

© Copyright 2010 tv <tvaira@free.fr>

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License,

Version 1.1 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, with no Front-Cover Texts, and with no Back-Cover.

☞ can obtain a copy of the GNU General Public License : write to the Free Software Foundation, Inc., 59 Temple Place, Suite 330, Boston, MA 02111-1307 USA

---

## SOMMAIRE

---

Systeme d'Exploitation du Tramway.....	3
Introduction.....	3
Borne d'Information Voyageur (BIV).....	6
Étude de l'interconnexion des BIV.....	7
Analyse des trames de commande des BIV.....	9
Réseaux Multi Service (RMS).....	13
Ethernet industriel.....	14
Étude de la volumétrie.....	16
Câblage - choix du support.....	17

## SYSTÈME D'EXPLOITATION DU TRAMWAY

### Introduction

Le Système d'Exploitation du Tramway d'une grande ville française est constitué de nombreux sous-systèmes. Ceux qui font l'objet de cette étude sont :

- le SAEIV constitué par le Système d'Aide à l'Exploitation (SAE) et le Système d'Information Voyageur (SIV) ;
- le Réseau Multi Service (RMS).

Le Système d'Aide à l'Exploitation (SAE) désigne globalement un SAE Temps Différé (SAE-TD) et un SAE Temps réel (SAE-TR). C'est un système informatique implanté au Poste de Commande Centralisé (PCC), en liaison avec les Systèmes d'Exploitation Embarqués (SEE) des tramways et Systèmes d'Information Station (SIV Station) des stations.

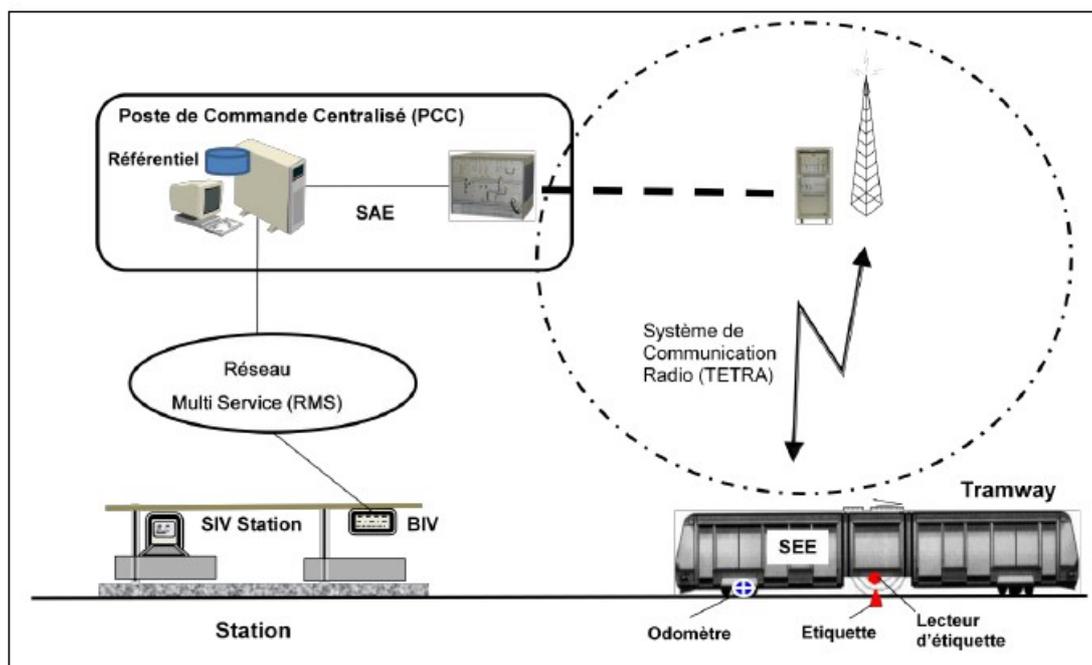


Figure 1 : Organisation du SAEIV et du RMS

Le SAE assiste le personnel exploitant (opérateurs du PCC et conducteurs) dans ses principales missions d'exploitation du réseau de tramway.

Le Système d'Information Voyageur (SIV) désigne de façon commode les moyens d'information à destination des voyageurs en station et à bord des tramways.

Le SIV est composé :

- du Système d'Information Voyageur Station (SIV Station) qui gère les Bornes d'Information Voyageur (BIV) de chaque station ;
- du Système d'Information Voyageur Tramway (SIV Tramway) qui gère l'information des voyageurs à bord des tramways.

Pour l'information des voyageurs aux stations, le serveur de communication SCOM dialogue avec les Bornes d'Information Voyageur (BIV) des stations au travers d'un réseau TCP/IP pour transmettre les messages à diffuser dans chaque station.

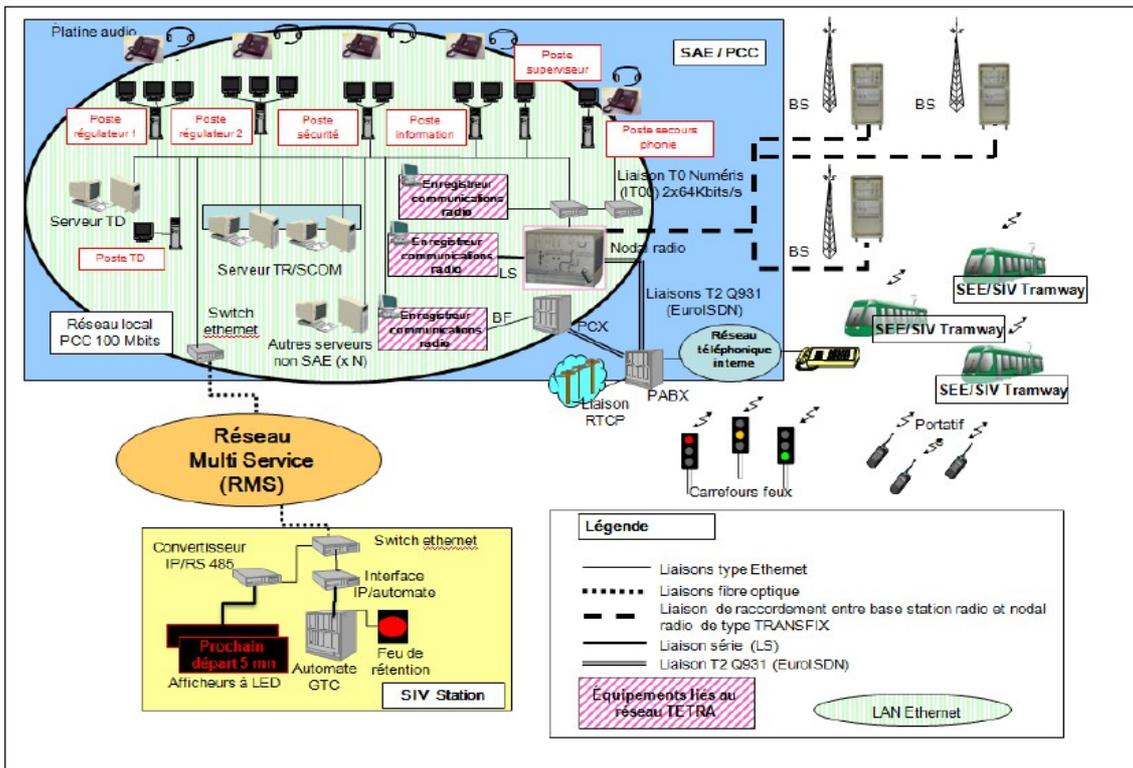
Le Poste de Commande Centralisé (PCC) est composé :

- d'un système d'aide à l'exploitation en Temps Réel (SAE-TR) en relation avec le Système d'Exploitation Embarqué (SEE) de chaque rame ;
- d'un système d'aide à l'exploitation en Temps Différé (SAE-TD) en relation avec le Système d'Information Station (SIV Station) de chaque station de voyageurs ;
- d'un Système de COMmunication (SCOM) qui dialogue avec les Bornes d'Information Voyageur (BIV) du SIV d'une station ;
- d'un Système Radio Numérique (TETRA) qui permet de dialoguer avec le Système d'Exploitation Embarqué (SEE) de chaque rame de tramway.

Le Système d'Exploitation Embarqué (SEE) est composé :

- pour chacune des deux loges d'une rame :
  - d'une Unité Centrale Embarquée (UCE) qui intègre un écran/clavier ;
  - d'un Tiroir de Phonie Embarqué (TPE) ;
  - d'un contrôleur de feux qui permet de demander le passage au rouge des feux de signalisation des carrefours ;
- pour l'ensemble de la rame, d'un Système d'Information Voyageurs Tramway (SIV Tramway) formé :
  - d'un annonceur vocal ;
  - de divers dispositifs d'affichage de messages pour les utilisateurs.

Les informations fournies portent principalement sur les destinations, les arrêts desservis par les rames, et les temps d'attente en station voyageur. La gestion du SIV est effectuée depuis le PCC. Cette gestion centrale dialogue avec des équipements informatiques en station via le Réseau Multi Service (RMS) essentiellement constitué d'un réseau filaire de communications TCP/IP et avec les équipements embarqués à bord des rames via le réseau radio numérique.



Architecture générale du Système d'Aide à l'Exploitation et d'Information des voyageurs (SAEIV)

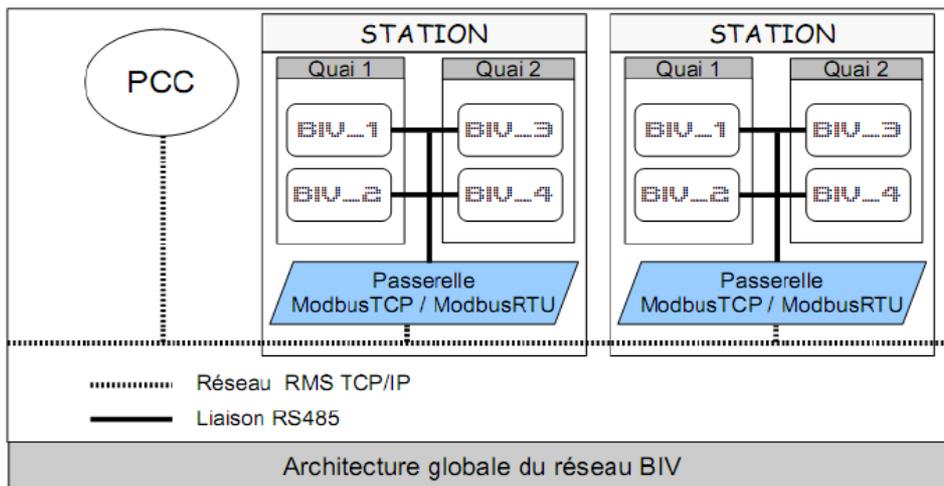


Figure 8 : Architecture globale du réseau SIV Station

## Borne d'Information Voyageur (BIV)

Le Système d'Information Voyageurs en Station (SIV Station) repose sur les Bornes d'Information Voyageur (BIV). Le système central du SIV au PCC réalise les fonctions :

- de dialogue avec les équipements informatiques des BIV en stations via le réseau TCP/IP ;
- d'affichage de messages à destination des voyageurs.

Le sous-système Borne d'Information Voyageur (BIV) est un des composants du Système d'Information Voyageurs (SIV).

Il est installé dans chaque station constituant les points d'arrêts du réseau de tramway. Sa fonction principale est de renseigner l'utilisateur sur les conditions de desserte des véhicules.

En pratique, les informations diffusées sont la destination, le temps d'attente pour le prochain tramway, l'heure et des informations commerciales du réseau.

Chaque quai de station est équipé de deux afficheurs permettant l'affichage de 4 lignes de 40 caractères, de hauteur 33 mm. La hauteur des caractères et le réglage de la luminosité permettent une bonne lisibilité de jour comme de nuit à une distance de 20 mètres environ.

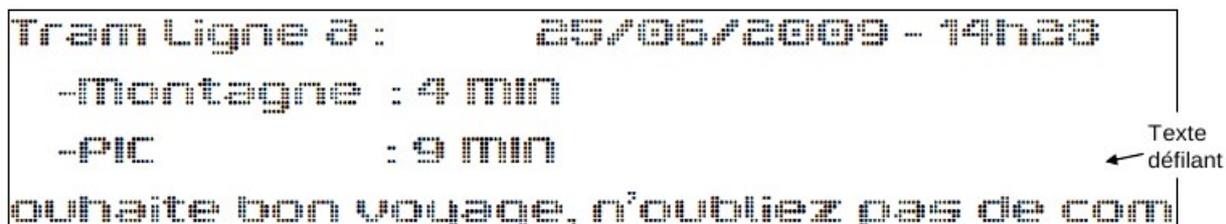


Figure 3 : Exemple d'affichage

Le pilotage des BIV s'effectue depuis un poste opérateur situé dans la salle du Poste de Commande Centralisé (PCC). L'information transite ainsi depuis le sous-système SAE-TR jusqu'aux BIV via le serveur de communication (SCOM), et le réseau multiservice (RMS).

En station, elle est restituée aux BIV à travers une passerelle ModBusTCP / ModBusRTU avec une liaison série RS485.

En cas de rupture de liaison avec le serveur central, une situation de repli permet d'afficher un message fixe et configurable.

## Étude de l'interconnexion des BIV

Documents à consulter : « Annexe 7 : Afficheur SX502 », « Annexe 8 : Modbus ».

Les messages à afficher sur les BIV sont élaborés depuis le Poste de Commande Centralisé et envoyés aux BIV sous forme de trame modbusTCP via le réseau RMS. Des passerelles ModbusTCP / Modbus RTU relaient ces messages aux BIV.

Le modèle des passerelles est : UDS1100IAP de la société Lantronix.

Le modèle des BIV est : SX502 de la société SIEBERT.

- 1) Donner le nombre et le type d'interfaces séries présentes sur les BIV (Voir Annexe 7).**
- 

- 2) Compléter le tableau comparant les trois liaisons RS-232, RS-485 et RS-422.**
- 

Liaisons	Topologie		Mode		Distance	
	Point à point	Multipoint	Différentiel	Unipolaire	< 100 m	> 1000 m
RS-232						
RS-422						
RS-485						

- 3) Justifier l'utilisation de la RS485 pour le raccordement des BIV.**
-

Les BIV sont interconnectés à la passerelle ModbusTCP/ModbusRTU (UDS1100IAP) par une liaison RS485 deux fils.

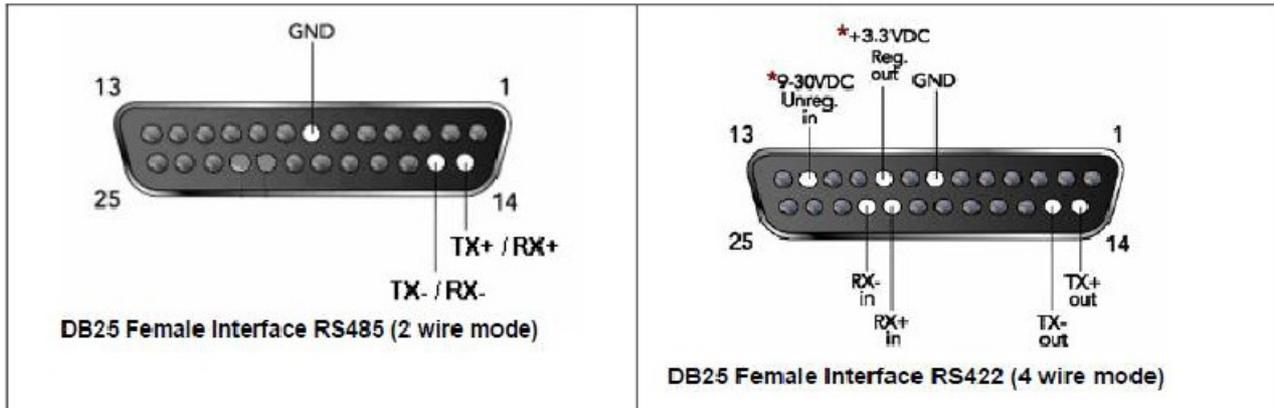
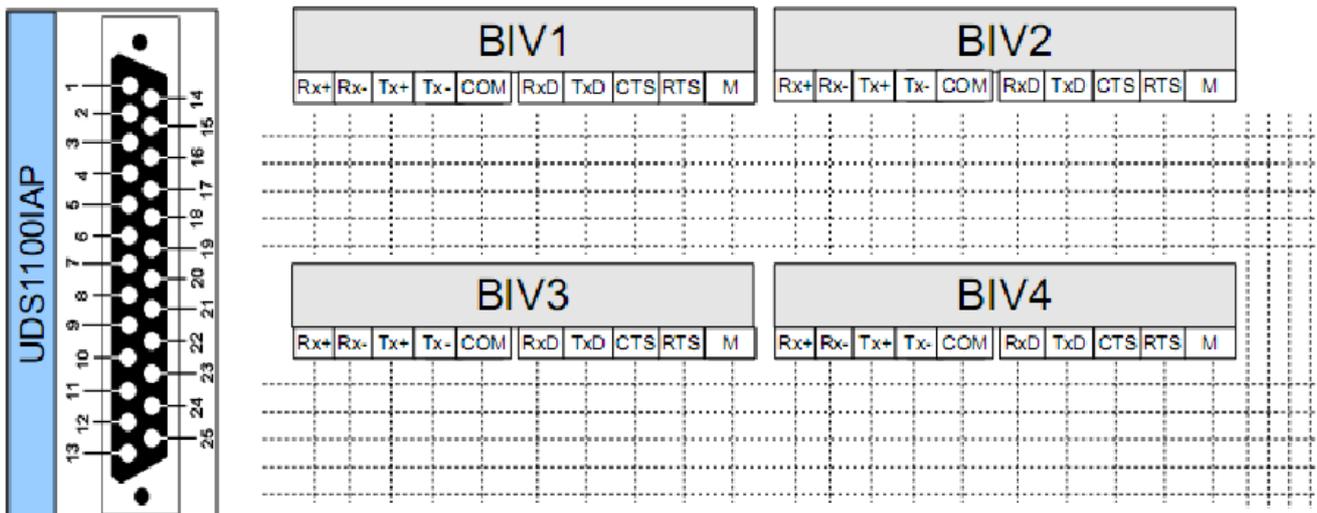


Figure 9 : Brochage du DB25 de la passerelle UDS1100IAP

4) Compléter sur le schéma du document réponse l'interconnexion des BIV et de cette passerelle.



## Analyse des trames de commande des BIV

5) Quel est le principe de l'arbitrage maître / esclave utilisé par Modbus ?

---

6) La passerelle ModbusTCP / ModbusRTU est-elle maître ou bien esclave sur le réseau RS485 des BIV (justifiez votre réponse) ?

---

**7) Indiquer sur quel réseau cette trame a été capturée.**

Source	Destination	Protocol	Info
10.98.0.254	10.98.0.3	Modbus/TCP	query [ 1 pkt(s)]: trans:1; unit: 5, func: 16: Write Multiple Registers.
Ethernet II, Src: (00:16:d3:64:8e:14), Dst: (00:20:4a:b2:38:6c)			
Internet Protocol, Src: (10.98.0.254), Dst: (10.98.0.3)			
Transmission Control Protocol, Src Port: (30261), Dst Port: (502), Seq: 0, Ack: 0, Len: 65			
Modbus/TCP			
transaction identifier: 1			
protocol identifier: 0			
length: 59			
unit identifier: 5			
Modbus			
function 16: Write Multiple Registers			
reference number: 0			
word count: 26			
byte count: 52			
Data			
00 20 4a b2 38 6c 00 16 d3 64 8e 14 08 00 45 00	. J.8l...d....E.		
00 69 26 56 40 00 80 06 be 74 0a 62 00 fe 0a 62	.i&V@....t.b...b		
00 03 76 35 01 f6 87 5a 7a 9b 04 2d 9a b8 50 18	..v5...Zz...-..P.		
ff ff 16 20 00 00 00 01 00 00 00 00 3b 05 10 00 00	... ..../....		
00 1a 34 24 46 31 24 4d 31 24 4c 30 34 49 6e 66	..4\$F1\$M1\$L04Inf		
6f 72 6d 61 74 69 6f 6e 20 76 6f 79 61 67 65 75	ormation voyageu		
72 20 3a 20 6c 69 67 6e 65 20 43 20 65 6e 20 70	r : ligne C en p		
61 6e 6e 65 24 46 30	anne\$F0		
----- ModbusTCP			
---- Modbus			

*Tableau 2: Capture d'une trame Modbus TCP*

**8) Quel est le code fonction Modbus utilisé pour piloter l'afficheur (Annexe7) ? Donner sa signification.**

9) Quels sont les noms des champs de la requête Modbus associés à ce code fonction (Annexe 8) ?

---

10) Donner la commande à envoyer à l'afficheur permettant l'affichage de la 3<sup>ème</sup> ligne de l'exemple Figure 10 (Annexe 7)

---

```
Tram Ligne 2 :      25/06/2009 - 14h28  
-Montagne : 4 MIN  
-PIC           : 9 MIN  
ouhaite bon voyage, n'oubliez pas de com
```

Figure 10 : Exemple d'affichage

Sur la capture de la trame Modbus TCP (Tableau 2), la partie Modbus TCP est soulignée en trait plein et la partie Modbus en trait pointillé.

Analyse de l'entête MBAP Header la trame Modbus TCP du tableau 2 :

11) Trouver et donner dans l'entête ModbusTCP (MBAP Header, Annexe 8) le nom du champ qui contient l'adresse Modbus de l'afficheur.

---

12) Donner l'adresse Modbus de l'afficheur qui va recevoir cette trame.

---



## Réseaux Multi Service (RMS)

Le réseau multiservice est chargé d'acheminer divers flux réseaux, notamment :

- Téléphonie et interphonie
- Vidéosurveillance
- Information voyageurs
- Liaison entre PCC et automates (signalisation ferroviaire, énergie)
- GTC (gestion technique centralisée)
- Billettique

Le réseau multiservices (RMS) est basé sur une technologie de liaison de type Ethernet industriel.

Le câblage est organisé physiquement en boucles ou anneaux redondants. Au niveau logique, les boucles sont éliminées par un protocole de gestion de la redondance (hiper-ring).

Chaque station est équipée d'un commutateur (switch) Ethernet industriel.

Les équipements sont répartis dans plusieurs VLANs Ethernet, chacun des VLANs étant associé à un sous-réseau IP.

L'ensemble des sous-réseaux IP est découpé dans le bloc d'adresses privées 10.0.0.0/8.

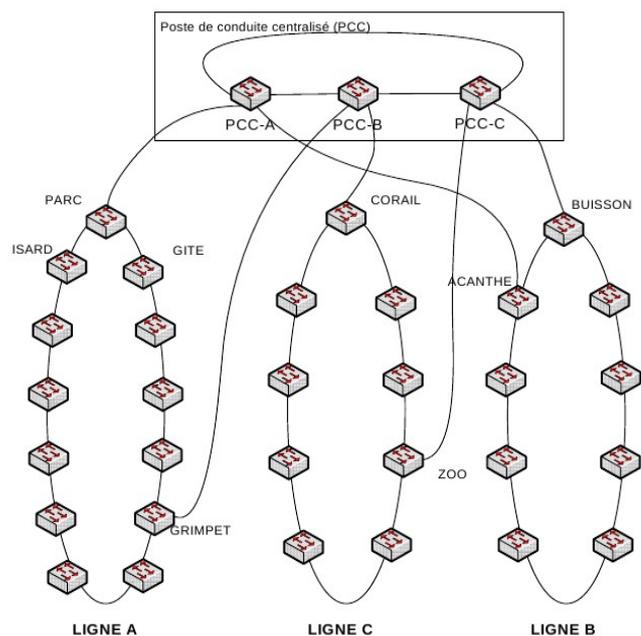


Figure 11 : Câblage du réseau multiservice

## ***Ethernet industriel***

Document à consulter : « Annexe 9 : Réseau Multi Service (RMS) »

Ethernet industriel est une application de l'Ethernet commuté adapté aux exigences des applications industrielles. La première exigence est le déterminisme. Deux facteurs permettent de respecter l'exigence de déterminisme :

- l'abandon de la méthode d'accès CSMA/CD, au profit d'une autre méthode d'accès (full-duplex avec mécanisme de contrôle de flux en cas d'engorgement des tampons des commutateurs).
- la maîtrise du débit de données à la source, c'est à dire des débits de données émis par les différentes stations afin d'éviter l'engorgement du réseau.

**16) Avec la méthode CSMA/CD, peut-on garantir le temps d'accès au support et le délai d'émission complète d'une trame ? Justifier la réponse.**

---

Une deuxième exigence des réseaux industriels est la tolérance aux pannes d'équipements ou aux coupures de liaisons. Le réseau multiservices du tramway utilise des liaisons Ethernet redondantes afin d'assurer la continuité du service en cas de défaillance d'une liaison ou d'un équipement.

En fonctionnement normal, les liaisons redondantes sont désactivées de façon éliminer les boucles, lesquelles sont incompatibles avec la topologie d'un réseau Ethernet commuté.

Si une liaison est accidentellement interrompue ou qu'un équipement devient hors service, une liaison redondante est automatiquement réactivée pour rétablir le chemin manquant.

**17) Quelle est la topologie physique d'un réseau Ethernet sur câble coaxial ?**

---

**18) Quelle est la topologie physique d'un réseau Ethernet sur paires torsadées et fibres optiques, comportant plusieurs commutateurs ?**

---

Sur le schéma de câblage ci-dessous du réseau multiservice :

**19) Marquer d'une croix (X) les liaisons redondantes à désactiver en fonctionnement normal (la topologie résultante doit être compatible avec un réseau Ethernet commuté normal).**

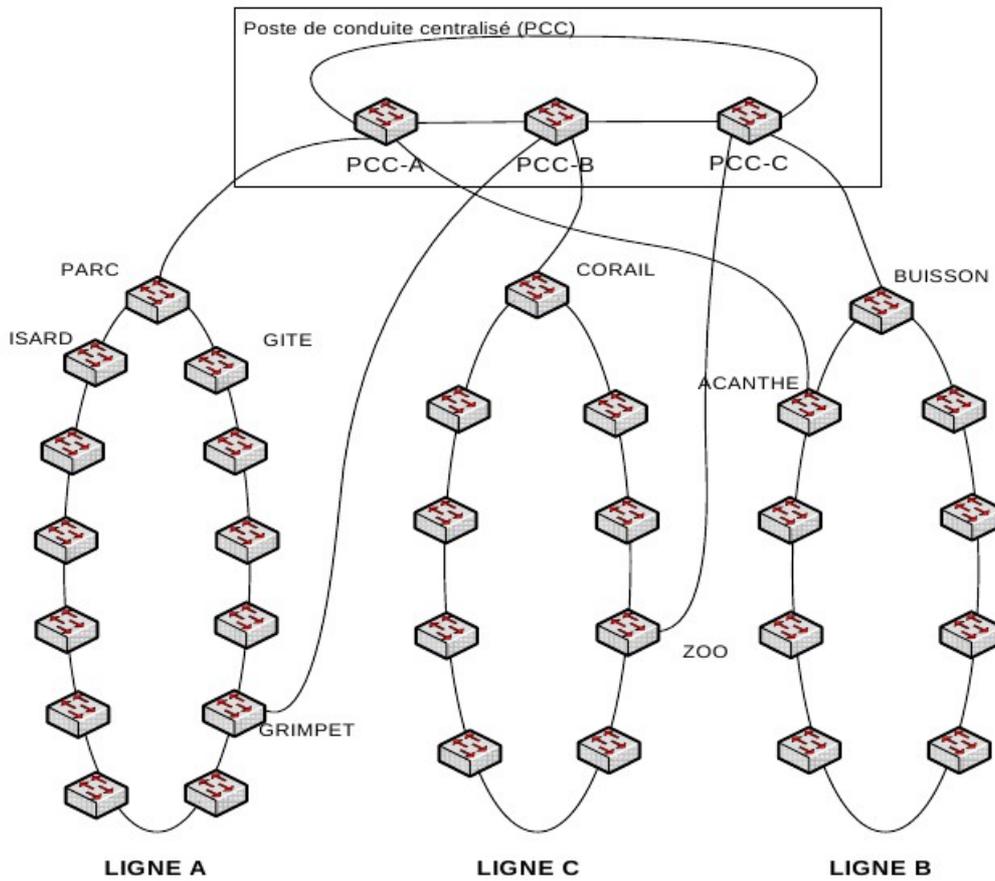


Figure 11 : Câblage du réseau multiservice

*Remarque : il peut être utile de repasser les liaisons conservées au surligneur. Vous vérifierez ainsi que la topologie résultante est correcte.*

**20) Indiquer le nombre total de liaisons désactivées.**

Nombre de liaisons désactivées en fonctionnement normal :

## Étude de la volumétrie

Chaque station de tramway génère des flux entrants et sortants impliquant des besoins en bande passante réseau.

Le besoin en bande passante est le rapport de la quantité de bits occupés (en émission ou en réception sur le support de transmission) sur la période de référence. La période de référence est ici de 1 seconde.

Les communications téléphoniques et les messages de sonorisation sont transportés par le réseau multiservice en utilisant la technologie de Voix sur IP (VoIP).

En VoIP, le signal sonore est numérisé et traité par un CODEC. Les échantillons issus du CODEC sont regroupés en paquets, et les paquets sont transmis périodiquement (toutes les 10 à 30ms selon la configuration choisie) via le protocole RTP (realtime transport protocol).

On cherche à déterminer le besoin en bande passante Ethernet selon le CODEC utilisé.

Pour cela, il est nécessaire de calculer le nombre total de bits occupés sur le support de transmission. Cela comprend les bits d'information transmis mais aussi le préambule et la période de silence imposée entre 2 trames (IFG = InterFrame Gap).

**21) En se reportant à « Annexe 9 : Réseau Multi Service (RMS) », Compléter le tableau :**

CODEC	Taille de la trame complète avec préambule et IFG (en bits)	Nombre de trames par seconde	Bande passante Ethernet (en bits/s)
G.711 (PCM)			
G.729a (CS-CELP)			

Chaque station est équipée de 4 à 6 caméras de vidéosurveillance. Ces caméras sont des caméras IP qui encodent le flux vidéo avec un codec H264. Chaque caméra produit sur sa sortie Ethernet un flux sortant de 250kbits/s. Le flux entrant d'une caméra, pour les données de contrôle, est de 10kbit/s.

Un serveur d'enregistrement vidéo, situé au PCC, reçoit les flux vidéo de l'ensemble des caméras. Le serveur d'enregistrement est raccordé au réseau par une liaison Ethernet 100BASE-TX full duplex.

Pour conserver une marge de sécurité, on limite le débit maximal exploitable à 75% du débit nominal de liaison.

**22) Combien de caméras cette liaison permet-elle de traiter au maximum (détailler le calcul) ?**

---

On envisage de diffuser une chaîne de TV dédiée « TV TRAM» sur une trentaine de bornes situées aux points d'attente en stations. Cette chaîne serait diffusée en protocole RTSP (realtime streaming protocol) sur une adresse IP multicast.

**23) Justifier le choix du multicast par rapport à l'unicast pour cette application.**

---

### *Câblage - choix du support*

Choisir les types de câbles et les normes Ethernet adaptés à chaque liaison.

Liaison	Longueur	Besoin en bande passante	Câble	Norme Ethernet	Débit nominal
BUISSON - ACANTHE	950m	10Mbit/s			
PARC - PCC-A	1500m	30Mbit/s			
GRIMPET - PCC-C	8km	30Mbit/s			
PCC-A – PCC-B	10m	60Mbit/s			
Switch station – caméra IP	50m	300kbit/s			