

## ***Mastère Spécialisé en Télécommunications***

En collaboration avec



# **PROJET PROFESSIONNEL**

## **ETUDE DU RESEAU DE TELECONDUITE DES RESEAUX DE DISTRIBUTION BCC**

Par

**OUNIS TAIEB**

Ingénieur en Génie électrique de L'ENIT

Encadré par

- **ALSTOM : M. PHILIPPE TORDJMAN**
- **STEG : M. MOULDI HANNACHI**
- **SUP'COM : M. LARBI BELHAJ SLAMA**

Projet réalisé en collaboration avec



Année universitaire 2001/2002

# Remerciements

Je remercie vivement

**Monsieur PHILIPPE TORDJMAN**, Marketing Manager, qui a dirigé ce projet et qui m'a fait l'honneur de s'intéresser à ce travail, pour la disponibilité qu'il a toujours manifestée à mon égard.

j'exprime également ma reconnaissance à **Monsieur OLIVIER RUIZ**, **Monsieur FRANK DUBOIS**, **Monsieur STEVE LOUIS-PHILIPPE**, **Madame CHRISTINE DREAN** et tout le **Personnel d'ALSTOM LEPECQ** avec lequel j'ai fait connaissance au cours de mon stage. Je les remercie tous pour leur chaleureux accueil et leur collaboration dans la réalisation de ce travail .

Pour son aide précieuse et sa disponibilité remarquable, je remercie **Monsieur MOULDI HANNACHI**, mon encadreur à la STEG pour ses conseils et pour l'aide qu'il m'a apporté durant ce stage.

Tous mes remerciements s'adressent aussi à **Monsieur LAARBI BELHAJ SLAMA**, mon encadreur à Sup'COM et à **Monsieur ABDELWAHEB OTHMANI**.

Au nom de toute la promotion DESS, sincères remerciements aux responsables Sup'com-STEG pour leur grande contribution à la réussite de ce cycle de DESS.

Qu'ils trouvent ici l'expression de mes sincères remerciements.

# Table des matières

<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>5</b>
LA SOCIETE ALSTOM	5
PRESENTATION DU PROJET	5
LE RESEAU DE DISTRIBUTION	6
 <b>CHAPITRE I : LE SYSTEME SCADA</b>	 <b>11</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>12</b>
<b>FONCTION D'UN BUREAU CENTRAL DE CONDUITE (BCC)</b>	<b>12</b>
ARCHITECTURE D'UN BCC	12
LE SYSTEME SCADA	13
I. L'environnement SCADA	14
I.1 Les opérations de supervision et contrôle	14
I.2 Acquisition de données	15
I.3 Traitement des alarmes et des évènements	15
II. La base de données historique	15
III. L'interface homme machine	16
LES LOGICIELS D'ETUDES DMS	16
<b>CONCLUSION</b>	<b>17</b>
 <b>CHAPITRE II : LES POSTES ASSERVIS</b>	 <b>18</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>19</b>
LE POSTE ASSERVI	19
I. Introduction	19
II. Les fonctions principales	19
III. Architecture matérielle :	20
IV. Traitement des informations	22
IV.1 Les informations traitées	22
a- Traitement des télésignalisations (TS)	23

b- Traitement des télémesures	24
c- Traitement des télécommandes (TC)	26
d- Traitement des télévaleur de consigne	27
<b>CONCLUSION</b>	<b>27</b>

### **CHAPITRE III : LE PROTOCOLE DE COMMUNICATION CEI 870-5-101** **28**

<b>INTRODUCTION</b>	<b>29</b>
<b>DOMAINE D'APPLICATION</b>	<b>29</b>
<b>STRUCTURE DU PROTOCOLE</b>	<b>29</b>
LA COUCHE PHYSIQUE	30
LA COUCHE LIAISON	30
I. Les services de la couche liaison	30
II. Formats de trames de transmission	31
II.1 Le champ d'adresse	32
II.2 Le caractère de contrôle	32
II.3 Le champ de commande	32
LA COUCHE APPLICATION	33
<b>ETUDE DE TEMPS DE REPONSE</b>	<b>35</b>
CALCUL DU TEMPS DE REPONSE	35
<b>CONCLUSION</b>	<b>38</b>

### **CHAPITRE IV : RESEAU DE TELECOMMUNICATION POUR UN BCC** **39**

<b>INTRODUCTION</b>	<b>40</b>
CONFIGURATION DU SYSTEME	40
ETUDE DE LA PROPAGATION	41
I. Types de propagation	41
I.1 Propagation superficielle	42
I.2 Propagation ionosphérique	42
I.3 Propagation troposphérique	42
II. Les Faisceaux Hertiens	42
II.1 Considérations générales	42
II.2 Conditions réelles de propagation	43

a- La réfraction atmosphérique	43
b- La diffraction sur des obstacles	44
c- La réflexion	44
d- Les évanouissements (fading)	45
CARACTERISTIQUES D'UNE ANTENNE	46
I.1 Antenne isotrope	46
I.2 La Directivité d'une antenne	46
I.3 Gain en puissance et rendement	47
I.4 La Puissance Isotrope Rayonnée (PIRE)	47
I.5 L'affaiblissement en espace libre	48
BILAN DE LIAISON	49
I. Les paramètres des stations	49
II. Les paramètres du milieu de transmission	50
III. Le résultat : bilan de liaison	51
IV. Application : Réseau de communication du BCC Centre	52
IV.1 Configuration du système	52
IV.2 Etude d'un exemple	54
CONCLUSION	57
CONCLUSION GENERALE	58

# Liste des figures

<b>FIGURE1 :</b>	<b>POSTE SOURCE</b>	<b>7</b>
<b>FIGURE2 :</b>	<b>ELEMENTS FONCTIONNELS D'UN BCC</b>	<b>9</b>
<b>FIGURE3 :</b>	<b>ARCHITECTURE D'UN BCC</b>	<b>13</b>
<b>FIGURE4 :</b>	<b>LE SYSTEME SCADA/DMS</b>	<b>14</b>
<b>FIGURE5 :</b>	<b>ENVIRONNEMENT D'UN POSTE ASSERVI</b>	<b>20</b>
<b>FIGURE6 :</b>	<b>ARCHITECTURE GENERALE</b>	<b>21</b>
<b>FIGURE7 :</b>	<b>ARCHITECTURE A PERFORMANCES AMELIOREES</b>	<b>29</b>
<b>FIGURE8 :</b>	<b>LA COUCHE PHYSIQUE</b>	<b>30</b>
<b>FIGURE9 :</b>	<b>SEQUENCE D'ELEMENTS D'INFORMATION</b>	<b>34</b>
<b>FIGURE10 :</b>	<b>SEQUENCE D'OBJETS D'INFORMATION</b>	<b>34</b>
<b>FIGURE11 :</b>	<b>ANALYSE DES TRAMES CENTRE-RTU</b>	<b>35</b>
<b>FIGURE12 :</b>	<b>CALCUL DES TEMPS DE REPONSE</b>	<b>36</b>
<b>FIGURE13 :</b>	<b>SCHEMA DE PRINCIPE DE L'INSTALLATION DE RADIOCOMMUNICATION DU BCC.</b>	<b>40</b>
<b>FIGURE14 :</b>	<b>SCHEMA DE PRINCIPE DE L'INSTALLATION DE RADIOCOMMUNICATION DES STATIONS.</b>	<b>41</b>
<b>FIGURE15 :</b>	<b>TYPES DE PROPAGATIONS</b>	<b>41</b>
<b>FIGURE16 :</b>	<b>RAYON DE COURBURE</b>	<b>43</b>
<b>FIGURE17 :</b>	<b>LA DIFFRACTION</b>	<b>44</b>
<b>FIGURE18 :</b>	<b>PREMIER ELLIPSOÏDE DE FRESNEL</b>	<b>44</b>
<b>FIGURE19 :</b>	<b>LA REFLEXION</b>	<b>45</b>
<b>FIGURE20 :</b>	<b>PARAMETRES D'UNE STATION</b>	<b>50</b>
<b>FIGURE21 :</b>	<b>LES PARAMETRES DU MILIEU</b>	<b>51</b>
<b>FIGURE22 :</b>	<b>BILAN DE LIAISON</b>	<b>52</b>
<b>FIGURE23 :</b>	<b>LES OUVRAGES DU BCC CENTRES</b>	<b>53</b>
<b>FIGURE24 :</b>	<b>SCHEMA SYNOPTIQUE DU RESEAU</b>	<b>54</b>
<b>FIGURE25 :</b>	<b>LIAISON BCC-POSTE SOURCE</b>	<b>54</b>
<b>FIGURE26 :</b>	<b>BILAN DE LIAISON BCC-KAIROUAN</b>	<b>55</b>
<b>FIGURE27 :</b>	<b>BILAN DE LIAISON KAIROUAN-HAFFOUZ</b>	<b>56</b>
<b>FIGURE28 :</b>	<b>BILAN DE LIAISON HAFFOUZ-OUESLETIA</b>	<b>57</b>

# Introduction générale

## La société ALSTOM

ALSTOM est une compagnie diversifiée, présente dans plusieurs secteurs, comme nous le verrons, mais qui est plus particulièrement spécialisée dans le domaine de **la gestion de l'énergie**.

Crée en 1989 de la fusion des activités énergie et transport de GEC et d'ALCATEL, les origines de GEC ALSTHOM-désormais ALSTOM- remontent à la première centrale thermique et aux premières locomotives à vapeur.

Depuis sa création, le groupe n'a cessé de progresser, développant à la fois sa présence géographique et son offre de produits et de services. Anticipant les besoins de ses clients en leur proposant des solutions non seulement en matière de technologie mais aussi de services et e financement, il est reconnu pour ses solutions innovantes.

ALSTOM est l'un des premiers fournisseurs au monde de composants, de systèmes et de services pour les cinq marchés suivants :

- L'énergie (*Power*),
- Le transport,
- La conversion de l'Energie (*Power Conversion*),
- La construction navale (*Marine*),
- L'entreprise régionale (*Contracting*),
- Le Transport et la Distribution (*T&D*).

## Présentation du projet

L'objet de ce projet est l'étude du Bureau Central de Conduite (BCC), en effet ce dernier a pour rôle la **téléconduite du réseau de distribution de l'énergie électrique**. Cette téléconduite consiste à l'acquisition des données du réseau électrique garce à une association de moyens matériels et logiciels implantés au niveau des équipements terminaux et du système frontal de communication.

## Le réseau de distribution

Le rôle d'une compagnie de distribution est de satisfaire les demandes des clients, allant de quelques Kilowatts ( pour les clients domestiques ) à quelques Mégawatts ( pour les clients industriels ).

La fonction générale d'un réseau de distribution est :

- Acheminer l'énergie électrique jusqu'aux consommateurs.
- Assurer l'équilibre, à tout instant, entre la consommation et la puissance acheminée : la puissance doit être disponible en fonction de besoins quantitatifs des clients.
- Assurer une tension fixe en fonction de la puissance et du type du client.
- Garantir une qualité respectant les valeurs et la forme prévues à tout instant.

L'évolution d'un réseau de distribution est répartie sur trois phases :

**Phase d'électrification** : le souci essentiel consiste à créer et étendre le réseau sur l'ensemble du territoire pour satisfaire les besoins élémentaires des clients.

**Phase de croissance** : le réseau doit suivre la demande spontanée d'énergie électrique liée à l'expansion économique ( Développement quantitatif ).

**Phase qualité** : le réseau doit répondre à des exigences accrues de la clientèle, liées au développement des usages de l'électricité dans les domaines les plus divers ( Développement qualitatif ).

Afin d'assurer cette qualité de service, un réseau de téléconduite des réseaux de distribution s'avère nécessaire. En effet, en fonctions de événements se produisant sur le réseau, ce système de téléconduite peut, à tout moment, réaliser une nouvelle configuration mieux adaptée à la nouvelle situation.

L'intérêt essentiel réside dans l'accélération de la reprise de service en cas d'incident, mais le système de téléconduite permet aussi une efficacité accrue dans la gestion du réseau : augmentation de la sécurité d'alimentation, l'amélioration des niveaux de tension, la réduction des pertes, la régularisation des effets de certains comportements des usagers,...

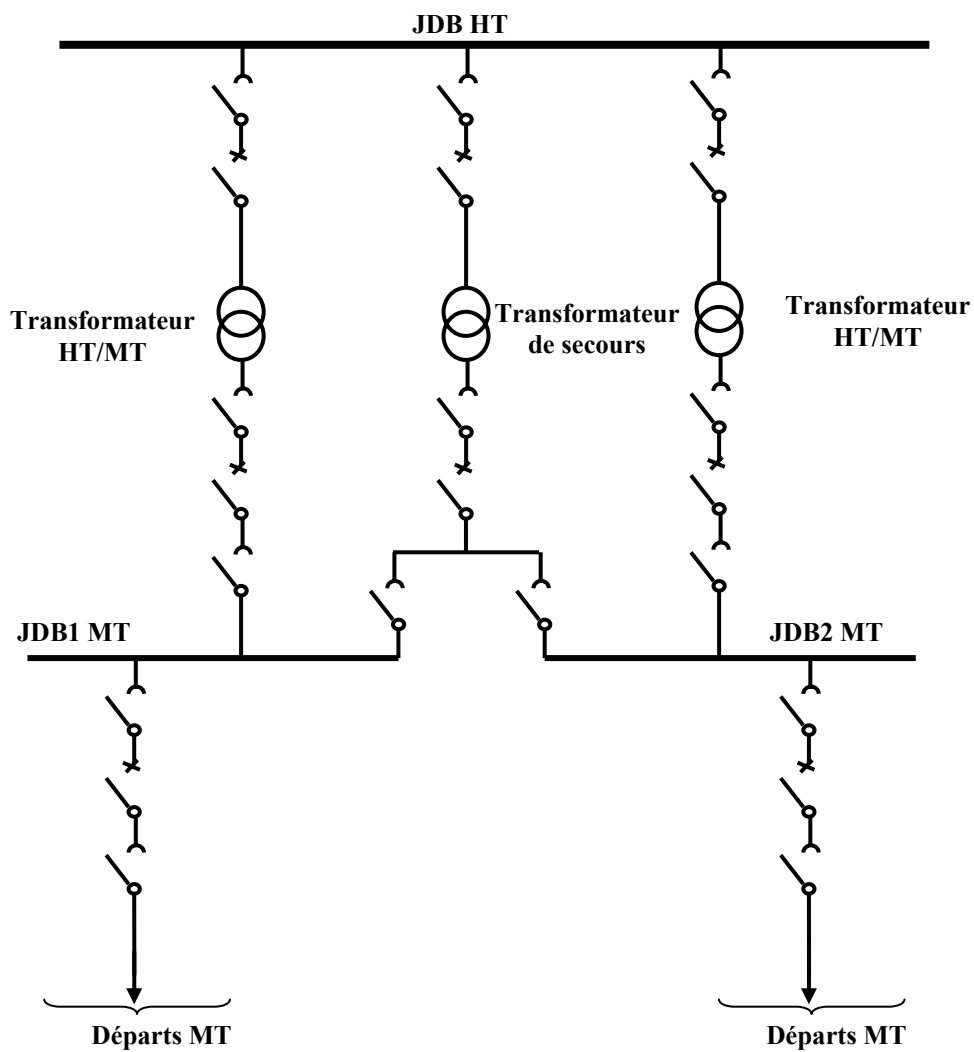
Le réseau de distribution de la STEG s'étend sur 36500 Km en Moyenne Tension (MT) et 66500 Km en Basse Tension (BT). Sa structure est radiale à partir des postes sources ( Haute Tension/Moyenne Tension).

Le réseau est composé, de manière hiérarchisée, dans le sens de transit de l'énergie des :



- Postes Sources HT/MT
- Réseaux MT
- Sous Stations MT/MT
- Postes MT/BT
- Réseaux BT

La figure suivante illustre la structure générale d'un poste source.



**Figure1 :** poste source

Le système de téléconduite, comme le montre la figure 2, comprend les éléments fonctionnels suivants : le logiciel implanté au niveau des Serveurs SCADA, les Frontaux de communication, un réseau de communication et les équipements Terminaux (Postes Asservis).

Cette étude qui va être élaborée autour de quatre principaux axes :

- Le premier concernera le Serveur SCADA/DMS, les caractéristiques, les principales fonctions et les différentes configurations possibles.
- Le second traitera les **postes asservis**, leurs architectures matérielles et logicielles et les informations traitées.
- Afin d'étudier la spécification des messages entre le système SCADA/DMS et les postes asservis et d'évaluer les temps de réponse de ces derniers, une étude du **protocole de communication CEI 870-5-101** fera l'objet du troisième chapitre.

Enfin, le dernier chapitre est consacré au **système de radiocommunication** du Bureau Central de Conduite et donc une étude de propagation, des caractéristiques des équipements et le calcul du bilan de liaison seront détaillés dans ce chapitre.

# **Chapitre I : Le système SCADA**

## Introduction

L'activité fondamentale d'une compagnie de distribution de l'énergie électrique est de la fournir à ses clients là où ils en ont besoin et à moindre prix ; en plus la conduite des réseaux de distribution est un réel souci pour les compagnies d'électricité. En effet, cette conduite englobe tous les aspects de planning, construction, maintenance et de fonctionnement du réseau de distribution.

Des « Distribution Management Systems » (DMS) sont proposés afin d'aider les services électriques à assurer la conduite du réseau de distribution. Selon l'importance de ce dernier, le système peut être simple (comme un SCADA) ou beaucoup plus complexe (un DMS complet).

## Fonction d'un Bureau Central de Conduite (BCC)

La conduite des réseaux de distribution consiste à prévoir, surveiller, agir et analyser. La mise en place de ces fonctions se fait à travers :

- L'acquisition et le traitement de données en temps réel
- Le télécontrôle des ouvrages électriques
- La réalisation des calculs électriques et les fonctions de traitement des défaillances du réseau.
- L'archivages des informations historiques

## Architecture d'un BCC

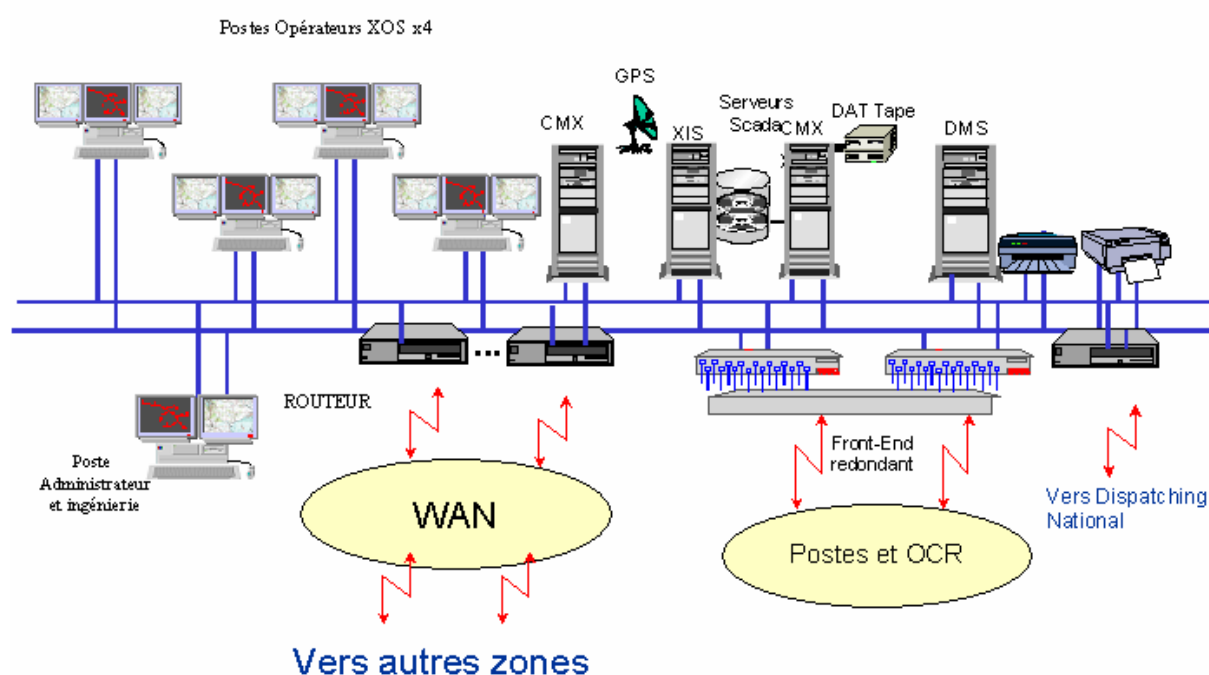
La configuration standard d'un BCC est basée sur une architecture client/serveur distribuée et modulaire ce qui permet de faciliter les extensions futures.

Ce type de solution permet le traitement distribués et l'accès à chaque élément de la base de données par n'importe quel client/serveur. Cette architecture réduit de plus, la maintenance et assure la fiabilité des données du système.

Le système, illustré dans la figure ci-après, intègre deux serveurs redondants dans une configuration hot-stand-by, qui agissent comme serveurs SCADA/Historiques, et des stations de travail pour l'exploitation et les études. Un serveur supplémentaire pour les applications DMS fait aussi partie de la configuration et qui utilise les mêmes bases de données topologique et historique que le SCADA afin d'avoir une sécurité d'utilisation optimale.

Dans les conditions normales d'opération, l'un des serveurs est le maître des processus software qui composent le SCADA, l'autre fonctionne comme serveur de réserve, étant donné qu'il existe un mécanisme de communication permanent entre les deux, de façon à ce que, en cas de défaillance du serveur normal, celui en secours passe en normal. La cohérence est l'intégrité des données du système est supportée par un système de stockage partagé entre les deux serveurs.

La configuration s'appuie sur un réseau local redondant, par lequel, en temps réel, transitent des données issues du réseau supervisé. Les informations échangées par les différents éléments du système utilise le protocole standard TCP/IP sous Ethernet.

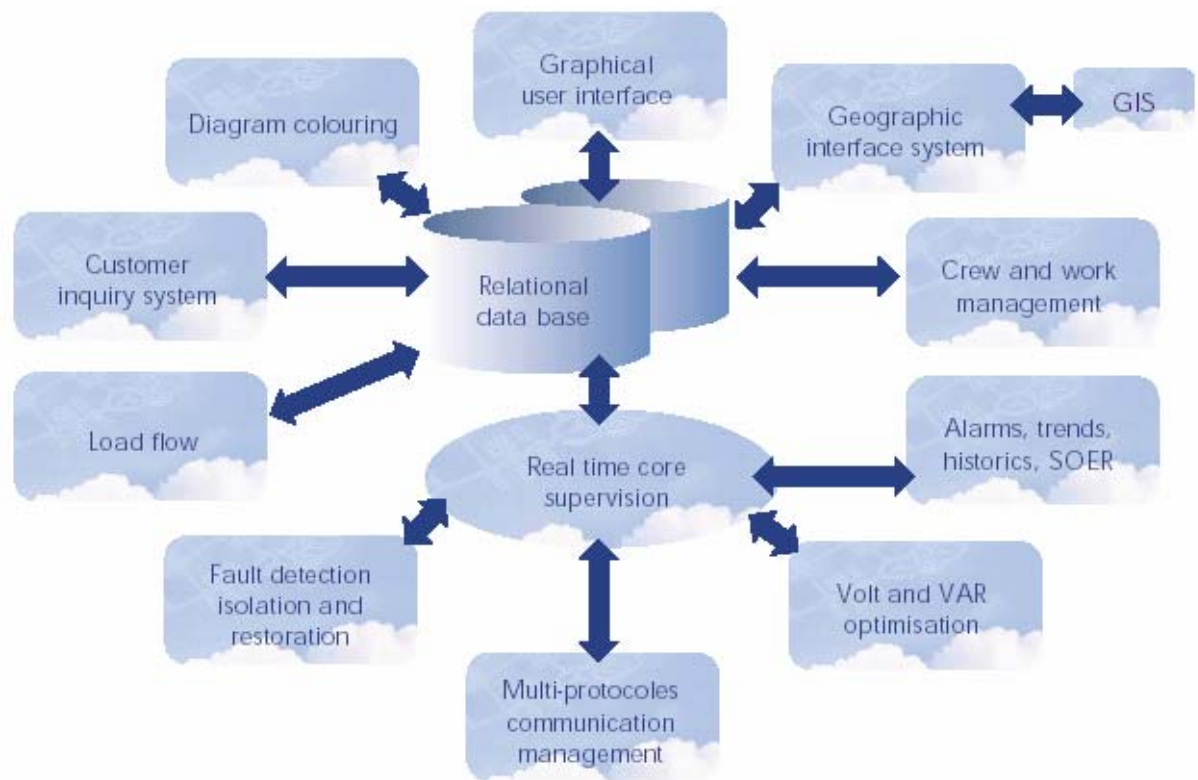


**Figure3 : Architecture d'un BCC**

## Le système SCADA

Le système SCADA (**Supervisory Control and Data Acquisition**) est une importante partie du système DMS. C'est un système distribué qui collecte en temps réel les données provenant des postes asservis ( **RTUs**) et les autres sources de communications et il permet aux opérateurs de contrôler les ouvrages du réseaux électriques à partir de leurs consoles.

Le système SCADA d'ALSTOM peut être divisé en quatre sous-systèmes logiques indépendants qui agissent entre eux : **l'interface graphique de l'utilisateur, le serveur du SCADA, le serveur historique et le serveur d'ingénierie de données.**



**Figure4 :** Le système SCADA/DMS

## I. L'environnement SCADA

L'environnement SCADA gère toutes les fonctions SCADA de base, à savoir: l'acquisition des données des postes asservis, la supervision et le contrôle, la datation ou l'étiquetage de dispositifs, l'établissement d'attributs de données, le calcul de tendance, la détection d'alarmes, le traitement d'alarmes et les calculs définis par l'utilisateur.

### I.1 Les opérations de supervision et contrôle

L'environnement SCADA exécute les opérations de supervision et contrôle. Le matériel et les applications sont conçus avec l'objectif de pouvoir gérer le réseau dans un maximum de sécurité notamment en ce qui concerne l'envoi de commandes.

La suite donne les types de télécommande programmable dans l'environnement SCADA :

- Supervision et contrôle Ouverture/Fermeture
- Supervision et contrôle Jog : cas des régleurs des transformateurs par exemple
- Etiquetage/Consignation d'un point TC

## I.2 Acquisition de données

L'environnement SCADA peut être paramétré afin d'acquérir les informations des RTU des postes MT/MT ou des RTU des postes moyenne tension de coupures des trois manières suivantes :

- De manière spontanée
- Interrogation cyclique par le centre de contrôle pour les modifications seulement
- Interrogation cyclique par le centre de contrôle pour toutes les informations

le processus d'acquisition de données dans le système SCADA prévoit la mise en place d'indicateurs de qualité de données associées à chaque point numérique et discret, aussi bien télémésurés que calculés.

Le système exécute deux types de données calculées. Le premiers type est prévu pour les calculs de haut niveau et fait partie intégrante de la logique de traitement de données du serveur SCADA. Le second type est destiné aux calculs définis par l'utilisateur et utilise le langage de programmation pour réaliser des calculs et définir des séquences de contrôle.

L'environnement SCADA permet de faire le calcul de MVA, de MW et de facteur de puissance en utilisant plusieurs formules.

Les calculs sont regroupés et chaque groupe de calculs est exécuté avec une fréquence programmable par l'utilisateur. Une application typique est le développement des séquences de contrôle pré-programmées pouvant être utilisées pour la régulation automatique de tension, les séquences automatiques de délestage, la transmission de messages et de conseils à un opérateur, etc.

## I.3 Traitement des alarmes et des évènements

L'environnement SCADA est capable de générer des alarmes et des évènements à partir de données télémésurées et calculées et provenant de programmes avancés d'application. Toutes les alarmes et les évènements sont enregistrés par le système et sont gardés en ligne durant une période paramétrée par l'utilisateur. Une fois cette période passée, ils sont transmis à une unité de stockage.

## II. La base de données historique

Le serveur historique est un serveur de données historiques. Il donne les éléments de support nécessaires au processus de prise de décisions, supervision et contrôle.

Les données en temps réel provenant de l'environnement SCADA ou d'autres sources se résument dans le serveur historique sur des périodes de temps variables. Les données du serveur historique peuvent servir comme sources d'informations pour la génération de graphiques de tendance et de rapports de gestions relatif, par exemple, à une analyse détaillée à long terme de situations anormales.

### III. L'interface homme machine

L'interface graphique utilisateur fournit à l'ensemble des utilisateurs, tant opérateurs que responsables système, un ensemble logique d'outils graphiques et interactifs permettant une utilisation simple et agréable du système.

Cet interface gère :

- La plate-forme Windows NT
- L'affichage panoramique et du zoom à l'écran
- Des schémas unifilaires, des représentations tabulaires, des mises en page
- Des outils d'interface : des touches graphiques de fonctions, des barres de déplacement, des menus déroulant, des menus pop-ups, l'icônisation de fenêtres, l'agrandissement d'icônes en fenêtres.
- Des objets graphiques des réseaux électriques, comme des transformateurs, des barres, des interrupteurs, des lignes de transmissions,...
- Des fenêtres de tracés de données
- Des animations, comprenant le changement d'état, de couleur,...
- Un ensemble de formulaires pour base de données basé sur une interface graphique utilisateur, qui présente une interface sophistiquée aux données historiques, la gestion de bases de données et les applications client.

### Les logiciels d'études DMS

Des nombreuses applications peuvent être intégrées dans la fourniture du système SCADA afin de réaliser les fonctions des logiciels d'études DMS. Parmi ces applications on peut citer :

- Calcul des flux : cette application permet de calculer les flux de charge dans le réseau de distribution.



- Analyse topologique : cette application permet l'analyse de la topologie du réseau de distribution et sa représentation sous forme de graphe et de coloration des vues écran du réseau.
- Simulation de défauts : cette application permet de simuler des incidents dans le réseau et de calculer les valeurs électriques qui résultent pour vérifier notamment la tenue des équipements à de tels défauts ou la capacité des disjoncteurs à couper le courant de court-circuit induit.
- Calcul des pertes : cette application permet le calcul des pertes sur l'ensemble du réseau de distribution jusqu'aux jeux de barres basse tension.
- Volt/Var Control : cette application permet d'optimiser la gestion du réseau en permettant une utilisation efficace et dynamique des dispositifs de contrôle de la tension et des puissances active et réactive présents sur le réseau comme les transformateurs de puissance avec régulateurs, les bancs de condensateurs et les régulateurs de tension.
- Reconfiguration du réseau : cette application permet de définir une configuration du réseau en fonction de critères d'amélioration de l'exploitation tels que pertes minimales par exemple.

## Conclusion

Une présentation globale du système SCADA et de l'architecture d'un Bureau Central de Conduite (BCC) a fait l'objet de ce chapitre. Toutefois, cette architecture est étroitement liée à l'organisation de l'exploitation des réseaux de distribution, à la dépendance future du réseau de communication entre les différentes zones et aux budget et phases de déploiement.

En général, trois alternatives sont à envisager :

- Une architecture entièrement centralisée qui consiste à mettre en place un système unique (SCADA/DMS) centralisé, communiquant avec les centres distants via les frontaux et des postes opérateurs déportés dans chaque centre contrôlant leur zone respective.
- Une architecture partiellement distribuée comportant plusieurs systèmes principaux (SCADA/DMS) indépendants et des postes opérateurs déportés dans les autres centres contrôlant leur zone respective.
- Une architecture complètement distribuée basée sur une architecture informatique distribuée, avec un système (SCADA/DMS) distribué sur les zones à contrôler.

Le prochain chapitre traitera les principales caractéristiques des postes asservis qui assure d'une façon générale les fonction de téléconduite et de consignation d'états.

## **Chapitre II : Les postes asservis**

## Introduction

Le poste asservi ou l'équipement terminal de téléconduite assure d'une façon générale les fonction de téléconduite et de consignation d'états.

Il est conçu pour supporter les contraintes les plus importantes du domaine de l'énergie électrique et assurer des réactions très rapides, une sécurité de fonctionnement, une fiabilité et une disponibilité certaines dans les environnements électriques difficiles.

De ces faits, le poste asservi doit avoir une organisation modulaire doit être basé sur une architecture ouverte incluant un système d'exploitation multitâche temps réel, un environnement utilisateur graphique et un générateur de base des données relationnel.

Le poste asservi sera intégré dans un système pouvant comprendre les équipements suivants :

- Des organes classiques à superviser et à contrôler
- Des protections numériques
- Des centres distants de conduite
- Un système de synchronisation GPS
- Un terminal alphanumérique, une imprimante

ALSTOM propose le produit S900 dont les principales caractéristiques seront présentées dans ce chapitre.

## Le poste asservi

### I. Introduction

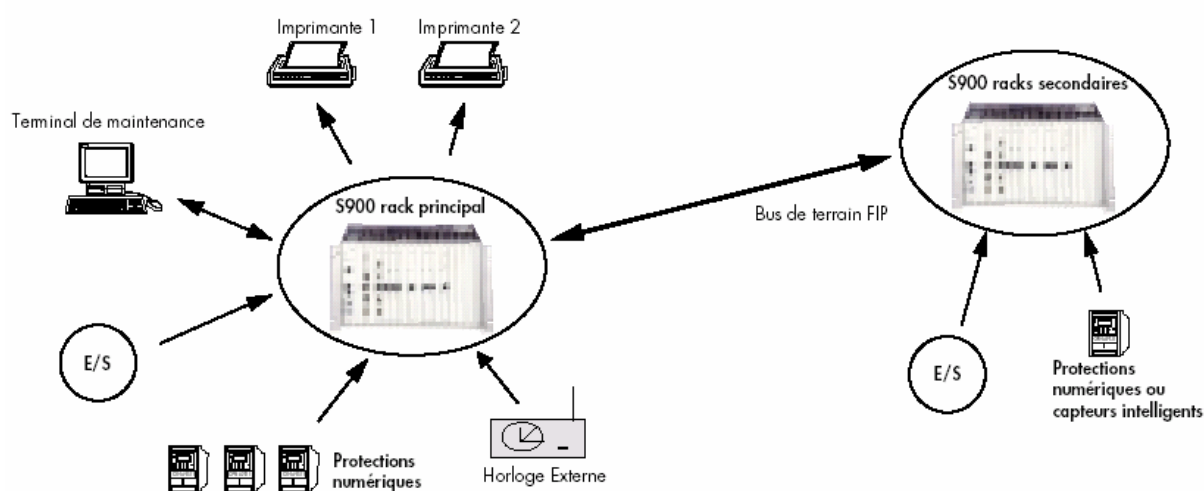
Le poste asservi est un poste asservi qui peut être utilisé comme un calculateur de téléconduite ou un consigneur d'états.

Des performances supérieures, une sécurité optimale et une haute fiabilité sont les caractéristiques « clés » d'un poste asservi conçu pour supporter les contraintes importantes du domaine de l'énergie électrique et assurer des réactions très rapides, une sécurité de fonctionnement et une grande disponibilité dans les environnements électriques et industriels.

### II. Les fonctions principales

Les principales fonctions d'un poste asservi, figure suivante, sont présentées ci-dessous :

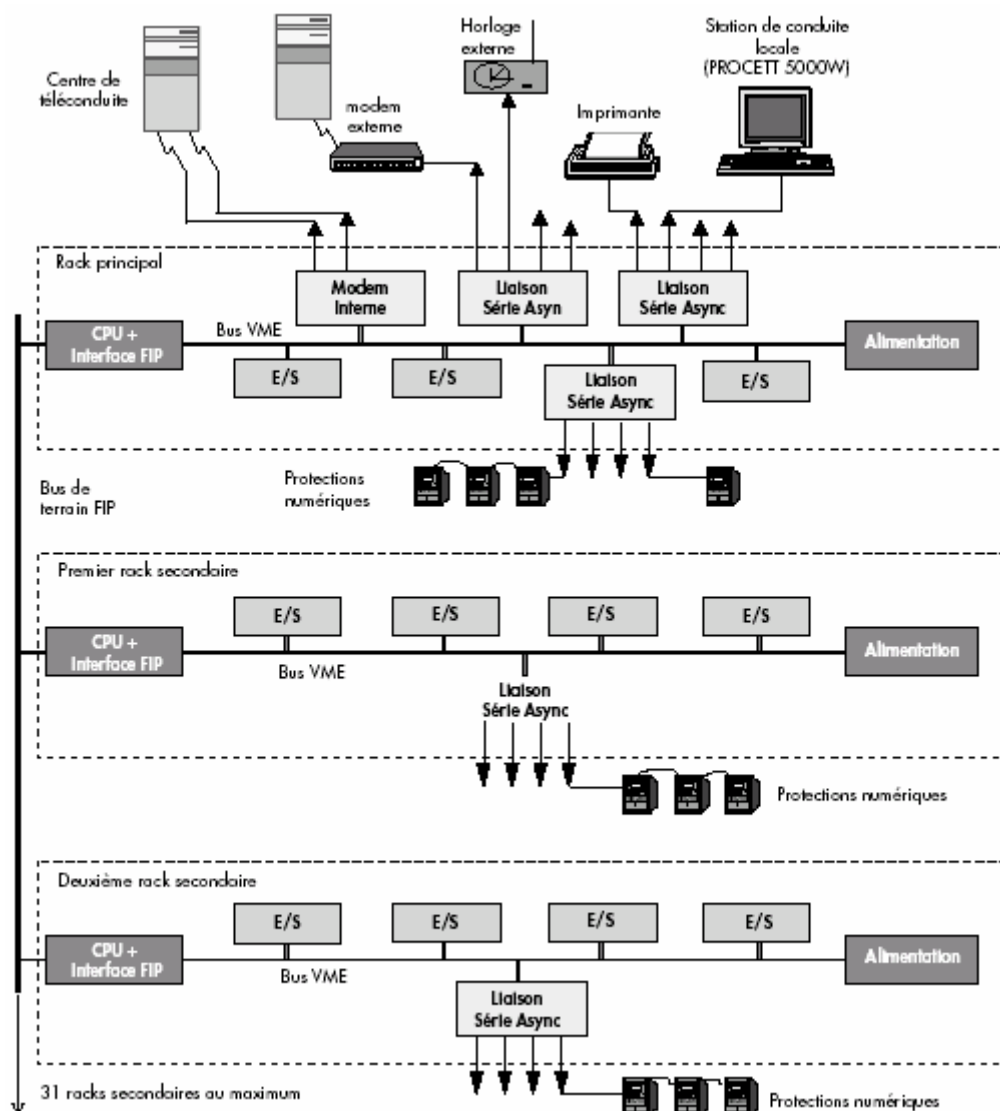
- Communication avec plusieurs centres : le poste asservi supporte la communication avec de un à trois centre en utilisant des données séparées et des protocoles différents.
- Traitement des entrées-sorties conventionnelles : les appareils à contrôler sont raccordés au poste asservi à travers de modules d'entrées-sorties digitales ou analogiques.
- Communication avec des équipements électroniques intelligents : le poste asservi peut acquérir et restituer des données à partir d'équipements intelligents via des liaisons séries simultanément avec des entrées-sorties conventionnelles.
- Consignation d'états : le poste asservi peut être utilisé comme un enregistreur d'événements. En lui raccordant une ou deux imprimantes et une console clavier, les changements d'état datés peuvent être imprimés localement dès leur apparition. Des rapports peuvent être également imprimés sur demande de l'opérateur.
- Gestion des automatismes : des fonctions d'automatismes peuvent être réalisées dans le poste asservi.



**Figure5 : Environnement d'un poste asservi**

### III. Architecture matérielle :

L'architecture interne d'un poste asservi est basée, comme est illustré sur la figure ci-dessous, sur un bus de terrain FIP reliant les unités de traitement. Chaque unité comprend une alimentation, une unité centrale, des modules d'entrées-sorties, des modules de communication et un bus WME. L'unité principale gère les transmissions (vers les centres de téléconduite et les protections numériques), la supervision, les périphériques, les entrées-sorties et les automatismes centraux. Les unités secondaires gèrent les transmissions(vers les protections numériques), les entrées-sorties et les automatismes répartis.



**Figure6 : Architecture générale**

Les principaux modules d'un poste asservi sont :

- PCU 90x : Convertisseur d'alimentation 48/60 Vcc ou 110/125 Vcc ou 220/250 Vc
- CPU 900 : Unité centrale à microprocesseur MC68020 – 32 Bits
- EMS 901 : Carte fille mémoire 4 Mo
- FBS 910 : Carte fille bus FIP 1 Mbits/sec
- SAU 900 : 4 Ports série asynchrones isolés
- DAU 90x : 48 Entrées digitales 24 Vcc – 48/60 Vcc – 110/125 Vcc ou 220/250 Vcc
- DOU 9xx : 32 Sorties digitales exécution immédiate ou avec sélection
- ACU 900 : Convertisseur analogique numérique 11 bits + signe
- AAU 900 : 24 Entrées analogiques en courant et tension
- AOU 900 : 6 Sorties analogiques en courant

## IV. Traitement des informations

### IV.1 Les informations traitées

Le poste asservi traite des entrées-sorties digitales et analogiques. L'acquisition et la restitution des informations s'effectue sur les modules d'entrées-sorties suivants : coupleur d'entrées tout ou rien (DAU 90x), coupleur de sorties tout ou rien (DOU90x), coupleur d'entrées analogiques (AAU900), coupleur de sorties analogiques (AOU 900).

En termes fonctionnels les informations gérées par le poste asservi sont :

- Les télésignalisations (TS)
- Les regroupements de signalisations
- Les télémesures analogiques (TMA)
- Les télémesures numériques (TMN)
- Les télécomptages (TCG)
- Les télécommandes (TC)
- Les télévaleurs de consignes analogiques (TVC-A)
- Les télévaleurs de consignes numériques (TVC-N)
- Les positions de régleurs (PR)

Le tableau suivant détaille la capacité du poste asservi.

Entrées – Sorties	Capacité Standard	Capacité Etendue
Entrées tout ou rien	2016	4032
Sorties tout ou rien	512	1024
Entrées analogiques	240	480
Sorties analogiques	60	60
Entrées de comptages	144	144
Mesures numériques	51	51
Points de consignes numériques	32	32
Position de régleurs	51	51

**Tableau 1** : Capacité de l'équipement POSTE ASSERVI

## **a- Traitement des télésignalisations (TS)**

Une signalisation (TS) représente l'état binaire d'un organe. Elle est définie par les types suivants :

- Simple ( une seule entrée)
- Double (deux entrées complémentées)
- Normale (alarme sur boucle fermée)
- Inverse (alarme sur boucle ouverte)
- Fugitive ( fugitive normale : seule la fermeture de la boucle est traitée, fugitive inverse seule l'ouverture est traitée)
- Regroupement ( OU logique de plusieurs TS)

Les TS sont acquises sur des modules DAU 90x (Digitale Acquisition Unit), ils ont un paramètre commun : le cycle de scrutation dont les valeurs possibles sont : 1, 2, 5 ou 10 ms. Ce paramètre influe sur la charge des unités centrales et donc peut limiter le nombre d'entrées TS pouvant être traité par le poste asservi.

### **a-1 Filtrage des télésignalisations**

Lorsqu'un changement d'état est détecté, un filtrage est mis en œuvre de confirmer ou d'infirmer ce changement. La durée de ce filtrage est paramétrable en base de données et peut durer de 2 à 5 fois le cycle de scrutation.

#### **♦ Le filtrage court des défauts complémentarité**

Ce traitement ne concerne que les TS doubles. Une TS double est en défaut complémentarité si l'état de ses deux contacts n'est pas complémentaire.

Lorsqu'un changement d'état est détecté sur une des deux entrées d'une TS double, un filtrage est mis en œuvre afin de confirmer le changement d'état et de vérifier la complémentarité des deux contacts au terme du filtrage.

La durée de ce filtrage est paramétrable en base de données et peut durer de 100 ms à 500 ms par pas de 100 ms et il est commun à l'ensemble des TS. Ce filtrage est utilisé pour la télésignalisation d'organes rapides.

#### **♦ Le filtrage long des défauts complémentarité**

Le principe de ce filtrage est identique à celui du filtrage court des défauts complémentarités sauf que sa durée est paramétrable de 1 à 30 secondes par pas de 1 seconde. Ce paramètre est

propre à chaque TS. Ce filtrage est utile pour la télésignalisation d'organes lents ( passage lent de l'état ouvert à l'état fermé, exemple : sectionneur)

#### ♦ Filtrage des TS battantes

Une TS est déclarée « battante » si elle change d'état plus de N fois pendant une période T, elle devient invalide pour cause battante.

Elle ne sera plus transmise sur exception, ni archivée dans le séquence d'événements jusqu'à ce qu'elle soit de nouveau valide : elle ne change plus d'état pendant la période T.

Les valeurs N et T sont paramétrables et communes à l'ensemble des TS : N est paramétrable entre 2 et 99 et T entre 0.1s et 10s.

### **b- Traitement des télémesures**

#### **b-1 Acquisition des télémesures analogiques (TMA)**

Les TMA sont acquises sur des modules AAU 900 ( Analog Acquisition Unit) et sont converties en numériques sur des modules ACU 900 ( Analog Converter Unit) sur 11 bits plus signe.

La lecture des TMA est cyclique, les cycles minimum sont :

- 1 seconde pour 96 TMA minimum
- 2 secondes pour 192 TMA minimum
- 3 secondes pour 240 TMA minimum

#### ♦ les calculs sur les TMA

- Calcul de l'offset : consiste à retrancher à la valeur convertie par le module ACU 900 la valeur correspondant à la valeur 0 V en entrée afin de compenser le décalage éventuel du zéro.

- Calcul du gain : le gain est la valeur convertie de la valeur 2.4 V en entrée de mesure et elle permet de vérifier la linéarité et donc si le gain ainsi lu est dans la plage autorisée il est pris en comptes pour les prochaines mesures sinon on détecte un défaut module AAU 900.

#### **b-2 Acquisition des télémesures numériques (TMN)**

Les TMN sont acquises sur des modules DAU 90x ( Digital Acquisition Unit). Un module permet l'acquisition de 3 TMN 16 bits ou une TMN 32 bits.



Les TMN sont filtrées par double scrutation, leurs valeurs ne sont prises en compte que si elles sont identiques à celles lues au cours du cycle précédent.

### **b-3 Détection des franchissements de seuils**

Il est possible d'associer à chaque mesure jusqu'à quatre seuils et une hystérésis. Les seuils peuvent être déclarés croissants ou décroissants.

Le fin de dépassement de seuil est détectée si la valeur de la TM devient supérieure à un seuil décroissant augmenté de l'hystérésis ou inférieure à un seuil croissant diminué de l'hystérésis.

### **b-4 Détection des variations**

Le poste asservi permet deux mode de calcul de variation des TM : le mode absolu et le mode différentiel.

En mode absolu, la bande morte ( plage dans laquelle on considère qu'il n'y a pas de variation) est une valeur qui ne dépend pas de la valeur courant de la TM mais qui représente un pourcentage de la pleine échelle. La variation est détectée si la TM varie de plus de n% de la pleine échelle qui est donc une valeur absolue.

En mode différentiel, la bande morte est une valeur qui dépend de la valeur courante de la TM et qui représente un pourcentage de celle-ci. La variation est détectée si la TM varie de plus de n% par rapport à sa valeur courante.

### **b-5 Mise à l'échelle pour traitement local**

La mise à l'échelle est effectuée pour consigner en local un changement d'état TMA. Deux formules sont possibles, en fonction des capteurs de mesures :

TMA linéaire :  $V = A \cdot V_{acq} + B$

TMA quadratique :  $V = A \cdot \sqrt{V_{acq}} + B$

### **b-6 Transmission des télémesures**

Deux modes de transmission des télémesures sont prévus :

- Transmission cyclique sur l'initiative du poste asservi: il existe un cycle d'acquisition des valeurs ( cycle de base paramétrable entre 1 et 59 secondes) et quatre cycles de transmission multiples du cycle de base, chaque multiple est paramétrable entre 1 et 99.

- Transmission sur changement d'état : on peut choisir, par TM, les conditions qui entraînent une transmission sur changement de valeur ( sur dépassement de seuil, sur fin de dépassement de seuil, sur variation, ...)
- Transmission sur demande : les télémesures peuvent être transférées au centre sur demande quand celui-ci adresse une demande spécifique.

### **c- Traitement des télécommandes (TC)**

Les télécommandes sont restituées sur des modules DOU 900 (Digital Output Unit) et elles peuvent être réalisées suivant les trois modes suivants.

#### **c-1 Mode sélection distante avant exécution**

Ce mode est utilisé pour des commandes nécessitant une importante sécurité, une seule commande peut être exécutée simultanément. Il nécessite deux messages venant du centre, un pour la sélection et un pour l'exécution.

- Le centre transmet le message de sélection de commande à l'adresse du poste asservi avec adresse de la commande et indique le type de l'action désiré.
- Le poste asservi initialise la logique de commande, recompose le message envoyé par le centre et transmet à ce dernier le message réassemblé.
- Le centre compare le message reçu avec le message d'origine et si le contrôle est correcte, envoie un message d'exécution vers le poste asservi.
- Le poste asservi effectue les contrôles et ferme le relais général d'exécution.

#### **c-2 Mode sélection local avant exécution**

Ce mode est également utilisé pour des commandes nécessitant une importante sécurité. L'exécution consiste à fermer le relais de sélection, contrôler puis fermer le relais général d'exécution.

#### **c-3 Mode d'exécution immédiate**

Ce mode est utilisé généralement pour des commandes devant pouvoir être passées simultanément et rapidement ( délestage). Il nécessite un seul message du centre et l'exécution consiste à fermer le relais de sortie directement après avoir réalisé les contrôles et donc sans sélection préalable.

#### **d- Traitement des télévaleurs de consigne**

Les télévaleurs de consigne peuvent être restituées sous forme analogique (TVC-A) ou numérique (TVC-N).

Les TVC-A sont restituées sur des modules AOU 900 (Analog Output Unit). La valeur numérique de la TVC-A est sur 11 bits plus signe.

Les TVC-N sont restituées sur des modules DOU 900 (Digital Output Unit).

La restitution d'une TVC peut se faire par saut ou par linéarisation. Cette dernière se fait par limitation de la pente : le signal est appliqué par incréments successifs répétés jusqu'à restitution complète du signal. Alors que la restitution par saut consiste à appliquer la valeur reçue sur la sortie.

### **Conclusion**

Ce chapitre a été consacré aux principales caractéristiques du poste asservi. Ce dernier possède, bien sur, d'autres fonctionnalités : traitement des télécomptages, traitement des positions de régleurs, les fonctions automatismes, l'archivage, l'alarme locale, la gestion de l'heure, la consignation d'états, la gestion de la base de données...

Une analyse du protocole de communication CEI 870-5-101 fera l'objet du prochain chapitre afin de pouvoir évaluer les temps de réponse du poste asservi.

## **Chapitre III : Le protocole de communication CEI 870-5-101**

## Introduction

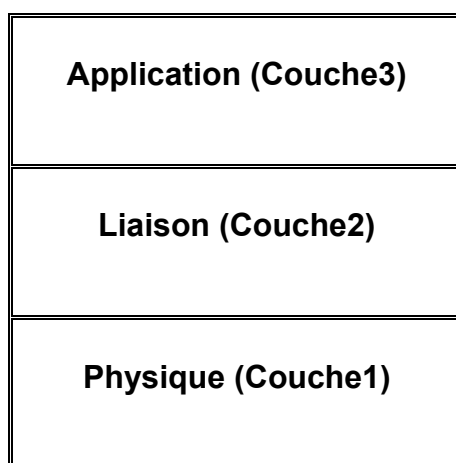
La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour mission de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, publie des Normes Internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.

## Domaine d'application

La section 101 de la CEI 870-5 s'applique à la téléconduite d'équipements et de systèmes dotés d'une transmission série codée bit par bit pour la conduite et le contrôle de processus dispersés géographiquement. Elle définit une norme d'accompagnement de téléconduite qui rend possible l'interopérabilité entre des équipements de téléconduite compatibles. Les spécifications de cette norme constituent un profil fonctionnel pour les tâches élémentaires de téléconduite.

## Structure du protocole

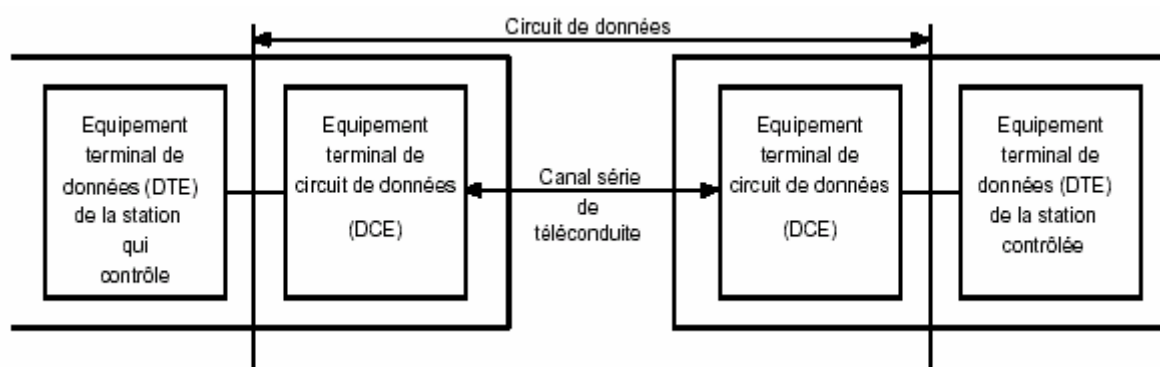
Le protocole CEI 870-5 est basé sur le modèle de référence à trois couches "architecture à performances améliorées" (EPA – Enhanced Performance Architecture).



**Figure7 :** Architecture à performances améliorées

## La couche physique

La couche physique utilise les recommandations du UIT-T qui, d'une part, fournissent les transmissions binaires symétriques et sans mémoire sur le support désiré, afin de préserver un degré élevé d'intégrité des données dans la méthode de codage des blocs, défini dans la couche de liaison et d'autre part définissent les interfaces entre les terminaisons des circuits de données (ETCD/DCE) et le terminal de données (ETTD/DTE) du poste de commande et du poste commandé



**Figure8 : La couche physique**

## La couche liaison

### I. Les services de la couche liaison

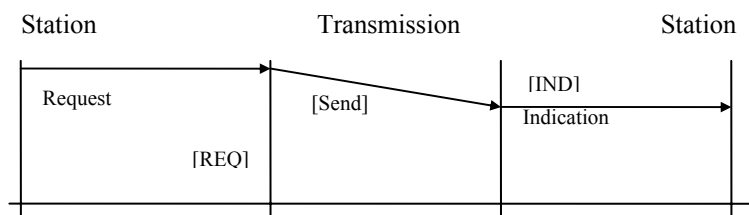
Les systèmes de conduite de supervision et d'acquisition de données (SCADA), dans lesquels une station maître contrôle le trafic de données en scrutant séquentiellement les stations satellites, utilisent les procédures de transmission non équilibrées.

Dans ce cas, la station maître est la station primaire qui initialise tous les transferts de messages alors que les stations satellites sont des stations secondaires qui ne peuvent transmettre que lorsqu'elles sont scrutées.

La liaison de données supporte les services de transmission suivants, qui sont initialisés par la station primaire :

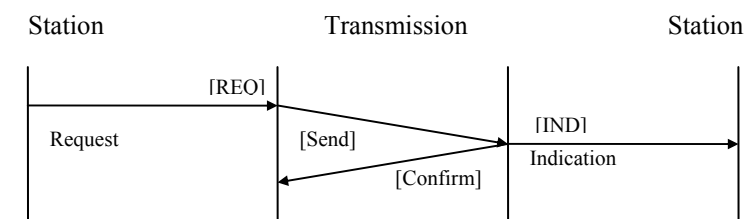
- **ENVOI/PAS DE REPONSE**

Utilisé principalement pour les messages globaux et pour les valeurs de référence cycliques dans les boucles de contrôle;



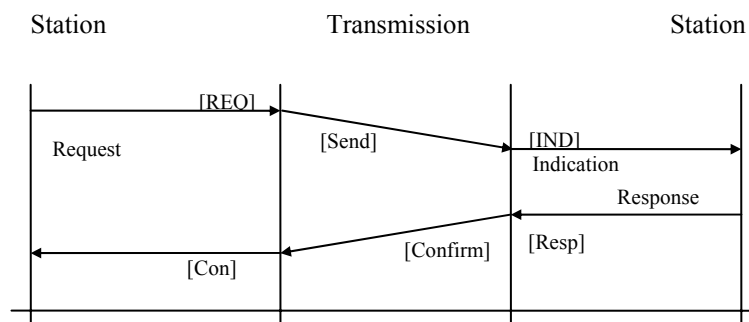
### • ENVOI/CONFIRMATION

Utilisé principalement pour les commandes de conduite et les commandes de valeurs de référence ;



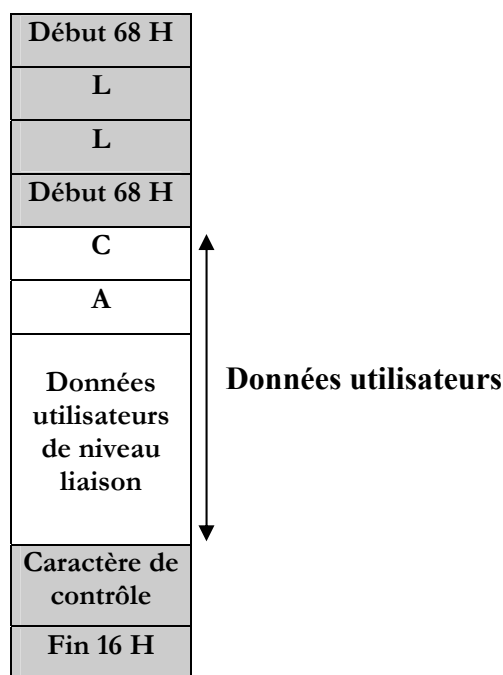
### • DEMANDE/REPONSE

Utilisé pour la scrutation ; des séquences de ce services pourront être utilisées pour des fonctions de mise à jour cycliques.



## II. Formats de trames de transmission

Cette norme admet exclusivement la **trame FT1.2** définie ci-dessous. Les formats avec des blocs de longueur fixe ou de longueur variable sont admis.



**Format FT 1.2 : Trame de longueur variable**

Avec :

- L : champ de longueur ; étendue : 0 ... 255. L spécifie le nombre d'octets de données utilisateurs y compris le champ de contrôle et le champ d'adresse
- C : champ de commande
- A : champ d'adresse, facultatif

### **II.1 Le champ d'adresse**

Ce champ d'adresse est sur un ou deux octets. Le nombre des octets doit être un paramètre fixe pour le système de transmission de données.

L'adresse est transmise dans les trames de la station primaire vers les stations secondaires et elle spécifie l'adresse de la station destinatrice. Elle peut être aussi une adresse de diffusion ( message pour toutes les stations) et dans ce cas elle est égale à FFh (FFFFh , si 2 octets par adresse).

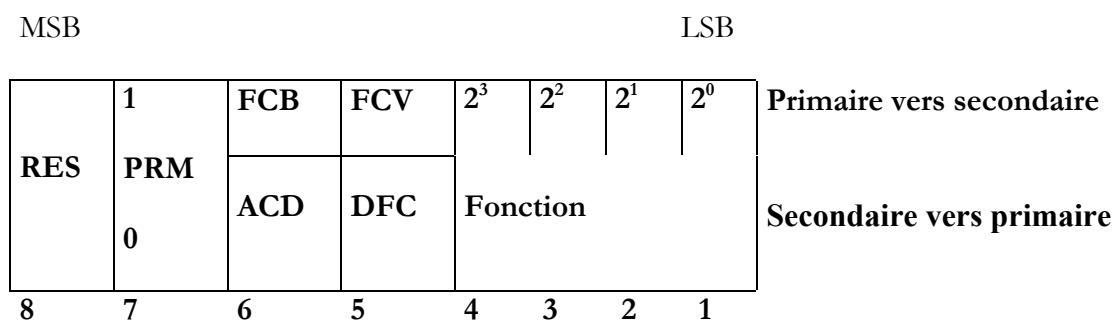
### **II.2 Le caractère de contrôle**

Ce caractère est une simple somme modulo 256 de toutes les données de la trame à partir et incluant le champ de commande jusqu'à et excluant le caractère de contrôle.

### **II.3 Le champ de commande**

Le champ de commande contient des informations qui caractérisent la direction du message, le type de service fourni et supporte les fonctions de commande permettant de supprimer les pertes ou les duplications de messages.





Avec :

- **FCB** : bit de compte de trame : bit alterné utilisé pour les successions de services ENVOI/CONFIRMATION ou DEMANDE/REPONSE pour chaque station.

- **FCV** : bit de compte de trame valide :

0 = fonction d'alternance du bit FCB non valide ;

1 = fonction d'alternance du bit FCB valide.

- **DFC** : contrôle du flux de données :

0 = les messages suivants sont acceptables ;

1 = les messages suivants peuvent provoquer un débordement de données.

- **ACD** : demande d'accès : deux classes de messages sont fournies, à savoir les classes 1 et 2 ;

0 = Pas de demande d'accès pour les transmissions de données de la classe 1 ;

1 = Demande d'accès pour les transmissions de données de la classe 1 ;

Les stations secondaires signalent à la station primaire qu'elles souhaitent des transmissions de données de classe 1 ( événements ou messages de hautes priorités).

- **PRM** : Message primaire :

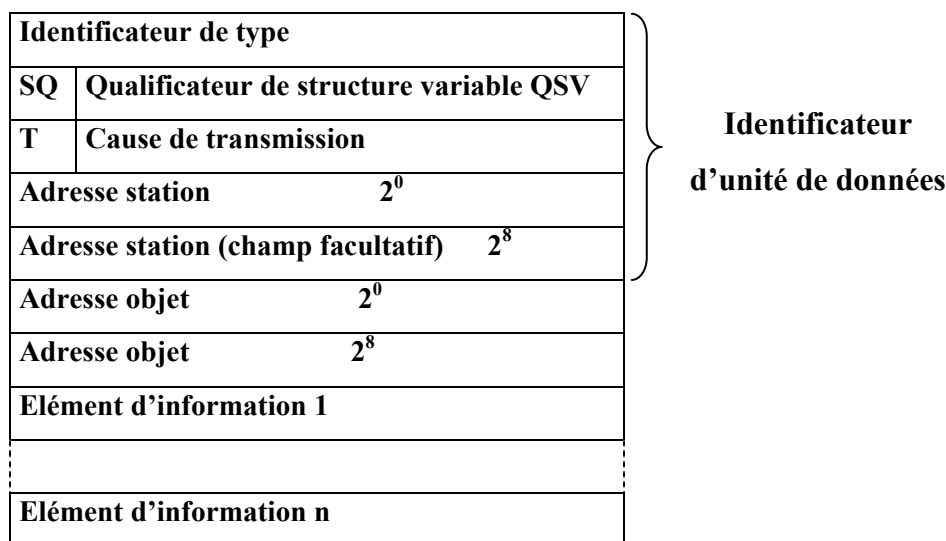
0 = message de la station secondaire ( répondeuse) ;

1 = message de la station primaire ( initiatrice).

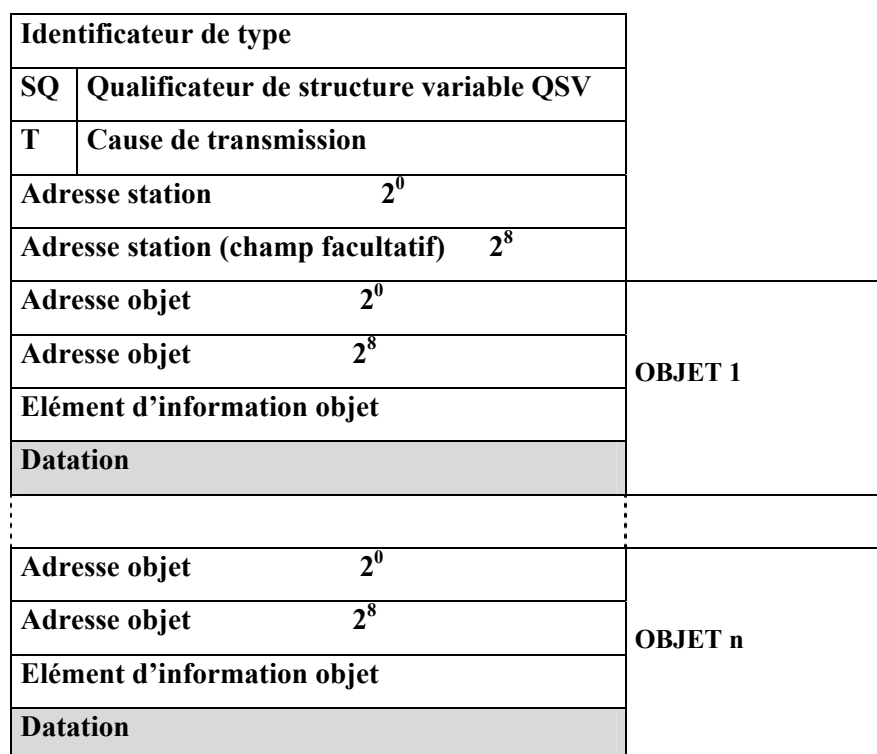
## La couche application

La couche application de l'utilisateur contient un certain nombre de "fonctions d'application" qui impliquent la transmission d'unités de données de service d'application (ASDU) entre l'émetteur et le destinataire.

Dans la spécification des messages liaison Centre-RTU du poste asservi POSTE ASSERVI, il existe deux types de représentation d'une unité de données : séquence d'éléments d'information et séquence d'objets d'information.



**Figure9 :** Séquence d'éléments d'information



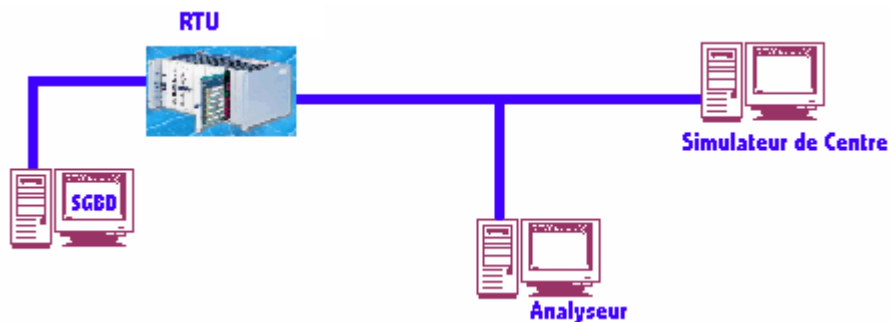
**Figure10 :** Séquence d'objets d'information

L'identificateur d'unité de données a toujours la même structure dans tous les ASDU. Les objets d'informations d'une ASDU sont toujours d'une même structure et d'un même type définis dans le champ **identificateur de type**.

## Etude de temps de réponse

L'étude précédente permet de détailler les structures des différentes trames entre un centre de téléconduite et les postes asservis. Ainsi, on peut reconnaître la structure binaire de tous les messages entre le RTU et le centre.

Pratiquement, on utilise un simulateur de centre, un analyseur de trames, un poste asservi (RTU) et un gestionnaire de base de données.



**Figure11 :** Analyse des trames Centre-RTU

## Calcul du temps de réponse

Le calcul du temps de réponse fait intervenir plusieurs paramètres de différents éléments matériels et logiciels du système de téléconduite. Ces paramètres sont :

- Les informations traitées :
  - TC SBO : Télécommande avec Sélection avant Opération
  - TS : Télésignalisation
  - TM : Télémessure
  - Evt : Télésignalisation datée
- Les paramètres des postes asservis (Les RTUs) :
  - Les protocoles : CEI 870-5-101, HNZ,...
  - L'accès ligne : Maître/Esclave, Maître/Maître
  - La vitesse de transmission
  - Le nombre des RTUs
- Les paramètres du frontal de communication :
  - Le nombre des voies
  - Les protocoles

- Temps de réponse
- Caractéristiques : multitâche, notion de la priorité,...
- Les paramètres du système SCADA : temps de réponse entre les différents modules
- Les paramètres du réseau de communication :
  - La vitesse
  - Le temps mort

Ces différents paramètres sont programmés et l'outil suivant tient de ces différents paramètres et de toutes les combinaisons possibles afin de calculer le temps de réponse d'un système de téléconduite.

**INFORMATIONS**

- ☐ TC SBO
- ☒ TC
- ☐ TM
- ☐ Evt

**PARAMETRES RTU**

Protocoles : CEI 870-5-101

Accès ligne : Maître/Esclave

Vitesse : 9600 bauds

Nombre : 25

**PARAMETRES FRONTAL**

Nbre de Voies : 16

Protocoles : CEI 870-5-101

Multi-tâches : Oui

Priorité : Oui

Temps : 0.2 s

**PARAMETRES SCADA**

Opérateur <> BD : 1 s

BD <> Frontal : 0.1 s

**PARAMETRES SUPPORT**

Vitesse : 9600 bauds

Temps mort : 0.02 s

Annuler Calculer

Pour cette configuration, le Temps de Réponse est de: 51.7 s

**Figure12 : Calcul des temps de réponse**

Le tableau suivant résume les résultats des temps de réponse du poste asservi POSTE ASSERVI des différents messages ( TC, TS, TC SBO,...)

					TC SBO	TS	TM	EVT
<b>SCADA</b>								
Opérateur <> Base de données					0.500	1.000	1.000	1.000
Base de données <> Frontaux de communication					0.100	0.100	0.100	0.100
<b>TELECOM</b>								
Temps d'établissement et de propagation					0.200	0.200	0.200	0.200
Protocole		Octets Protoc	Octets msg	sec				
<b>TC</b>				<b>0.132</b>				
Demande TC directe >	C_SC_NA_1	8	7	0.017				
Acquit TC Directe <	C_SC_NA_1	8	7	0.037				
Exécution TC directe effective <	C_SC_NA_1	8	7	0.037				
TS associée <	M_SP_TA_1	8	10	0.041				
<b>TC avec Select Before Operate</b>				<b>0.187</b>				
Demande TC SBO (Select) >	C_SC_NA_1	8	7	0.017				
Acquit TC SBO <	C_SC_NA_1	8	7	0.037				
Demande TC SBO (Operate) >	C_SC_NA_1	8	7	0.017				
Acquit TC SBO <	C_SC_NA_1	8	7	0.037				
Exécution TC SBO effective <	C_SC_NA_1	8	7	0.037				
TS associée <	M_SP_TA_1	8	10	0.041				
<b>TS</b>				0.054				
Demande relevé TS >	C_RD_NA_1	8	7	0.017				
Relevé TS (non datées)	M_SP_NA_1	8	7	0.037				
<b>TM</b>				0.048				
Demande relevé TM >	C_RD_NA_1	8	7	0.007				
Relevé TM <	M_ME_NB_1	8	10	0.041				
<b>Evénement Horodatés TS Datées</b>				0.048				
Demandes TS datés >	C_RD_NA_1	8	7	0.007				
Relevé TS datées	M_SP_TA_1	8	10	0.041				

**Tableau 2 :** Temps de réponse

## **Conclusion**

En réalité, l'étude de temps de réponse doit tenir compte, en plus des spécifications du protocole de communication, des paramètres du système SCADA, des paramètres des frontaux de communication, des nombres des postes asservis, des méthodes d'accès, des caractéristiques du support de transmission,...

## **Chapitre IV : Réseau de télécommunication pour un BCC**

## introduction

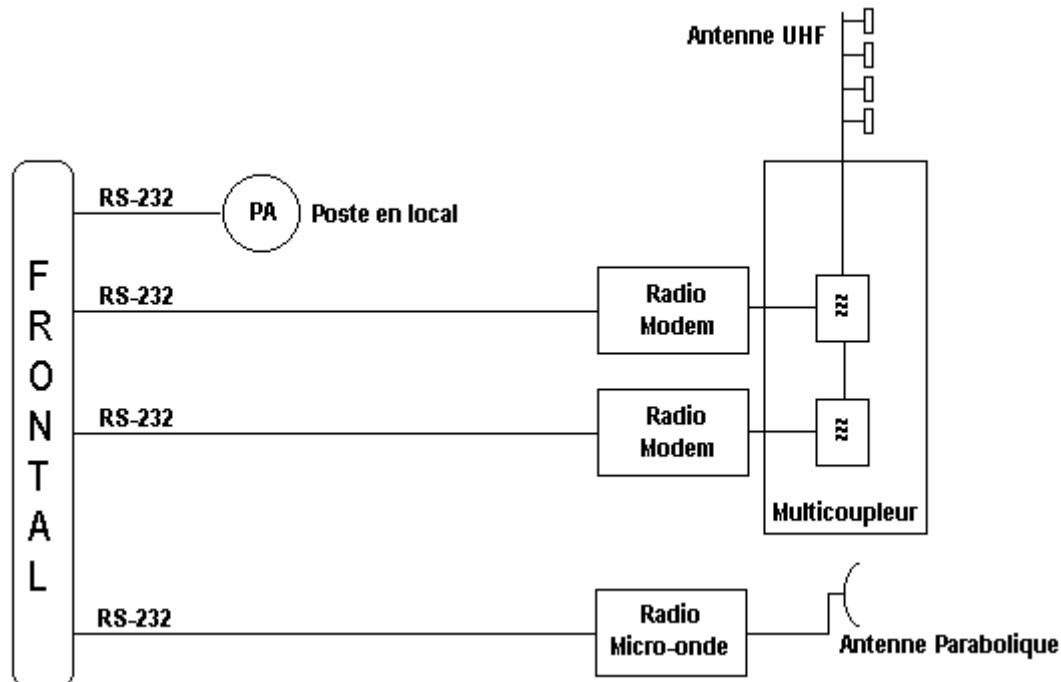
Le réseau de radiocommunication qui servira comme support de transmission dans un projet de BCC doit permettre une couverture radio sûre et fiable de tous les sites à contrôler et on doit tenir compte des contraintes et facteurs de la zone géographique. De ce fait, il faut effectuer des visites des lieux pour réaliser une étude de couverture fiable et précise.

## Configuration du système

Le Bureau Central de Conduite (BCC) est équipé d'une station centrale qui sert à collecter les téléinformations et à transmettre les téléactions entre le BCC et les postes du réseau électrique.

Les équipements radios au niveau du centre sont doublés afin de permettre un passage automatique en liaison secourue sans aucune perte d'information ni dégradation des performances.

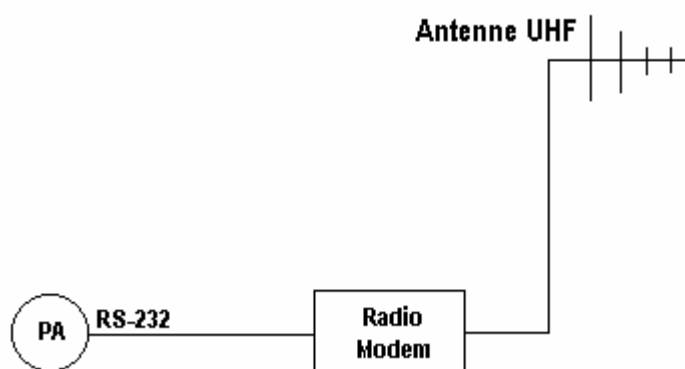
La figure qui suit, montre le schéma de principe de l'installation de radiocommunication du BCC.



**Figure13 :** Schéma de principe de l'installation de radiocommunication du BCC.



La figure ci-dessous, montre le schéma de principe de l'installation de radiocommunication des postes sources, des sous-stations et des OCRs.

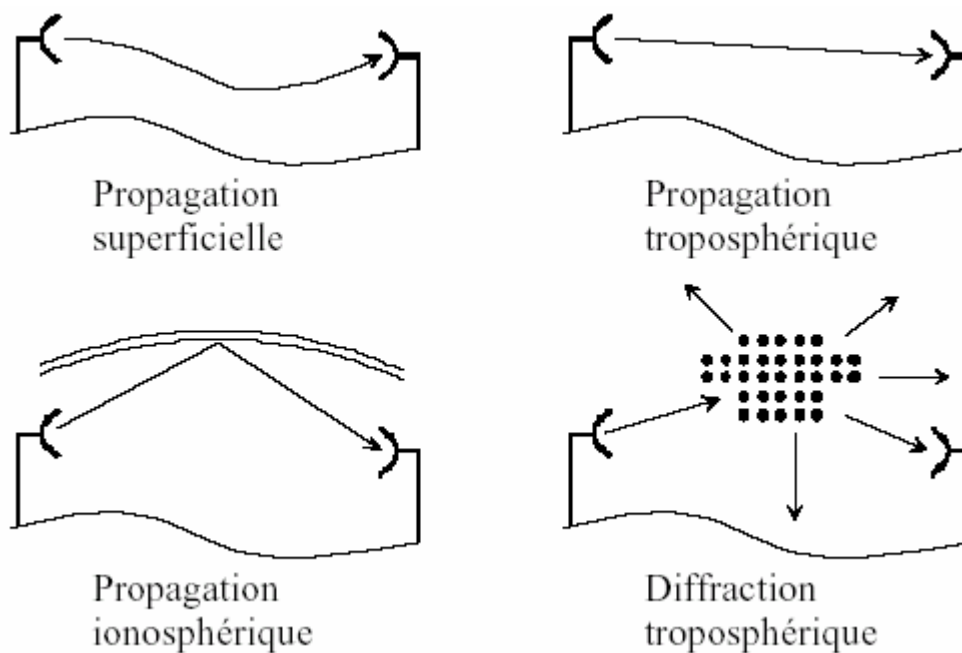


**Figure14 :** Schéma de principe de l'installation de radiocommunication des stations.

## Etude de la propagation

### I. Types de propagation

Entre une antenne d'émission et une antenne de réception, situées au voisinage de la terre, une onde électromagnétique peut suivre quatre trajets différents (voir figure suivante).



**Figure15 :** Types de propagations

## I.1 Propagation superficielle

Encore appelée *onde de sol*. La composante horizontale du champ électrique E interagit avec le sol, générant des pertes. Seule reste la composante verticale de E (on parle de polarisation verticale). Les pertes dues à l'interaction de l'onde avec le sol sont d'autant plus élevées que la fréquence est élevée et que la conductivité du sol est faible; pour cette raison, la portée des transmissions par ondes de surface est élevée pour les ondes longues et moyennes, mais faible pour les ondes courtes et ultracourtes.

## I.2 Propagation ionosphérique

Les couches ionisées de la ionosphère se comportent comme un véritable miroir pour les ondes Electromagnétiques (EM). On constate des *zones d'ombre* dans lesquelles aucune réception n'est possible. A partir d'une fréquence critique, les ondes EM ne sont plus réfléchies et s'échappent de l'atmosphère. Les ondes courtes se propagent principalement de cette manière.

Donc en choisissant convenablement la puissance, le type d'antenne et la fréquence, on peut atteindre pratiquement n'importe quel point de la terre mais ce mode de propagation est peu fiable.

## I.3 Propagation troposphérique

Les ondes se déplacent en ligne droite dans le vide et accomplissent la totalité de leur trajet dans la couche la plus basse de l'atmosphère. Elles sont donc influencées par la météo (pluie, brouillard, etc.) et par les obstacles naturels (montagnes, forêts, etc.) et artificiels (bâtiments élevés). Les problèmes liés à la propagation troposphérique seront traités dans le paragraphe suivant.

# II. Les Faisceaux Hertziens

## II.1 Considérations générales

Les faisceaux hertziens sont un exemple typique de propagation troposphérique. Les principales caractéristiques sont :

- Transmission hertzienne (= par onde électromagnétique) entre deux points fixes
- Bonds de l'ordre de 20 à 100 km.
- Antennes très directives (antennes paraboliques ou antennes Yagi).

- Puissance émise relativement faibles (< 20W)
- Systèmes analogiques (FM) ou numériques (PSK, QAM)
- Domaine de fréquence: 250 MHz à 40 GHz (principalement 2 à 20 GHz)
- Fonctionnement en visibilité directe, éventuellement avec relais passifs.

## II.2 Conditions réelles de propagation

Les faisceaux hertziens se propagent dans la troposphère, couche atmosphérique fortement perturbée par les conditions météorologiques (humidité, pluie, neige, nuages, ..).

La propagation des ondes EM aux fréquences utilisées pour les faisceaux hertziens est donc fortement dépendante du climat et aussi de la topographie. Plusieurs phénomènes physiques entrent en considération.

### a- La réfraction atmosphérique

L'indice de réfraction de l'air dépend directement de sa densité, qui elle, varie avec l'altitude et la température.

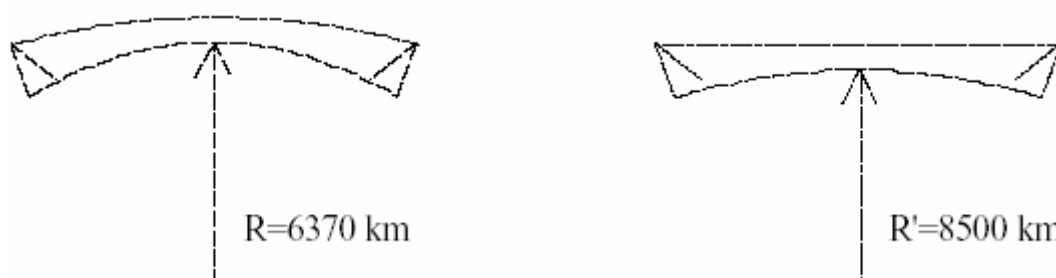
L'indice de réfraction diminue avec l'altitude. La diminution moyenne est linéaire en première approximation.

La direction de propagation est déviée vers l'indice le plus grand, c'est à dire vers le sol. Les ondes se propagent donc avec une courbure dans le même sens que la courbure terrestre.

$$R' = \frac{4}{3} R = 8500 \text{ km} \quad \text{rayon de courbure terrestre fictif}$$

avec  $R = 6370 \text{ km}$  = rayon terrestre normal

On introduit un rayon de courbure terrestre fictif  $R'$ , la figure suivante illustre cette différence apparente de rayon terrestre.

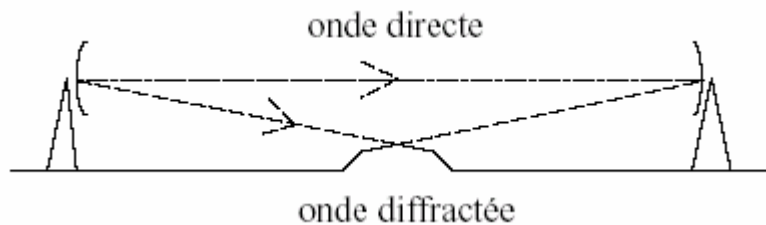


**Figure16: Rayon de courbure**

Le coefficient 4/3 est valable pour les climats tempérés comme en Europe centrale et en Afrique de Nord.

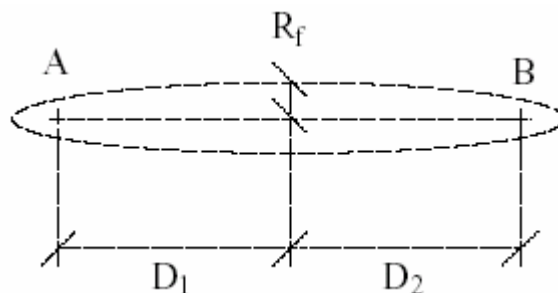
### b- La diffraction sur des obstacles

Lorsqu'une onde électromagnétique rencontre un obstacle, elle est plus ou moins bien réfléchi par celui-ci. L'onde totale est l'addition de l'onde directe avec l'onde diffractée. On dit que les ondes s'additionnent de manière constructive ou destructive.



**Figure17: La diffraction**

Pour minimiser l'effet des diffractions, on évite d'avoir des obstacles dans le **premier ellipsoïde de Fresnel**, défini par un  $\Delta d = \frac{1}{2}\lambda$  (voir figure suivante).



**Figure18: Premier ellipsoïde de Fresnel**

Le rayon de l'ellipsoïde de Fresnel vaut :

$$R_f = \sqrt{\lambda \cdot \frac{D_1 \cdot D_2}{D_1 + D_2}}$$

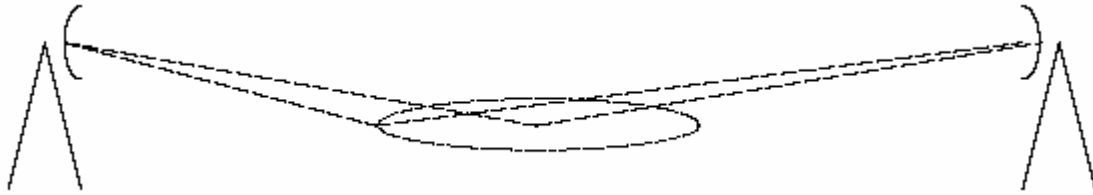
### c- La réflexion

Certaines surfaces sont particulièrement réfléchissantes compte tenu d'un angle d'incidence proche de  $90^\circ$  (plans d'eau, champs de neige, ..). Les coefficients de réflexion des polarisation parallèle et perpendiculaire à la surface tendent vers  $-1$ .

Comme pour la diffraction, il y a addition d'une onde directe et d'une onde réfléchi: Comme les chemins directs et réfléchis ont des longueurs variables à cause de la réflexion, on ne peut pas adapter la hauteur des antennes pour produire une addition constructive.

Donc, on évite d'avoir une surface réfléchissante dans la première zone de Fresnel entourant le point de réflexion géométrique. Cette zone est le lieu des points dont la somme des distances aux antennes d'émission et de réception dépasse de moins d'une demi longueur

d'onde le trajet correspondant à la réflexion géométrique. Elle peut avoir plusieurs kilomètres dans de sens de la transmission (voir figure suivante).



**Figure19 : La réflexion**

#### **d- Les évanouissements (fading)**

Les évanouissements sont dus aux trajets multiples (multiple paths) provenant de réflexions sur des couches d'air à forte variation de densité ou sur d'autres objets réfléchissants imprévisibles.

Les évanouissements dépendent de la saison et du temps. On a déterminé expérimentalement une probabilité  $P$  d'avoir un évanouissement dont la profondeur (affaiblissement maximum pendant l'évanouissement) ne dépasse pas une valeur donnée  $A$  :

$$10 \cdot \log(P) = 35 \cdot \log(L) - A + 10 \cdot \log(f) + K \quad (53)$$

Avec :

- $L$  = longueur du faisceau en km
- $A$  = profondeur maximum de l'évanouissement en dB
- $f$  = fréquence en GHz
- $K = -78,5$  pour le mois le plus mauvais,
- $K = -85,5$  pour une moyenne annuelle.

**L'expression de  $P$  est valable si  $A > 15$  dB et  $L > 20$  km.**

On connaît encore la valeur de l'évanouissement  $A$  qui n'est dépassé que pendant le 20% du temps du mois le plus défavorisé :

$$A = 10 \cdot \log \left( 1 + \frac{L^2 \cdot f^{0,8}}{8500} \right) \quad [\text{dB}]$$

Avec :

- $A$  = profondeur d'évanouissement en dB
- $f$  = fréquence en GHz
- $L$  = longueur du bond en km

### ♦ Techniques contre les évanouissements

Plusieurs techniques sont utilisées contre les évanouissements:

- Limiter la longueur des bonds
- La **diversité en fréquence**: on transmet sur le même faisceau deux porteuses avec des fréquences différentes  $f_{p1}$  et  $f_{p2}$ , avec un écart minimum.
- La **diversité d'espace**: on utilise deux antennes de réception, espacées d'une différence de hauteur  $\Delta h > 150 \cdot \lambda$
- Une **combinaison** des deux techniques de diversité.

## Caractéristiques d'une antenne

Les antennes sont en générales caractérisées par :

- $p(r, \theta, \varphi)$  [W/m<sup>2</sup>] densité de puissance radiale
- $P_F$  [W] puissance fournie à l'antenne
- $P_E$  [W] puissance émise
- $P_R$  [W] puissance reçue
- $D(\theta, \varphi)$  [-] directivité de l'antenne
- $G(\theta, \varphi)$  [-] gain directif de l'antenne
- $G_0$  [-] gain de l'antenne

### I.1 Antenne isotrope

On appelle **antenne isotrope** une antenne théorique rayonnant uniformément dans toutes les directions de l'espace. Une telle antenne n'a donc pas de direction de propagation privilégiée; on dit qu'elle n'est pas **directive**.

A une distance  $r$  la densité de puissance vaut :

$$p_{iso}(r, \theta, \varphi) = \frac{P_E}{4\pi \cdot r^2} \quad [\text{W/m}^2]$$

Si l'antenne isotrope est intéressante pour le calcul théorique, il est important de noter qu'elle est impossible à réaliser dans la pratique...

### I.2 La Directivité d'une antenne

La **directivité** (parfois appelée **gain directionnel**, ce qui porte à confusion...) d'une antenne

est définie ainsi :  $D(\theta, \varphi) = \frac{p(r, \theta, \varphi)}{P_{iso}}$

On admet que  $P_{\text{iso}}$  est la densité de puissance émise par une antenne isotrope qui aurait la même puissance émise  $P_E$ .

La directivité indique dans quelles directions la densité de puissance est meilleure ou moins bonne que celle de l'antenne isotrope. La directivité ne dépend pas de  $r$ , car les deux densités décroissent en  $1/r^2$ .

### I.3 Gain en puissance et rendement

Le rendement d'une antenne est défini ainsi :  $\eta = \frac{P_E}{P_F}$  [%]

Le **gain en puissance** dépend de la fréquence du signal émis. Il est très faible aux basses fréquences mais atteint des valeurs de 75% à 95% pour des fréquences supérieures à 1 MHz.

Les différents gains en puissance d'une antenne sont les suivants :

$$\text{Gain directif : } G(\theta, \varphi) = \eta \cdot D(\theta, \varphi)$$

$$\text{Gain : } G_0 = \max(G(\theta, \varphi))$$

Le gain d'une antenne correspond au meilleur gain directif dans une (éventuellement plusieurs) direction(s). Les plus grands gains sont obtenus avec des antennes paraboliques (20 à 60 dB).

Il faut noter qu'une antenne est un élément strictement passif qui n'amplifie pas le signal, donc son gain, par définition, représente la concentration de puissance dans une direction privilégiée par rapport à une antenne isotrope sans pertes.

On déduit des équations précédentes la densité de puissance d'une antenne par rapport à la puissance fournie  $P_F$  :

$$p(r, \theta, \varphi) = G(\theta, \varphi) \cdot \frac{P_F}{4\pi \cdot r^2} \quad [\text{W/m}^2]$$

De fait, le gain en puissance d'une antenne est un paramètre plus intéressant que sa directivité; en effet, comme le rendement  $\eta$  est inclus, on peut calculer la densité de puissance en introduisant directement la valeur de la puissance fournie  $P_F$ .

### I.4 La Puissance Isotrope Rayonnée (PIRE)

Dans la direction optimale du lobe principal, le gain directif  $G(\theta, \varphi)$  est égal à  $G_0$ . On définit la **puissance isotrope rayonnée** de la manière suivante :

$$\text{PIRE} = G_0 \cdot P_F \quad [\text{W}]$$

Dans cette direction privilégiée, on a donc la densité de puissance suivante :

$$p(r) = \frac{PIRE}{4\pi \cdot r^2} \quad [W/m^2]$$

Quand on utilise une antenne directive (par exemple une antenne parabolique), il est clair qu'on va chercher à l'orienter de manière optimale pour avoir  $G(\theta, \varphi) = G_0$  dans la direction choisie. Dans ce cas, la PIRE suffit pour connaître la densité de puissance à une distance  $r$  quelconque.

## I.5 L'affaiblissement en espace libre

Le calcul qui suit s'applique particulièrement aux liaisons à visibilité directe (propagations troposphériques, faisceaux hertziens, liaisons par satellite, etc.). On néglige l'influence du sol et les pertes atmosphériques.

Paramètres de l'émetteur :

- $P_F$  [W] Puissance fournie
- $PdBW_F$  [dBW] Puissance fournie en dBW
- $G_E$  [-] Gain de l'antenne d'émission
- $GdB_E$  [dB] Gain de l'antenne d'émission en dB

Paramètres du récepteur :

- $P_R$  [W] Puissance reçue
- $PdBW_R$  [dBW] Puissance reçue en dBW
- $G_R$  [-] Gain de l'antenne de réception
- $GdB_R$  [dB] Gain de l'antenne de réception en dB
- Distance entre les antennes  $r$  [m]

Les gains en dB et les puissances en dBW répondent aux relations suivantes :

$$GdB = 10 \cdot \log(G) \quad \Leftrightarrow \quad G = 10^{\frac{GdB}{10}}$$

$$PdBW = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{1W}\right) \quad \Leftrightarrow \quad P = 10^{\frac{PdBW}{10}} \cdot 1W$$

On calcule la puissance reçue :

$$P_R = (p \cdot A_{eq}) = \left(\frac{P_F \cdot G_E}{4\pi \cdot r^2}\right) \cdot \left(\frac{G_R \cdot \lambda^2}{4\pi}\right) = G_E \cdot G_R \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot r}\right)^2 \cdot P_F$$

L'affaiblissement de la liaison, exprimé en dB, est le suivant :



$$AdB = 10 \cdot \log\left(\frac{P_F}{P_R}\right) = PdBW_F - PdBW_R$$

$$AdB = -10 \cdot \log(G_E) - 10 \cdot \log(G_R) - 20 \cdot \log\left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot r}\right)$$

$$AdB = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi \cdot r}{\lambda}\right) - GdB_E - GdB_R$$

On appelle **affaiblissement isotrope** le terme :

$$A_{iso} = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi \cdot r}{\lambda}\right) \quad [dB]$$

Donc :

$$AdB = A_{iso} - GdB_E - GdB_R \quad [dB]$$

En résumé :

$$AdB = 10 \cdot \log\left(\frac{P_F}{P_R}\right) = PdBW_F - PdBW_R = A_{iso} - GdB_E - GdB_R$$

## Bilan de liaison

L'étude de la propagation des ondes radio, des caractéristiques du milieu de propagation et les paramètres des équipements de radiocommunication permet d'établir le bilan de liaison entre deux stations.

Toutes les formules précédentes ont été programmées dans une application afin de faciliter la réalisation de ce bilan et évaluer la disponibilité de cette liaison. Ainsi, à partir des paramètres des deux stations (figure 20) et les paramètres du milieu de transmission (figure 21) on obtient le bilan de liaison (figure 22).

### I. Les paramètres des stations

Ces paramètres sont en général ceux des antennes, des câbles de transmission, des connecteurs,...

Les paramètres des équipements sont fournis directement par les constructeurs ou ils sont retrouvés dans les fiches techniques ou les revues scientifiques. Les paramètres les plus importants sont :

- Hauteur de l'antenne (m)
- Gain de l'antenne (dB)
- Perte de mésalignement (dB)
- Perte de ligne de transmission (dB)
- Perte aux connecteurs (dB)
- Perte du multi-coupleur RX (dB)
- Puissance TX(watts)
- Sensibilité RX ( $\mu$ V)

**Paramètres de la Station A**

Paramètres de la station A  
Veuillez remplir les champs vides.

Modèle de l'antenne	Station A
Hauteur de l'antenne (m)	50
Gain de l'antenne (dB)	10
Perte de mésalignement (dB)	1
Longueur de la ligne de transmission (m)	5
Perte unitaire (dB/100m)	1.3
Perte de ligne de transmission (dB)	0.07
Perte aux connecteurs (dB)	2
Perte du combineur TX (dB)	3
Puissance TX (watts)	25
Puissance TX (dBm)	43.98
Sensibilité RX (microV)	1
Sensibilité RX (dBm)	-106.99

Précédent   Annuler   Suivant

**Figure20 : paramètres d'une station**

## II. Les paramètres du milieu de transmission

Ces paramètres sont :

- La fréquence de transmission
- La longueur du parcours
- Les pertes en espace libre
- Les pertes par diffraction
- Les facteurs climat et terrain

Paramètres du bond	
Veuillez remplir les champs vides.	
Fréquence (MHZ)	450
Polarisation (H/V)	HORIZONTALE
Longueur du parcours (Km)	50
Perte en espace libre (dB)	119.49
Perte par diffraction (dB)	12
Facteur de terrain	Moyen: 1
facteur de climat	Tempéré: 0.25

Précédent   Annuler   Bilan

**Figure21 :** Les paramètres du milieu

### III. Le résultat : bilan de liaison

Le bilan de liaison résume les précédents paramètres avec les calculs de conversion des unités et fournit les valeurs des paramètres suivants nécessaires pour la vérification et l'évaluation de la conformité et la disponibilité de la liaison :

- Le signal de réception ( $\mu\text{V}$ , dBm)
- La puissance apparente rayonnée (Watts, dBm)
- Marge d'évanouissement (dB)
- Probabilité d'évanouissement (%)
- La disponibilité de la liaison (%)

## BILAN DE LIAISON

Modèle de l'antenne	Antenne A	Antenne B	
Hauteur de l'antenne (m)	50	10	
Gain de l'antenne (dB)	10.65	12.15	Disponibilité : 99.9990 %
Perte de mésalignement (dB)	9.72	0.03	
Longueur de la ligne de transmission (m)	60	20	Terrain Lisse
Perte unitaire (dB/100m)	2.74	4.96	
Perte de ligne de transmission (dB)	1.64	0.99	Climat Chaud et Humide
Perte aux connecteurs (dB)	1	1	
Perte du combineur TX (dB)	3	0	
Perte du multi-coupleur RX (dB)	0	3	
Fréquence (MHZ)	450		
Polarisation	VERTICALE		
Longueur du parcours (Km)	18.3		
Perte en espace libre (dB)	110.78		
Perte par diffraction (dB)	11.3		
Puissance TX (watts)	25	25	
Puissance TX (dBm)	43.98	43.98	
Sensibilité RX (microV)	1	1	
Sensibilité RX (dBm)	-106.99	-106.99	
Signal de réception (microV)	51.94	51.94	
Signal de réception (dBm)	-72.68	-72.68	
Puissance Apparente Rayonnée (watts)	48.31	158.12	
Puissance Apparente Rayonnée (dBm)	46.84	51.99	
Marge d'évanouissement (dB)	34.31	34.31	
Probabilité d'évanouissement (%)	9.81E-04	9.81E-04	

Figure22 : Bilan de liaison

## IV. Application : Réseau de communication du BCC Centre

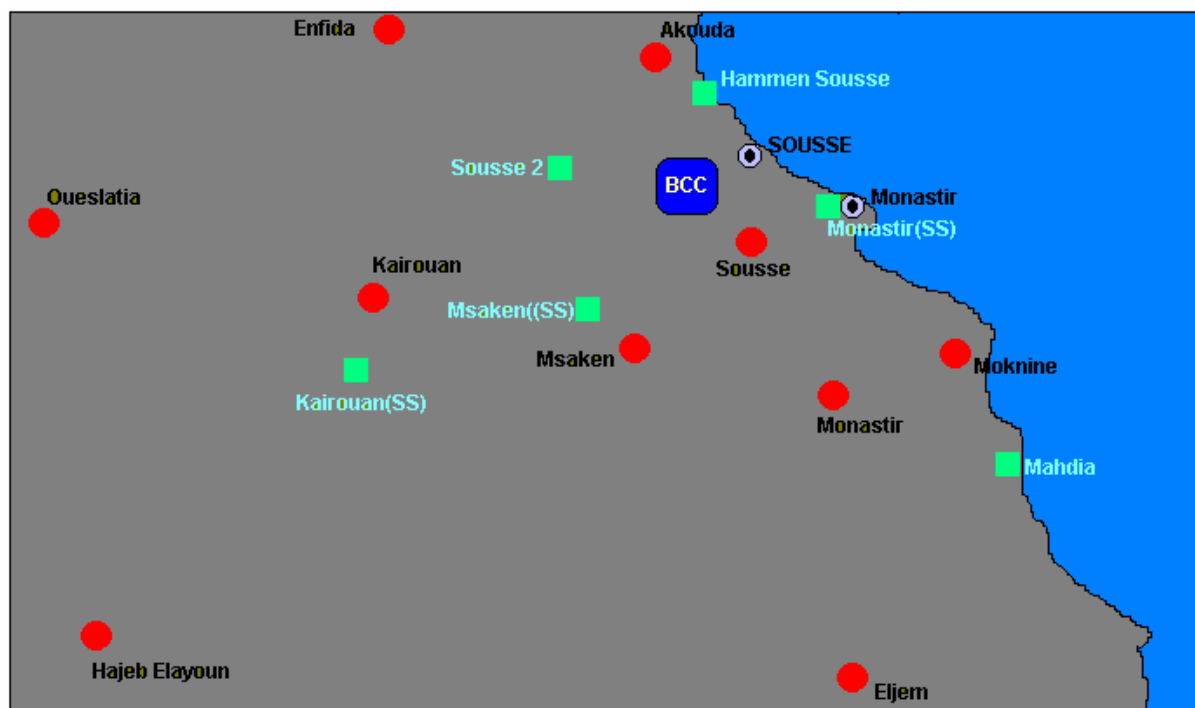
## IV.1 Configuration du système

Le bureau Central de Conduite de la région Centre a pour rôle la téléconduite des ouvrages cités dans le tableau suivant :

Poste sources	Sous Stations
SOUSSE	SOUSS I
OUESLATIA	SOUSSE II
ELJEM	HAMMAM SOUSSE
HAJEB LAYOUN	MAHDIA
AKOUDA	MSAKEN
KAIROUAN	KAIROUAN
ENFIDA	MONSTIR
MOKNINE	
MSAKEN	
MONASTIR	

Tableau 3 : Ouvrages gérés par le BCC

L'emplacement géographique des ces ouvrages est illustré approximativement sur la figure suivante :



**Figure23 : Les ouvrages du BCC Centres**

Le système du réseau de communication est basé sur une station centrale localisée au Bureau Central de Conduite. Cette station maîtresse couvrira toute la zone côtière :

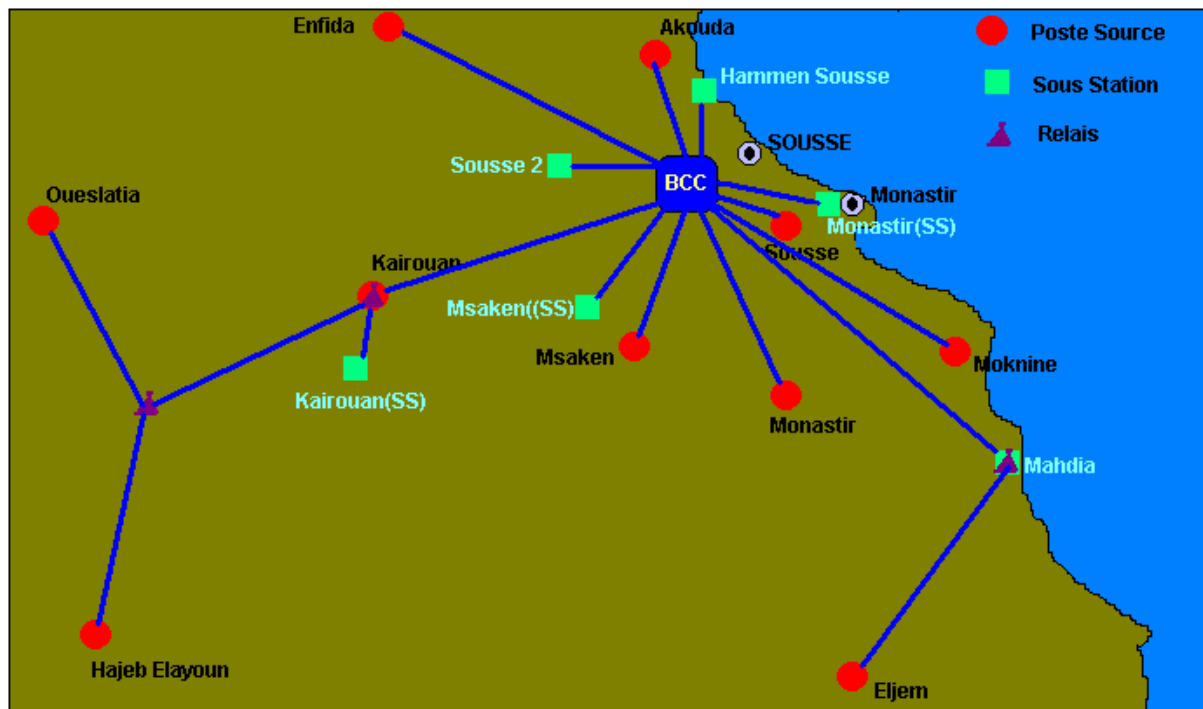
- Les postes sources : Enfida, Akouda, Sousse, Msaken, Monastir, Moknine, Kairouan
- Les Sous Stations : Hammam Sousse, Mahdia, Sousse 2, Msaken, Monstir

Afin d'atteindre les postes sources de Oueslatia, de Hajeb Elayoun et de la sous station Kairouan il est nécessaire d'installer des stations relais dont l'emplacements exactes sont déterminés une fois les caractéristiques du terrain sont connus.

Une autre station relais s'avère nécessaire pour atteindre le poste source Eljem vue la grande distance entre ce dernier et le Bureau Central de Conduite.

Les stations relais permettent une couverture de la quasi totalité du territoire sous la responsabilité du BCC de la région Centre et assurent la couverture de tous les postes sources, les sous stations et les ORC. D'autre part l'attribution des fréquences dépend des couples de fréquences disponibles.

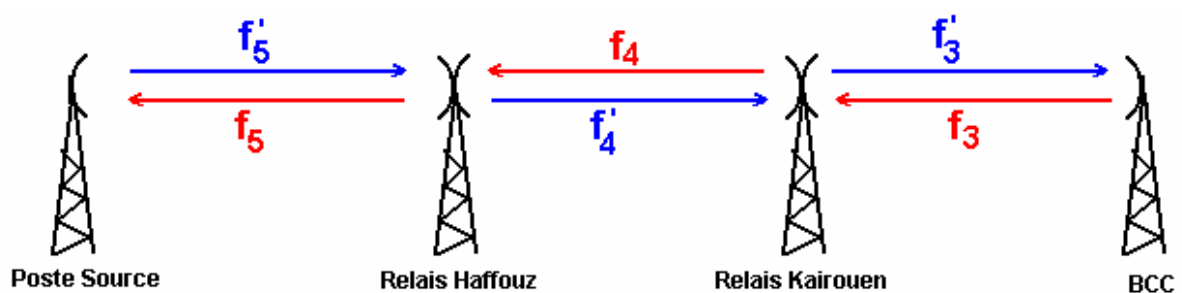
La figure suivante présente un schéma synoptique du réseau, incluant les postes sources et les stations relais. Il est à noter que cette étude de couverture n'est que préliminaire et devra être validée lors de la phase de l'ingénierie détaillée.



**Figure24 :** Schéma synoptique du réseau

## IV.2 Etude d'un exemple

La liaison à étudier est celle du Bureau Central de Conduite et du poste source Ouslatia. Cette liaison fait intervenir, figure ci-dessous, deux stations relais vue la distance qui les sépare et les contraintes du terrain du secteur Ouest et sud-Ouest de Kairouan.



**Figure25 :** Liaison BCC-Poste Source

L'outil de calcul de bilan de liaison défini précédemment permet de fournir les résultats des différents parcours entre le BCC et la Poste Source. Ces résultats sont présentés dans les tableaux suivants.

## BILAN DE LIAISON

Modèle de l'antenne	BCC	Kairouan	
Hauteur de l'antenne (m)	50	70	
Gain de l'antenne (dB)	11	12	Disponibilité : 99.99%
Perte de mésalignement (dB)	0.1	0.1	
Longueur de la ligne de transmission (m)	60	80	Terrain Moyen
Perte unitaire (dB/100m)	2.5	4	
Perte de ligne de transmission (dB)	1.50	3.20	Climat Tempéré
Perte aux connecteurs (dB)	1	1	
Perte du combineur TX (dB)	3		
Perte du multi-coupleur RX (dB)		3	
Fréquence (MHZ)	450		
Polarisation	VERTICALE		
Longueur du parcours (Km)	45		
Perte en espace libre (dB)	118.57		
Perte par diffraction (dB)	15		
Puissance TX (watts)	5	5	
Puissance TX (dBm)	36.99	36.99	
Sensibilité RX (microV)	0.71	0.71	
Sensibilité RX (dBm)	-110	-110	
Signal de réception (microV)	14.98	14.98	
Signal de réception (dBm)	-83.48	-83.48	
Puissance Apparante Rayonnée (watts)	46.06	46.30	
Puissance Apparante Rayonnée (dBm)	40.35	42.65	
Marge d'évanouissement (dB)	26.52	26.52	
Probabilité d'évanouissement (%)	1.37E-03	1.37E-03	

Figure26 : Bilan de liaison BCC-Kairouan

## BILAN DE LIAISON

Modèle de l'antenne	Kairouan	Haffouz	
Hauteur de l'antenne (m)	70	50	
Gain de l'antenne (dB)	11	12	Disponibilité : 99.9 %
Perte de mésalignement (dB)	0.1	0.05	
Longueur de la ligne de transmission (m)	80	60	Terrain Moyen
Perte unitaire (dB/100m)	2.5	5	
Perte de ligne de transmission (dB)	2.00	3.00	Climat Tempéré
Perte aux connecteurs (dB)	1	1	
Perte du combineur TX (dB)	0		
Perte du multi-coupleur RX (dB)		0	
Fréquence (MHZ)	450		
Polarisation	VERTICALE		
Longueur du parcours (Km)	43		
Perte en espace libre (dB)	118.18		
Perte par diffraction (dB)	18		
Puissance TX (watts)	5	5	
Puissance TX (dBm)	36.99	36.99	
Sensibilité RX (microV)	0.71	0.71	
Sensibilité RX (dBm)	-110	-110	
Signal de réception (microV)	15.22	15.22	
Signal de réception (dBm)	-83.34	-83.34	
Puissance Apparente Rayonnée (watts)	46.32	46.32	
Puissance Apparente Rayonnée (dBm)	42.85	42.85	
Marge d'évanouissement (dB)	26.66	26.66	
Probabilité d'évanouissement (%)	1.16E-03	1.16E-03	

Figure27 : Bilan de liaison Kairouan-Haffouz



### BILAN DE LIAISON

Modèle de l'antenne	Haffouz	Ouesletia	
Hauteur de l'antenne (m)	50	50	
Gain de l'antenne (dB)	11	12	Disponibilité : 100.00 %
Perte de mésalignement (dB)	1.5	0.05	
Longueur de la ligne de transmission (m)	60	60	Terrain Moyen
Perte unitaire (dB/100m)	2.5	5	
Perte de ligne de transmission (dB)	1.50	3.00	Climat Tempéré
Perte aux connecteurs (dB)	1	1	
Perte du combineur TX (dB)	0		
Perte du multi-coupleur RX (dB)		0	
Fréquence (MHZ)	450		
Polarisation	VERTICALE		
Longueur du parcours (Km)	21		
Perte en espace libre (dB)	111.95		
Perte par diffraction (dB)	28.5		
Puissance TX (watts)	5	5	
Puissance TX (dBm)	36.99	36.99	
Sensibilité RX (microV)	0.71	0.71	
Sensibilité RX (dBm)	-110	-110	
Signal de réception (microV)	08.39	08.39	
Signal de réception (dBm)	-88.51	-88.51	
Puissance Apparante Rayonnée (watts)	46.37	46.32	
Puissance Apparante Rayonnée (dBm)	43.35	42.85	
Marge d'évanouissement (dB)	21.49	21.49	
Probabilité d'évanouissement (%)	4.44E-04	4.44E-04	

**Figure28 : Bilan de liaison Haffouz-Ouesletia**

## Conclusion

L'étude précédente était une application des formules de la théorie des ondes radio, de la propagation et des paramètres des équipements des radiocommunications. Cette étude a été appliquée pour réaliser le réseau de communication du Bureau Central de Conduite, mais cette étude de la couverture n'est que préliminaire et devra bien sur être validée ou rectifiée lors de l'élaboration d'un projet réel. Toutes les hauteurs d'antennes et de leurs supports, les valeurs de pertes et des puissances des équipements mentionnées sont approximatives et devront être optimisées, ces valeurs pourront donc varier à la baisse ou la hausse lorsque des informations plus précises seront disponibles.

## Conclusion générale

Ce projet s'intitulant « Etude du réseau de téléconduite des réseaux de distribution – BCC » a été effectué au sein de la société ALSTOM T&D Protection & Contrôle basée à LEPECQ.

Les thèmes qui ont été évoqués dans ce projet sont les différents éléments fonctionnels d'un Bureau Central de conduite à savoir :

- L'étude du système SCADA/DMS, ses caractéristiques, ses différents modules et les différentes architectures possibles pour un tel système.
- L'étude d'une part de l'architecture matérielle et logicielle des postes asservis et la réalisation des tests afin de maîtriser le principe de communication entre les postes asservis et le système SCADA/DMS.
- L'étude du protocole de communication CEI 870-5-101 qui a représenté un outil pour la compréhension, la maîtrise et l'évaluation des postes asservis à installer dans un projet de Bureau Central de Conduite.
- L'étude du système de radiocommunication était une opportunité de s'informer sur des différentes contraintes qui doivent être prises en ligne de compte lors de la mise en place d'un tel système destiné au réseau électrique. Cette étude a permis de mettre en place un outil pour le calcul du bilan de liaison et d'estimer le réseau de communication pour le Bureau Central de Conduite.

Personnellement, ce projet m'a permis de mettre à profit mes connaissances théoriques sur les systèmes de téléconduites, les normes internationales qui s'appliquent à la téléconduite d'équipements et des systèmes de radiocommunications

Ce projet m'a donné l'opportunité de découvrir non seulement une entreprise dans sa structure et dans ses activités, mais aussi un autre esprit de travail au sein d'un groupe homogène qui vous aide à prendre conscience de l'importance de la technologie dans le domaine de la téléconduite.

Mieux encore, c'était l'occasion de me familiariser avec la réalité industrielle, tant au niveau des relations humaines, qu'au niveau des procédures et des techniques utilisées pour l'étude et l'évaluation des projets industriels.

# Bibliographie

## ♦ LA SOCIETE ALSTOM

- Site ALSTOM : [WWW.ALSTOM.COM](http://WWW.ALSTOM.COM)
- Documentations ALSTOM T&D LEPECQ

## ♦ LE PROTOCOLE CEI 870-5-101

- CEI 870-5-1: 1990, Matériels et systèmes de téléconduite – Cinquième partie : Protocoles de transmission – Section 1 : Formats de trames de transmission
- CEI 870-5-2 : 1992, Matériels et systèmes de téléconduite – Partie 5 : Protocoles de transmission – Section 2 : Procédures de transmission de liaison de données
- CEI 870-5-3 : 1992, Matériels et systèmes de téléconduite – Partie 5 : Protocoles de transmission – Section 3 : Structure générale des données d'application
- CEI 870-5-4 : 1993, Matériels et systèmes de téléconduite – Partie 5 : Protocoles de transmission – Section 4 : Définition et codage des éléments d'information d'application
- CEI 870-5-5 : 1995, Matériels et systèmes de téléconduite – Partie 5 : Protocoles de transmission – Section 5 : Fonctions d'application fondamentales

## ♦ Les postes asservis S900

- S900 Description technique
- S900 Description logicielle

## ♦ Les réseaux de communication

- [www.enst.fr](http://www.enst.fr)
- [www.antennes.com](http://www.antennes.com)
- Cahier de charge : Projet de BCC de la Région de Tunis

## ♦ Les réseaux de distribution

- Cours de distribution : M Chedli Jeddi

## Résumé

Ce rapport s'inscrit dans le cadre de mon projet de fin d'études de MASTERE spécialisé en télécommunication que j'ai effectué au sein de la société **ALSTOM** T&D Protection & contrôle basée à **LEPECQ**.

L'objet de ce rapport est l'analyse des différents éléments fonctionnels d'un Bureau Central de Conduite dont le rôle est la téléconduite des réseaux de distribution. Ces éléments sont :

- **Le système SCADA/DMS** : système informatique assurant la surveillance d'équipements électriques, mécaniques ou électroniques d'un réseau, tout en permettant aux opérateurs de traiter, en temps réel, les différents types d'incidents.
- **Les postes asservis** : des calculateurs assurant le traitement des entrées-sorties conventionnelles, la communication avec des équipements électroniques intelligents et la réalisation de la fonction d'un enregistreur d'événements.
- **Le Protocole CEI 870-5-101** : protocole définissant les messages et leurs structures entre le système SCADA/DMS et les postes asservis.
- **Le réseau de communication** : le réseau jouant le rôle de support de transmission des données entre le Centre de téléconduite et les postes asservis.