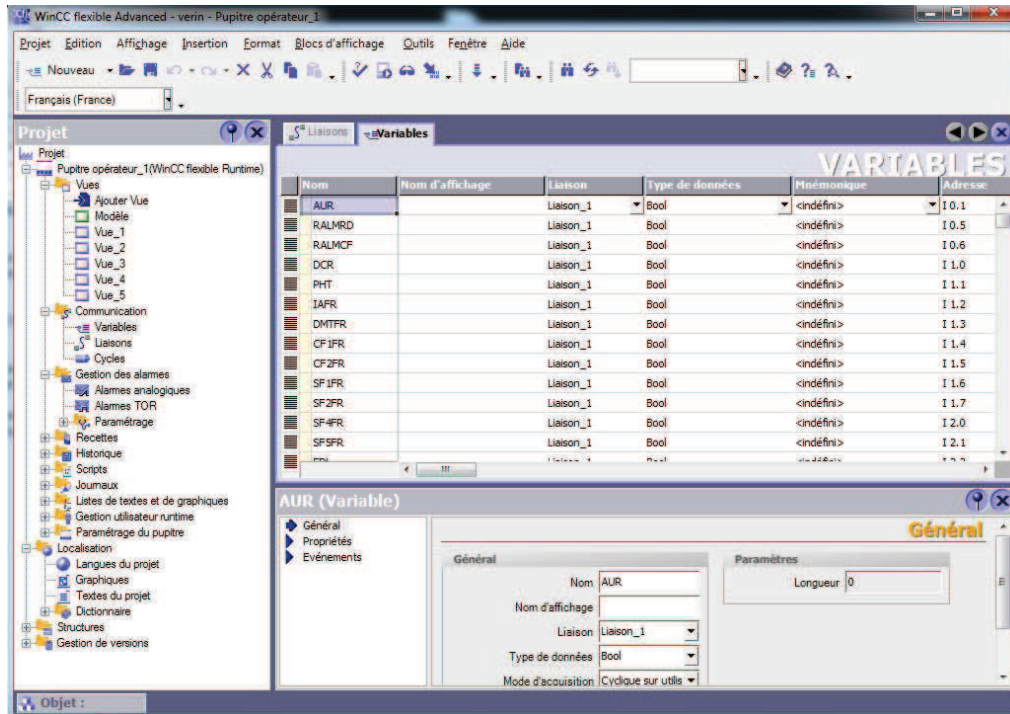


Figure (V.4) : Fenêtre des variables

#### V.2.A.b) WinCC flexible 2008 RT (Runtime)

C'est l'interface d'exécution de notre solution IHM, après avoir terminé la schématisation et la configuration dans le WinCC ES, on lance la visualisation avec le Runtime.

Dans la suite nous allons présenter les différentes vues que nous avons développées pour notre application.

- Vue\_1 : à cette effet dans notre application nous avons développé une vue d'accueil (vue\_1), elle est la première vue apparente au lancement de Runtime, constitué des logos de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO) et de l'entreprise métro d'Alger (EMA), ainsi que des infos sur la réalisation de cette application (Qui l'a créé), avec un bouton pour basculer à la première vue illustrative du système.



Figure (V.5) : Vue\_1 (Vue d'accueil)

- Vue\_2 (Poste de redressement) : c'est la vue générale du poste de redressement, à gauche de l'écran on trouve les boutons de navigation entre les vue, à droite les boutons de commande et au milieu un schéma animé du poste de redressement.

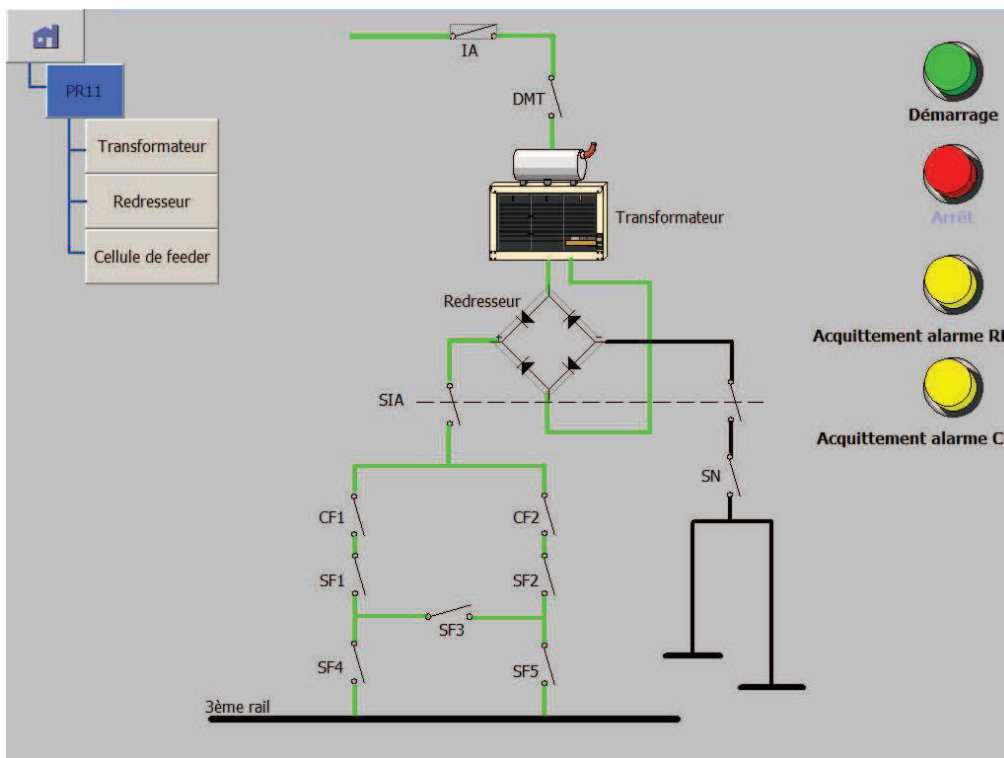


Figure (V.6) : Vue\_2 (Poste de redressement 11 « PR11 »)

- Vue\_3 (Transformateur) : cette vue nous permet de visualiser l'état du transformateur et ses différentes alarmes qui sont représenté avec des voyants initialement verts qui deviens rouge si une alarme est détecté (ex : Pression de huile, Température etc...). On trouve aussi les boutons de navigation et de commande.

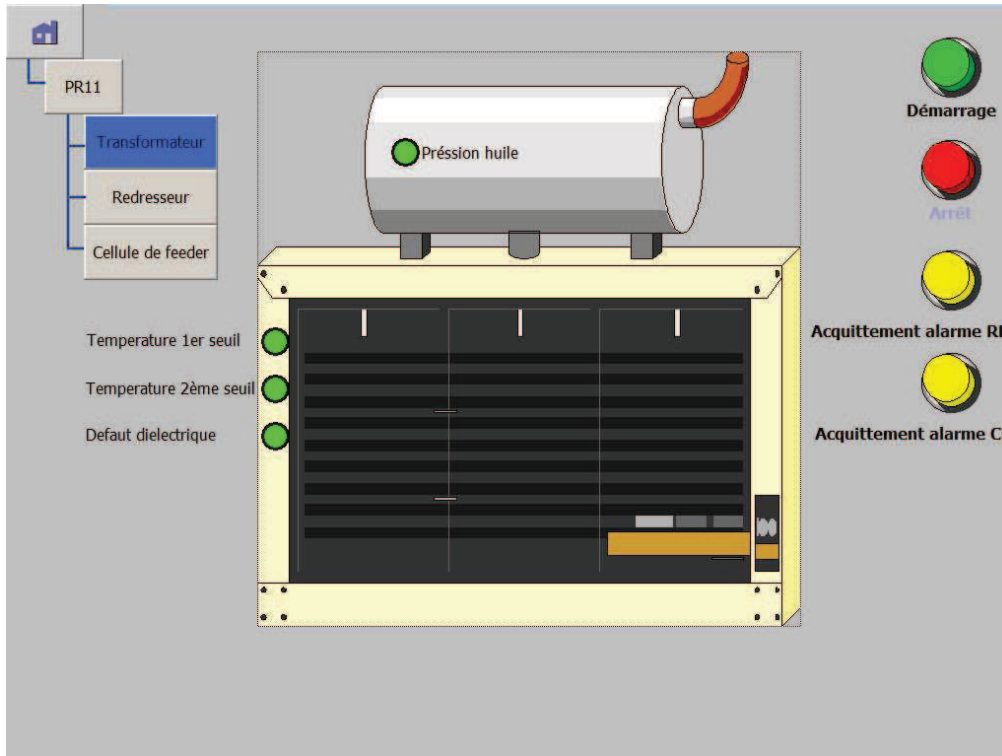


Figure (V.7) : Vue\_3 (Transformateur)

- Veu\_4 : Redresseur, cette vue nous permet de visualiser l'état du redresseur et ses différentes alarmes qui sont illustrées de même manière que celles du transformateur pour rester dans la même logique de communication avec l'opérateur. Ainsi que tous les boutons.

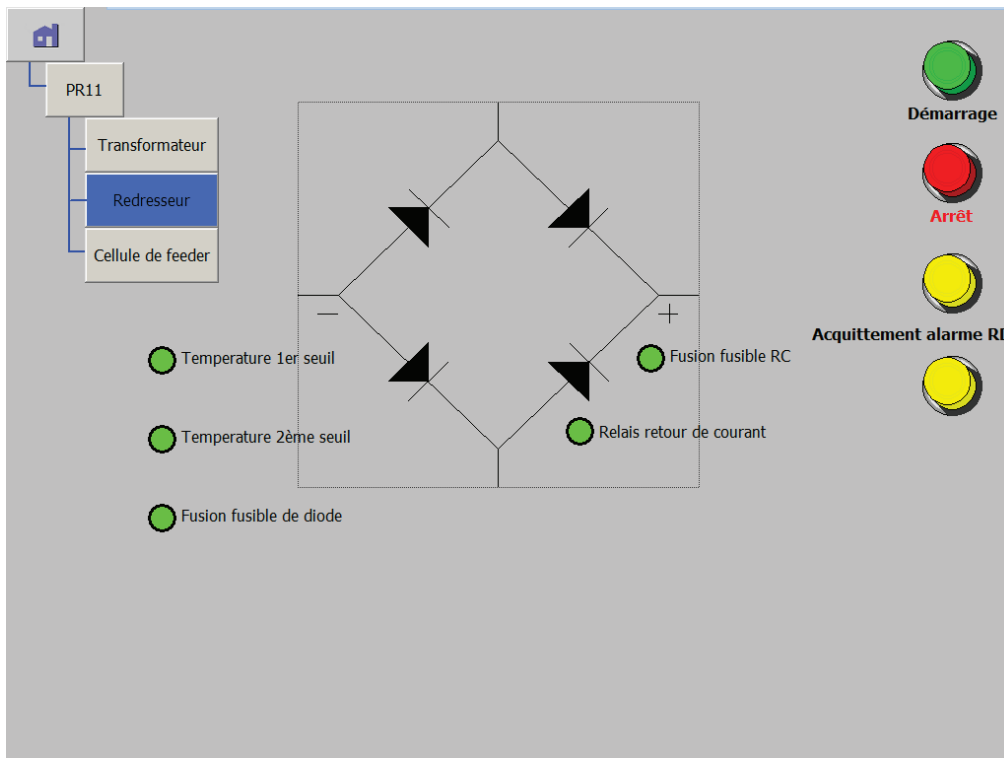


Figure (V.8) : Vue\_4 (Redresseur)

- Vue\_5 : Cellule de Feeder, c'est la dernière vue de notre application, elle permet de visualiser l'état de la cellule de feeder, ainsi que les alarmes des tests de ligne EDL et DDL. Et comme toutes les autres vues elle a tous les boutons de navigation et de commande.

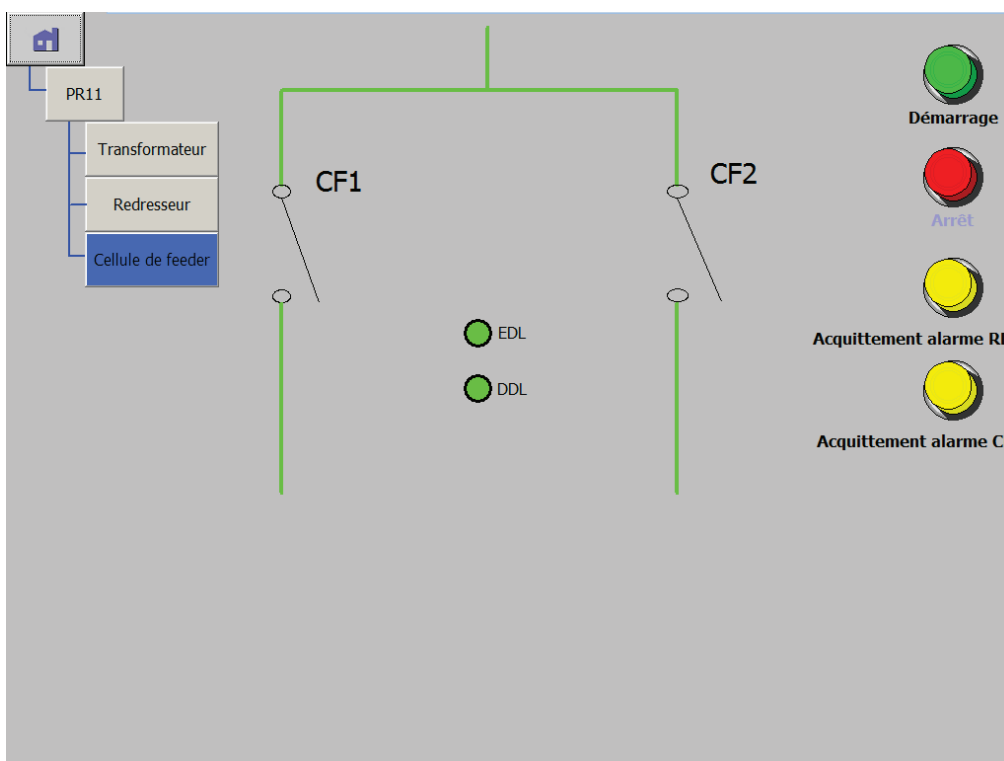


Figure (V.9) : Vue\_5 (Cellule de feeder).

## Conclusion

La supervision et le contrôle-commande permettent à l'opérateur une exploitation plus facile des systèmes automatisés les plus complexes, et ce grâce aux interfaces hommes machines (IHM) qui permettent une sorte de communication entre l'homme et la machine.

Cette dernière nous a permis de suivre en temps réel le fonctionnement et la commande de notre poste de redressement à partir du pupitre de WinCC flexible 2008 pendant la simulation, et grâce au WinCC nous avons pu facilement développer des vues illustratives de notre poste de redressement en marche ainsi que la visualisation des principales alertes ou alarmes.

Conclusion

générale

# Conclusion générale

## Conclusion générale

Notre stage au sein de l'entreprise du métro d'Alger (EMA) nous a permis de réaliser notre projet de fin d'étude qui consiste à développer une solution programmable sur un automate SIMATIC de type S7-300 pour contrôler le fonctionnement du poste de redressement N°11 de l'extension B de la ligne 1 du métro d'Alger.

Ce stage d'une durée conséquente (plus de six mois) nous a beaucoup apporté en termes de connaissance pratique, ça achèvera ainsi notre formation de Master professionnel. Cela nous permettra une transition facile au domaine professionnel.

Après avoir pris connaissance de tous les systèmes du métro d'Alger, nous avons choisi la transformation et le redressement de l'énergie électrique qui sert à la traction des rames de métro.

Grâce à sa représentation graphique simple, la modélisation à base de réseaux de Petri est le meilleur outil d'évaluation de performance pour ce système automatisé.

Pour la programmation du modèle que nous avons développée nous nous sommes basés sur l'outil S7-HiGraph qui permet l'implémentation de programme à base de réseaux de Petri sur automate programmable industrielle de type S7-300/400.

L'utilisation de l'interface homme machine que nous avons créée aidera l'opérateur pour une exploitation simple du système.

Nous espérons que notre travail servira comme guide pour tous les projets d'automatisation utilisant le S7-HiGraph.

# Bibliographie

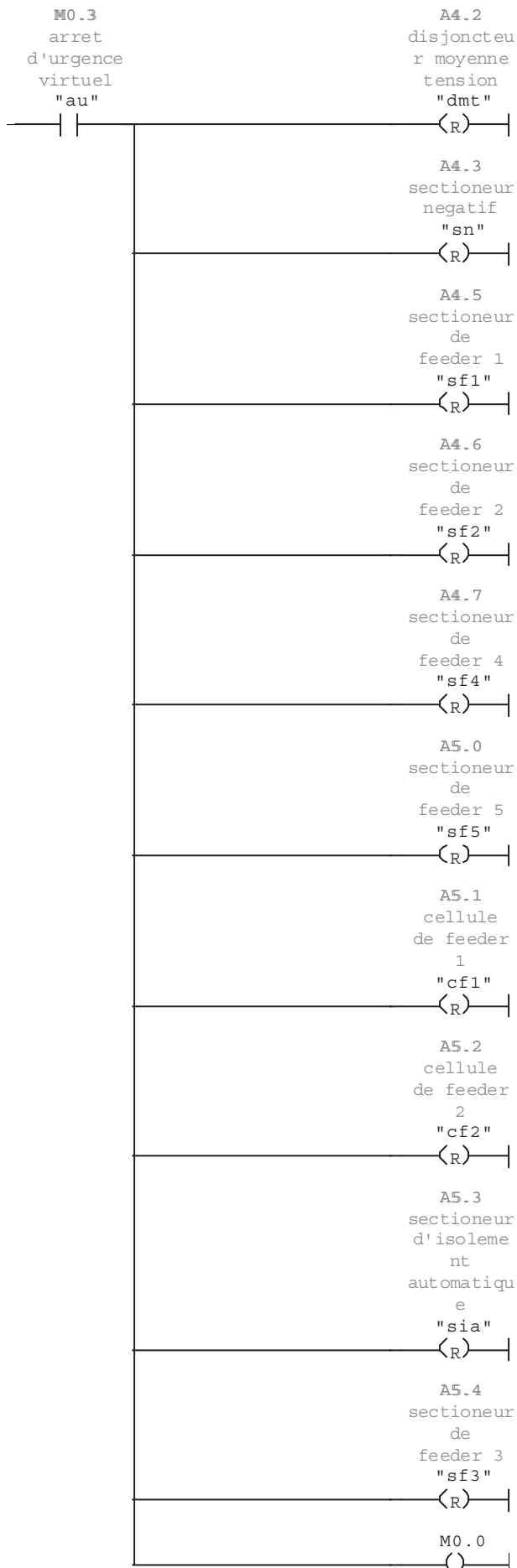
# Bibliographie

- [1] : Documentation technique de **l'entreprise métro d'Alger (EMA)**.
- [2] : Documentation technique SIEMENS, SIMATIC S7-HiGraph pour S7-300/400, 01/2000 C79000-G7077-C527, 1ère édition.
- [3] : Documentation technique SIEMENS, SIMATIC S7-HiGraph V5.3, Edition 10/2004.
- [4] : R, David ; H, Alla. Livre. « Du grafctet aux réseaux de Petri », 2ème édition, édition HERMES, 1997, Paris.
- [5]: F, OuldMohammed; O, Ouadjer.Mémoier. « Matérialisation d'une commande pour un atelier à contraintes de temps de séjour ».2013.
- [6] : C.Mazari; B.Remli. Mémoire. « Développement d'une solution de commande et de supervision avec diagnostic de défaillance d'une cintreuse tubes ». 2009
- [7] : H.Rahem; M.Zidane. Mémoire. « Conception et développement d'une solution de commande et de supervision à base d'un API S7-300 pour une soudeuse de condenseurs à l'EMNIEM. 2007.
- [8] : Documentation technique SIEMENS, SIMATIC, WinCC flexible.

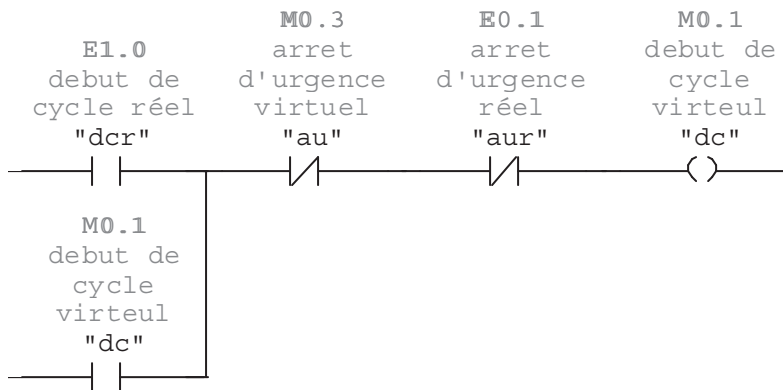
# Annexe



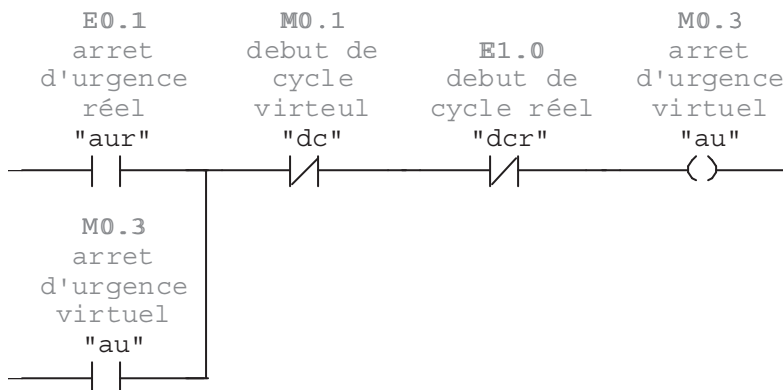
## Réseau : 2      Arrêt d'urgence



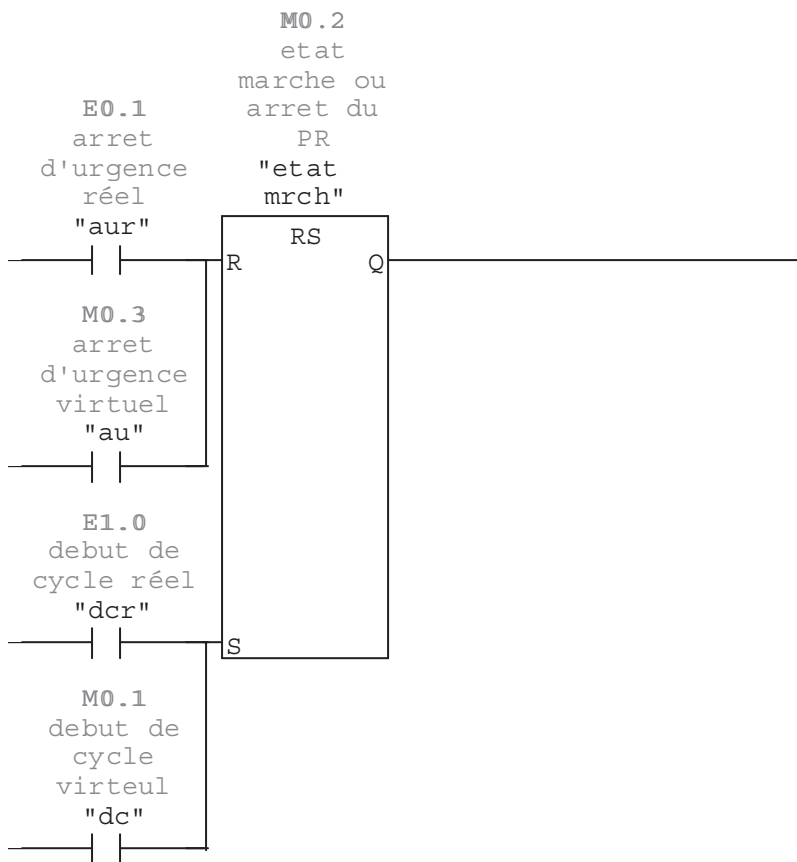
Réseau : 3      Bouton de debut cycle (Pour WinCC)



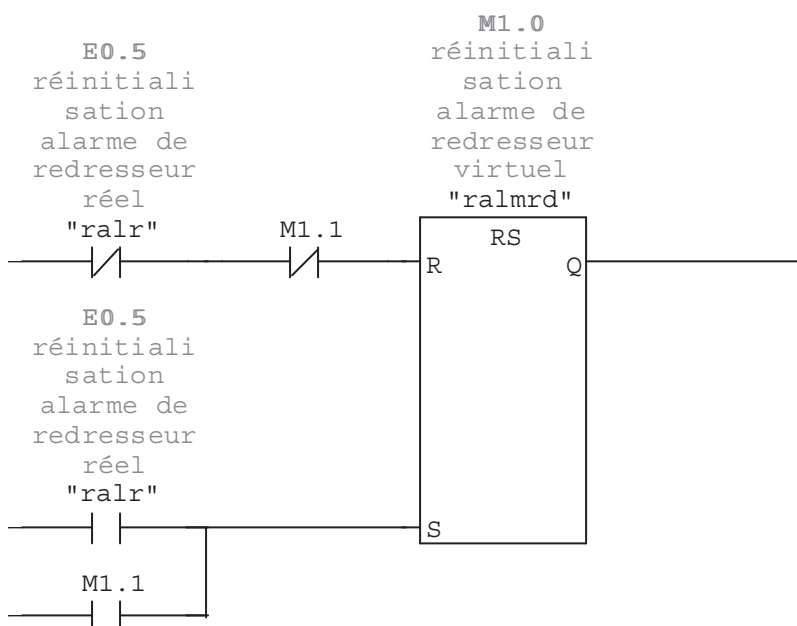
Réseau : 4      Bouton de arret d'urgence (Pour WinCC)



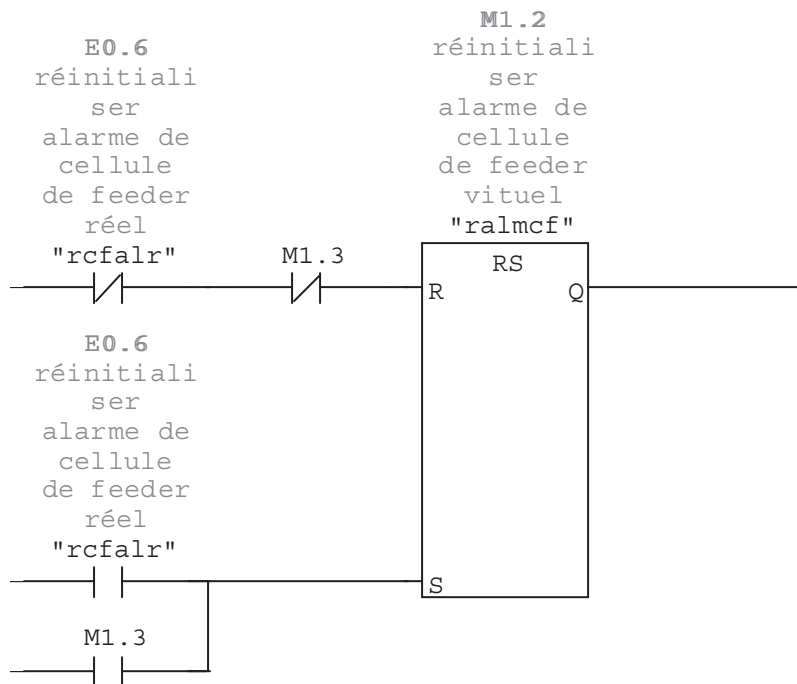
Réseau : 5      Etat marche/arrêt du PR11



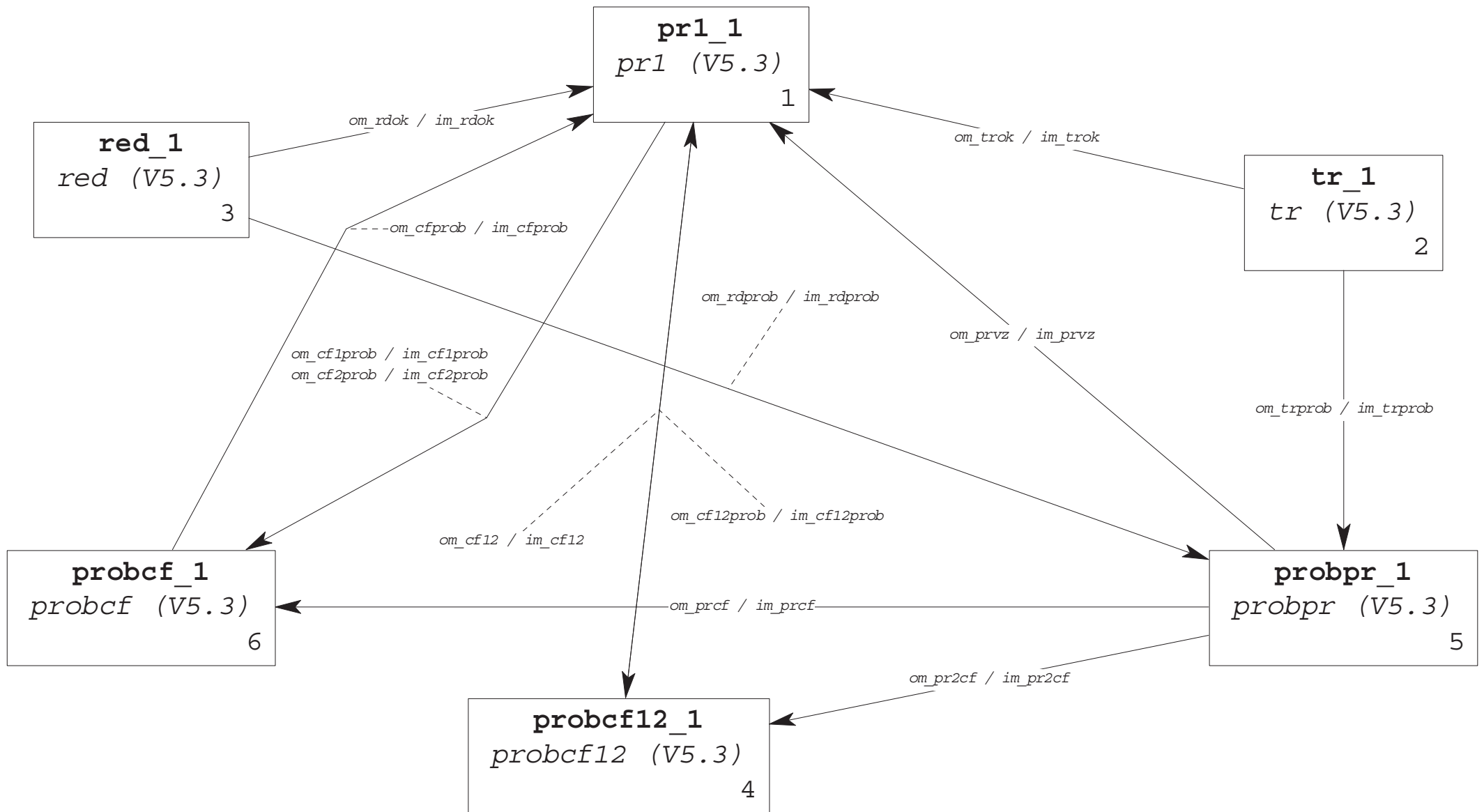
Réseau : 6      Bouton de réinitialisation alarme de redresseur (Pour WinCC)

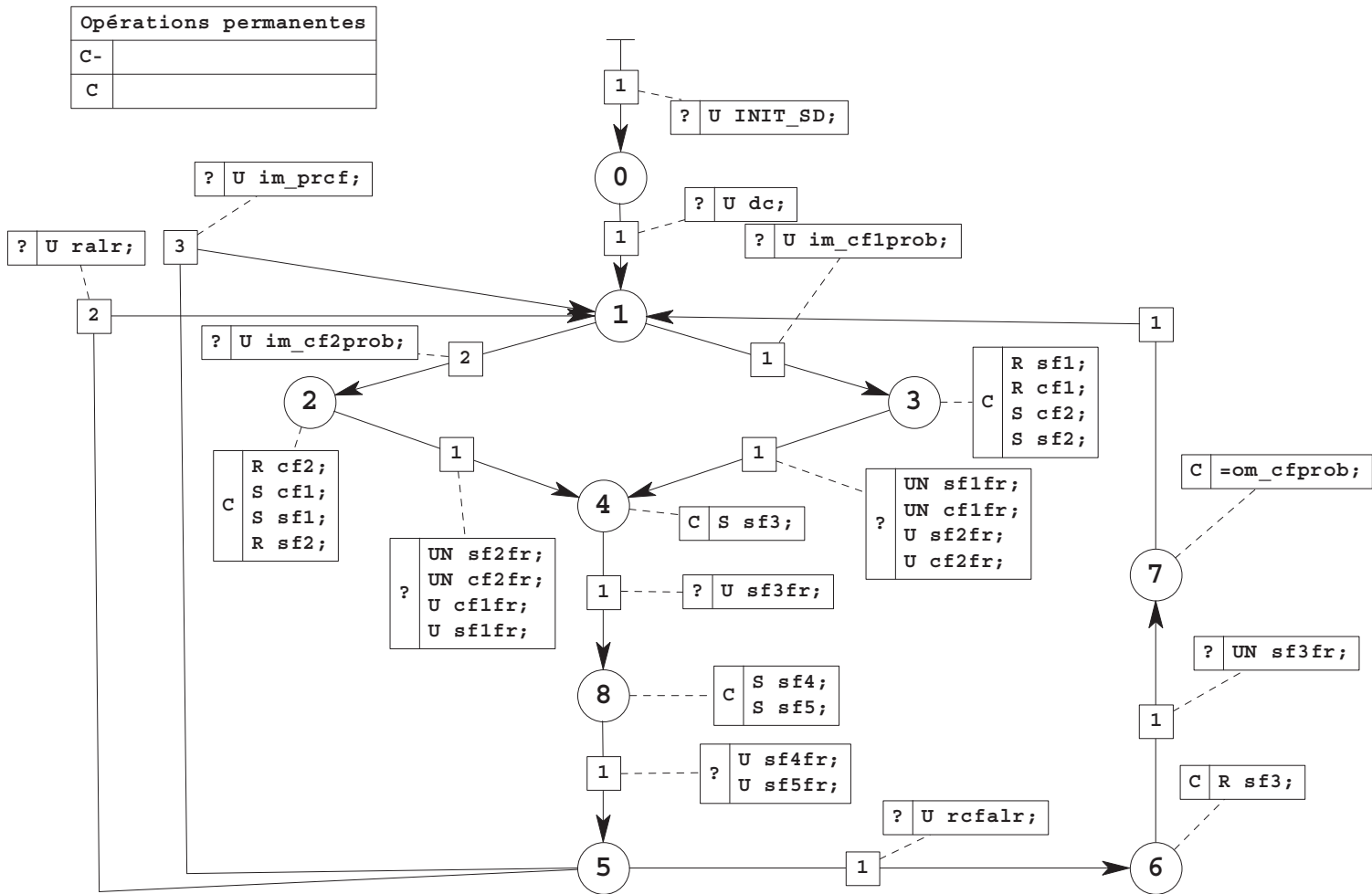


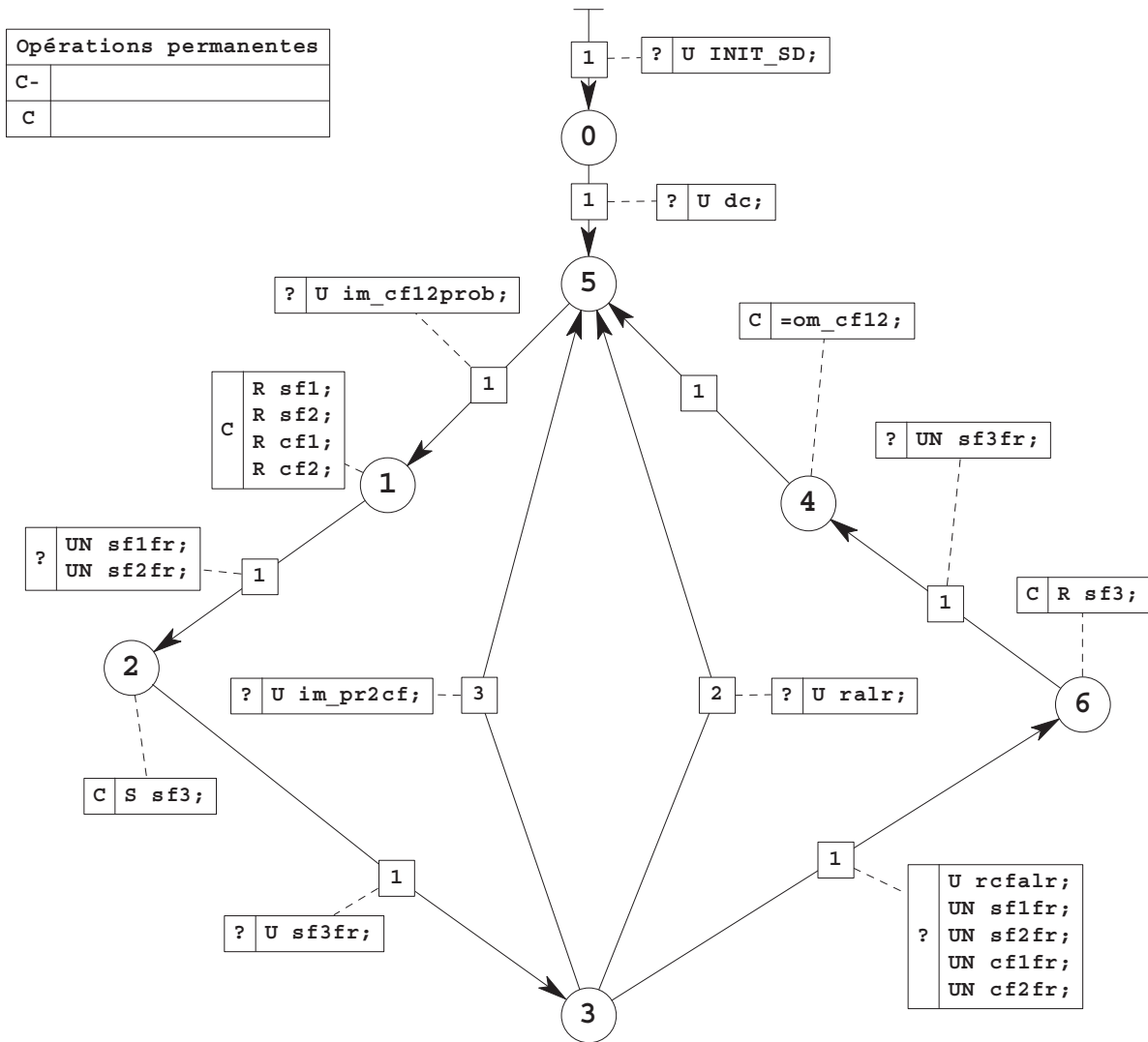
Réseau : 7      Bouton de reinitialisation alarme CF (Pour WinCC)



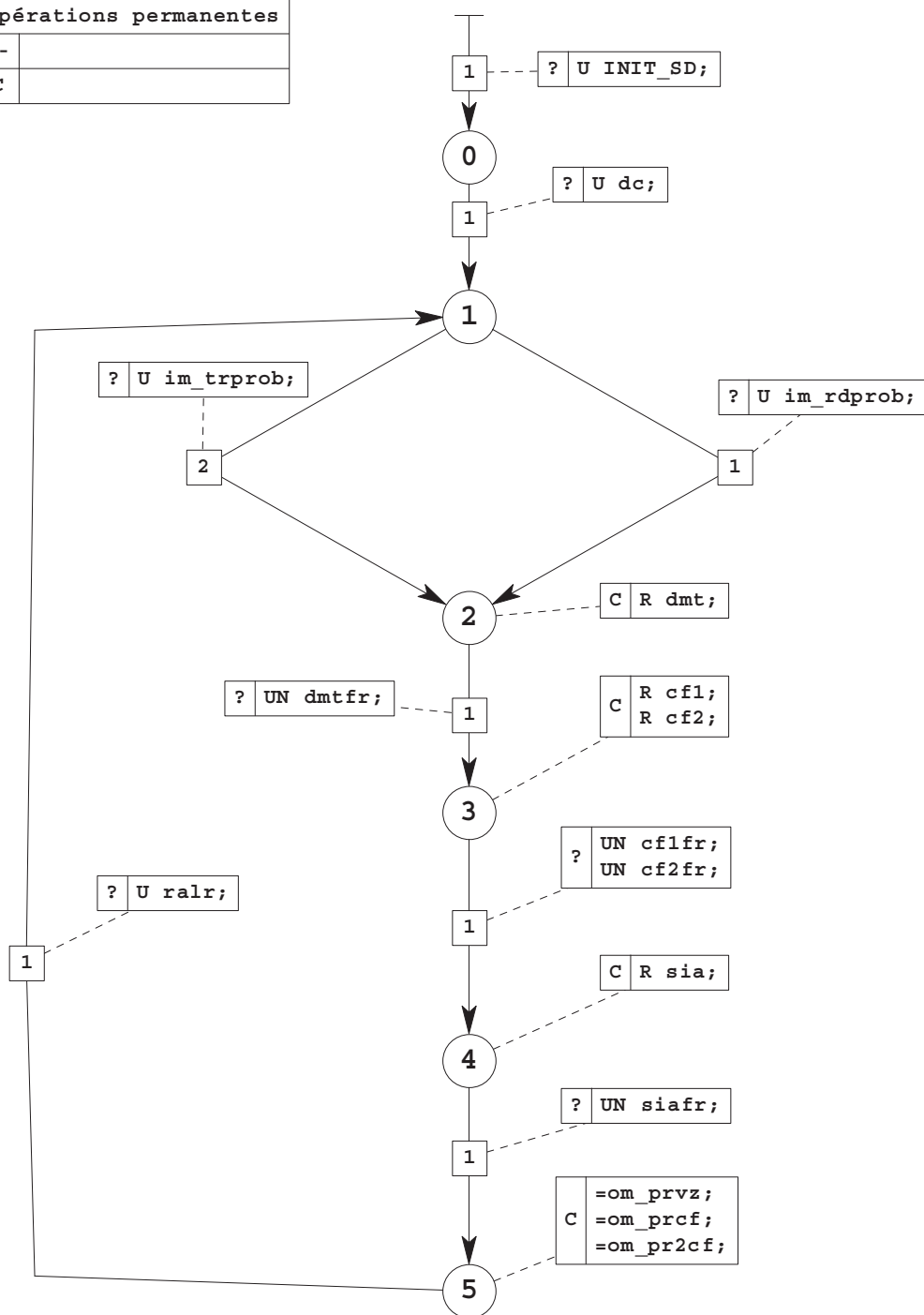








Opérations permanentes	
C-	
C	





Opérations permanentes	
C-	
C	

