

Etudiant :

M. MAHECOR DIOUF

INSA Strasbourg
5ème Année Génie Electrique
Année Universitaire : 2012/2013

Rapport de stage

Prise de diagnostic dans les sous-stations de traction

Effectué chez : SNCF INFRAPOLE - Agence EALE PSE

16 Rue Chrétien de Troyes 75012, Paris-France

Du 04/02/2013 au 31/07/2013



Tuteurs :

Mme. Natacha NGO 

M. Jacques CAVELIER 

Fiche Objectifs.

Les sous-stations de traction sont constituées de plusieurs cellules de départ en 1500V possédant chacune son automatisme. Dans les anciennes sous-stations, l'automatisme est assuré par un ensemble de relais.

En cas de blocage du disjoncteur, l'opérateur doit vérifier chaque relais pour trouver la panne. Et à cause de la recrudescence de jeunes embauchés qui n'ont pas eu un temps de formation adéquat à la lecture de schémas électrotechniques, cet outil permettra une aide au dépannage et à la formation.

Il s'agit d'équiper les départs de voies 1500V (schéma type A7) des sous-stations d'une prise de diagnostic sur laquelle brancher un équipement d'analyse (ordinateur portable) pour identifier au plus vite la fonction et le relais en cause.

Résumé.

La SNCF (Société Nationale des Chemins de fer Français) est une entreprise publique française opérant dans le transport ferroviaire.

SNCF INFRA (pour infrastructure) est la branche du Groupe SNCF qui réalise, pour le compte de Réseau Ferré de France (RFF), la gestion, l'exploitation et la maintenance du réseau ferré national. Elle est également dotée d'un centre d'ingénierie spécialisé dans les infrastructures ferroviaires.

J'ai effectué mon stage dans le cadre de l'amélioration de la maintenance (la recherche de défaut) des départs disjoncteur 1500V de type A7 au sein du Groupe d'Appui de l'Agence EALE (Equipements d'Alimentation des Lignes Electrifiées) de Paris Sud-Est.

J'ai du concevoir un outil d'aide au dépannage constitué d'une interface électronique d'acquisition de l'état des relais du départ disjoncteur et d'un logiciel de diagnostic des pannes.

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

The SNCF (Société Nationale des Chemins de fer Français – “*French railways National Company*”) is France's national state-owned railway company.

SNCF INFRA is the infrastructure division of the SNCF Group, and carries out track and other infrastructure maintenance, design and construction. In addition, it includes an engineering center specializing in railway infrastructures.

I did my internship in a maintenance improvement purpose of the 1500V A7 type circuit breaker within the EALE (Electrified lines supplies equipments) agency of Paris Sud-Est.

I had to design an electronic device and software system in order to analyze the A7 circuit breaker closing default.

Sommaire

Fiche Objectifs.....	1
Résumé.....	2
Remerciements.....	5
Introduction.....	6
1. Présentation de l'entreprise.....	7
1.1. Présentation de La SNCF.....	7
1.1.1. Historique.....	7
1.1.2. Organisation.....	8
1.2. Présentation de SNCF INFRA.....	10
1.3. Présentation de l'Agence EALE.....	12
1.3.1. Le Groupe d'Appui.....	13
1.3.2. Unité de production Régulation.....	14
1.3.3. Unité de production Maintenance.....	15
1.4. Reforme du système ferroviaire.....	15
2. Planning et Cahier de charges.....	16
2.1. Déroulement - activités prévus.....	16
2.2. Description de la prise.....	17
2.3. Interface Homme-Machine.....	18
3. Réalisations.....	19
3.1. Analyse fonctionnelle d'un départ A7.....	19
3.1.2. Mise en veille du départ.....	20
3.1.3. Disjoncteur en volontaire.....	20
3.1.4. Mise en service asservissement.....	21
3.1.5. Disjoncteur en commandant.....	22
3.1.6. Disjoncteur en commandé.....	22
3.1.7. Le réenclencheur.....	23
3.2. Etude des modes de défaillance et diagnostic associé.....	24
3.2.2. Défaut de veille.....	24
3.2.3. Blocage disjoncteur en volontaire.....	24

3.2.4. Défaut asservissement.....	25
3.3. Etude d'intégration de la prise de diagnostic.....	28
3.4. Conception du système.....	28
3.4.2. Principe de fonctionnement.....	28
3.4.3. Protocole de communication.....	29
3.4.4. Dimensionnement et choix des éléments du système.....	31
3.4.5. Schémas électriques.....	37
3.4.6. Cartes réalisées.....	39
3.4.7. Programmation du microcontrôleur.....	41
3.4.8. L'Interface Homme Machine (IHM).....	43
4. Bilan financier.....	48
Bilan - Conclusion.....	49
Bibliographie.....	51

Remerciements

Avant tout développement de ce rapport sur mon expérience à l'INFRAPOLE de Paris Sud-Est, il apparaît opportun d'adresser mes sincères remerciements à :

- Mon établissement INSA de Strasbourg qui m'a permis de poursuivre mes études et d'être sur la voie de réaliser mon projet professionnel et à tous les professeurs de la section Génie Electrique pour leurs conseils et leurs disponibilités.
- Monsieur CAVELIER Jacques (Dirigeant Groupe d'Appui), de m'avoir accueilli au sein du Groupe d'Appui de l'Agence EALE.
- Monsieur TABIB Akram (Dirigeant de l'Agence EALE)
- Aux agents de maintenance du GREN de Paris, qui m'ont accueilli pour que je puisse effectuer des tests de mon système.

Mes remerciements vont aussi à tout le personnel du Groupe d'Appui et aux régulateurs sous-station pour leur disponibilité, leur soutien et leur accompagnement. Ils m'ont beaucoup appris et aidé au cours de cette expérience professionnelle et ce avec beaucoup de patience et de pédagogie.

J'aimerais enfin remercier l'ensemble des personnes qui ont eu la gentillesse de faire de ce stage un moment très profitable.

Introduction.

La dernière année de formation d'un ingénieur Génie Electrique de l'INSA de Strasbourg se complète par un stage (PFE) en entreprise de 20 semaines environ. Celui-ci constitue une étape obligatoire pour l'obtention du diplôme.

C'est dans ce cadre que j'ai effectué mon projet de Fin d'Etudes au sein du Groupe SNCF – INFRAPOLE Paris Sud-Est, situé au centre Henri Lang, 16 Rue Chrétien de Troyes, Paris. Qui est pour moi l'entreprise idéale pour un étudiant en génie électrique de réaliser un stage de fin d'études.

Au cours de ce stage au service de l'Agence EALE (Equipements d'Alimentation des Lignes Electrifiées) de Paris Sud-Est, j'ai pu réaliser un outil d'aide au dépannage des départs de disjoncteur type A7.

Cela a consisté à faire une analyse du fonctionnement général d'un schéma A7, étudier les différents modes de défaillances, étudier aussi l'intégration d'une prise sur un départ disjoncteur et enfin développer un système électronique et informatique d'analyse des pannes.

L'élaboration de ce rapport a pour but, de rendre compte de manière fidèle et analytique les 6 mois passés au sein de l'entreprise. Il apparaît donc logique de présenter à titre préalable l'entreprise et son secteur d'activité, d'un point de vue structurel et fonctionnel. Ensuite je détaillerai de manière générale les différentes tâches que j'ai réalisées durant ce stage ainsi que le savoir-faire acquis lors de cette expérience.

Enfin je conclurai ce rapport par un bilan global, les apports humains et techniques de ce stage afin de souligner les compétences que j'ai pu développer et de faire le lien de cette expérience avec mon projet professionnel.

1. Présentation de l'entreprise.

1.1. Présentation de La SNCF.

1.1.1. Historique.

1937 : La Société Nationale des Chemins de fer Français (SNCF) est créée pour une durée de 45 ans.



1983 : La loi d'orientation des transports intérieurs (LOTI) crée l'**EPIC** SNCF (Etablissement Public Industriel et Commercial). La signature de conventions de gestion entre la SNCF et les Régions peut commencer.

1997 : Création de **RFF** (Réseau Ferré de France), propriétaire du réseau ferré français. Il est chargé du financement, du développement, de la cohérence et de la mise en valeur du réseau. La SNCF assure désormais deux missions distinctes :

- Transporteur et exploitant du réseau.
- Gestionnaire de l'infrastructure délégué.



2001: Inauguration de la LGV Méditerranée par le Président de la République Jacques Chirac.

2001: Les régions deviennent Autorité Organisation de transport ferroviaire. Elles perçoivent de l'état un budget de fonctionnement et formulent leurs exigences dans une convention passée avec la SNCF.

2003 : Les trains classiques font un saut qualitatif avec le lancement de Corail TéoZ. Cette année-là, le marché du fret ferroviaire européen est ouvert à la concurrence. Cela impose notamment la séparation de la gestion de l'infrastructure et de l'exploitation ainsi que la distinction du gestionnaire de l'infrastructure et des entreprises ferroviaires.

2007 : TGV remporte un nouveau **record mondial** de vitesse sur rail avec 574,8 Km/h sur la ligne grande vitesse Est Européenne (Strasbourg, Allemagne et Luxembourg).



2009 : Le marché ferroviaire français s'ouvre à la concurrence pour les trafics internationaux de voyageurs.

2010 : Le transport public devient la première activité du groupe SNCF en volume avec 10 milliards de chiffre d'affaires attendus.

1.1.2. Organisation.

La SNCF est l'un des premiers groupes mondiaux de mobilité et de logistique, avec une présence dans 120 pays, de 245 000 collaborateurs en 2011.

Son chiffre d'affaire est de **32,6 milliards d'euros** dont 23% à l'international et plus.

Le groupe est composé de la maison mère EPIC, et s'appuie sur 5 branches d'activités :

- **SNCF Infra** : qui s'occupe de la gestion, l'exploitation, l'entretien, la maintenance et l'ingénierie d'infrastructure à dominante ferroviaire.
- **SNCF Proximité** : chargée du transport public de voyageurs urbains, déplacement et régional.
- **SNCF Voyage** : qui s'occupe du transport ferroviaire de voyageurs à longue distance et à grande vitesse.
- **SNCF Géodis** : qui se charge du transport et de la logistique des marchandises.
- **Gares et connexion** : a pour mission la gestion et le développement des gares.

La contribution au chiffre d'affaires par branche d'activité se compose de la manière suivante :

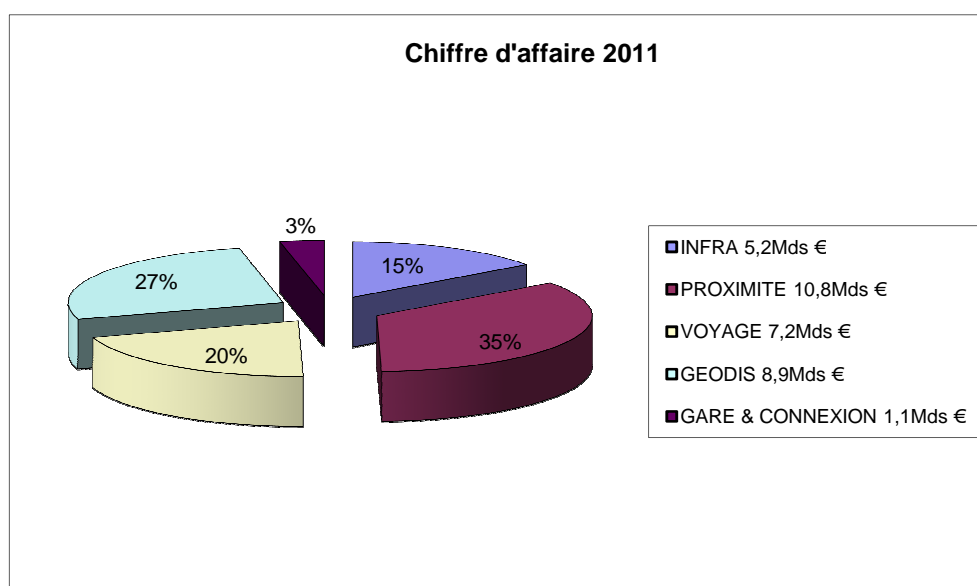


Figure 2: Contribution au chiffre d'affaire par branche

À chaque branche sont rattachées des filiales contrôlées par la maison mère et réparties de la manière suivante :

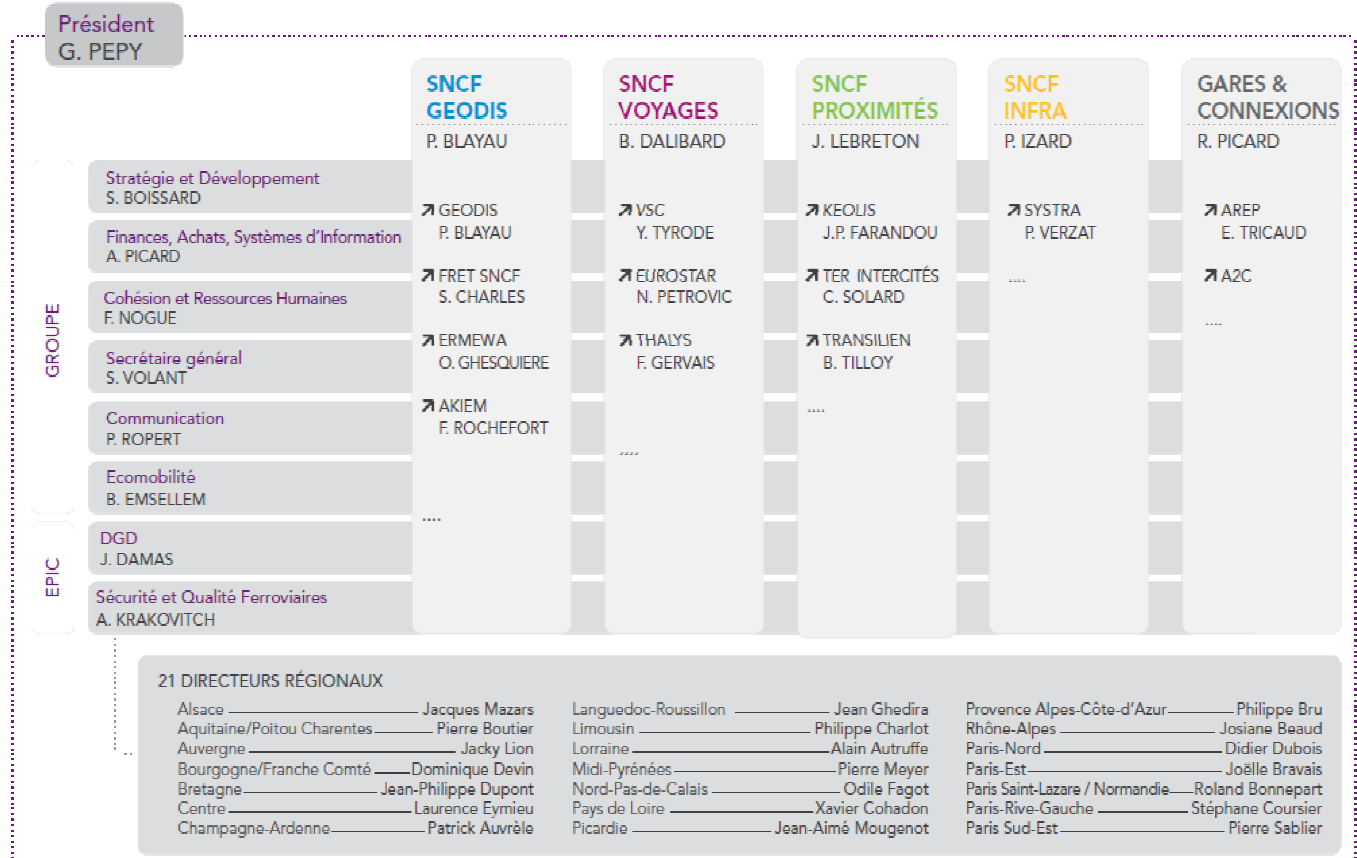


Figure 1: Organigramme de la SNCF

Mon stage s'est déroulé dans la branche SNCF INFRA.

1.2. Présentation de SNCF INFRA.

SNCF Infrastructure est répartie sur l'ensemble de la France. Elle regroupe 57000 agents dans 177 établissements. L'Infra présente un tiers des effectifs de la SNCF.

SNCF Infrastructure surveille, entretient, développe et gère les circulations sur le réseau pour le compte de Réseau Ferré de France (RFF).

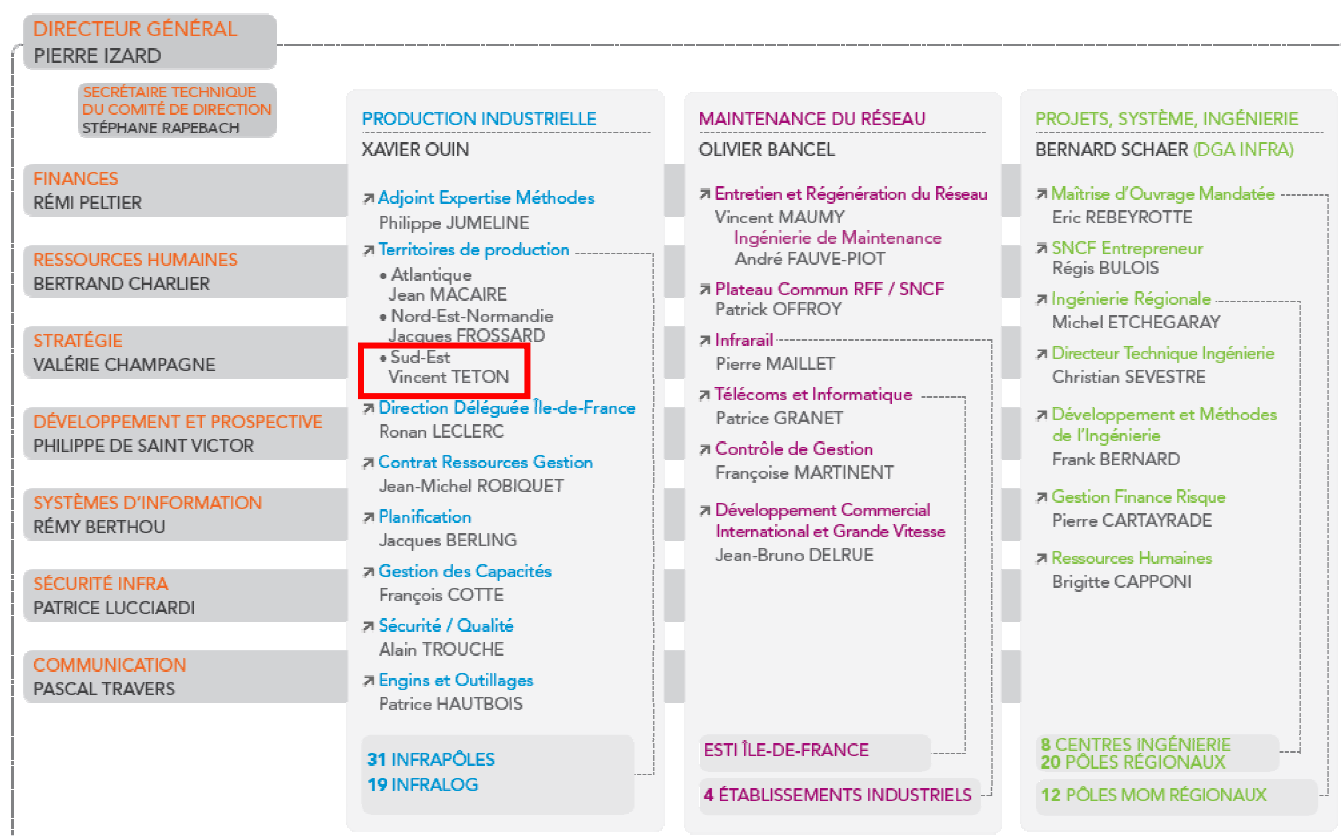


Figure 3: Organigramme de SNCF INFRA

Chiffres clés

SNCF Infra est présent dans 36 pays, regroupe environ 51000 collaborateurs, avec un chiffre d'affaire de 5,3 MDS en 2011. L'entreprise gère un parc de 1248 engins et matériel de maintenance, 1000 chantiers majeurs, enregistre 15000 circulations quotidiennes de fret et voyageurs, 30000 KM de lignes maintenues dont 2000 KM de lignes à grande vitesse (LGV) et près de 14000 KM de lignes traités par massification de la maintenance.

Elle regroupe 3 grands domaines :

- La **Maintenance et les travaux** : surveillance, entretien, modernisation et développement du réseau.

- L'**exploitation** : assure la conception des horaires, la régulation des trafics, la gestion opérationnelle des circulations, au profit de tous les opérateurs présents sur le réseau.
- L'**ingénierie** : assure la conception d'infrastructures ferroviaires en France et dans le Monde.

SNCF Infra est divisée en trois Territoires de Production :

- Atlantique
- Nord-est Normandie
- Paris Sud-Est

Mon stage se déroule au sein du territoire de **Paris Sud-Est (TPSE)**.

Le territoire **Paris Sud-Est** possède un effectif de 9800 agents. Il gère 16147 Km de voies dont 860 Km de LGV et 5380 Km non électrifiés.

Le **TPSE** est composé de :

- **1 Siège** situé à Lyon chargé du pilotage de la production Maintenance & Travaux, de l'interface avec les Directions Régionales de RFF et les contacts commerciaux pour les autres contrats.
- **9 Infrapôles** : Ces derniers sont des établissements équipement qui assurent la maintenance et interviennent sur les infrastructures ferroviaires de la région désignée.
- **5 Infralogs** : Ceux-ci sont chargés de la logistique des engins travaux ainsi que de la gestion des matériels.



Les missions fondamentales de l'**INFRAPOLE Paris Sud-Est** :

- Assurer la surveillance et la maintenance des installations (traction électrique, signalisation électrique, énergie) ferroviaires de la région pour le compte de **RFF**.
- Réaliser l'ensemble des travaux courants de régénération.
- Assurer la régulation des installations de traction électrique.

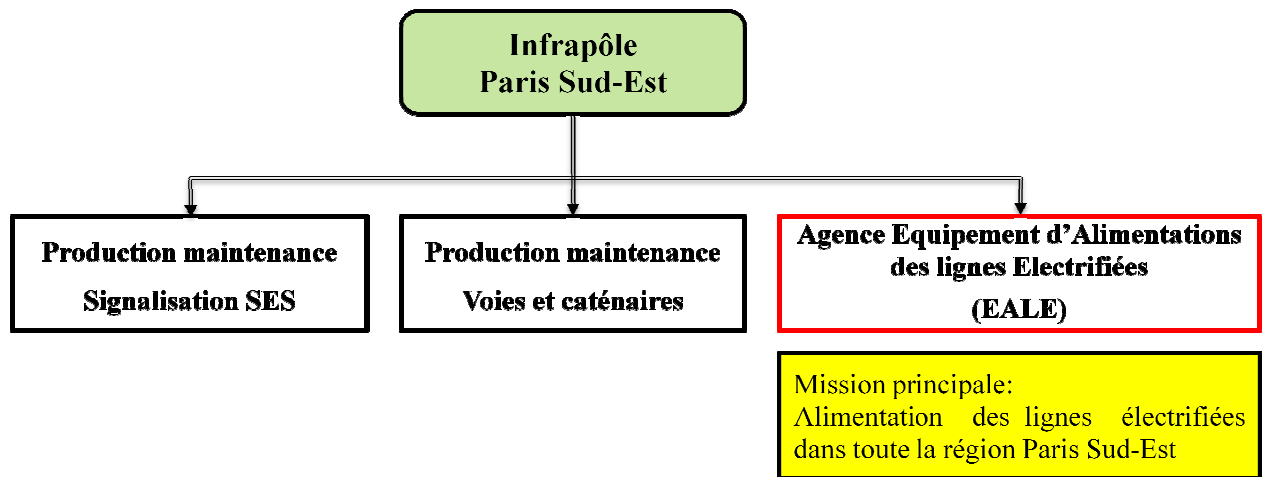


Figure 4: Organigramme simplifié de l'Infrapôle Paris Sud-Est

Mon stage s'est déroulé au sein de l'**Agence EALE**.

1.3. Présentation de l'Agence EALE.

L'agence EALE (Equipements d'Alimentation des Lignes Electrifiées) de l'Infrapôle Paris Sud-Est assure l'alimentation des lignes électrifiées de toute la région de PSE : ligne PLM (Paris Lyon Marseille), ligne RER D, la ligne du Bourbonnais jusqu'à Clermont Ferrand, la LGV (Ligne Grande Vitesse) jusqu'à Lyon, et l'interconnexion Ile de France.

Aujourd'hui l'agence EALE gère au total 1253 Km de lignes. Son personnel est de 80 agents.

Dans ce contexte, les missions de l'agence EALE sont les suivantes :

- **Surveiller et télécommander** les sous stations et les postes de traction électrique
- **Entretenir** les sous stations, postes et divers appareils de ligne permettant l'alimentation des caténaires et installations diverses,
- **Assurer** la veille sécuritaire du réseau électrique,
- **Suivre et réaliser** les études nécessaires à la maintenance et aux travaux sur les installations,
- **Réaliser ou faire réaliser** les travaux de régénération des installations.

L'électricité livrée par RTE (filiale EDF) est transformée dans les sous-stations avant de rejoindre les caténaires et les installations de signalisation via des postes de traction électrique.

Pour assurer ses missions, l'**Agence EALE** s'organise autour d'un Groupe d'Appui, d'une **UP Régulation** et d'une **UP Maintenance**.

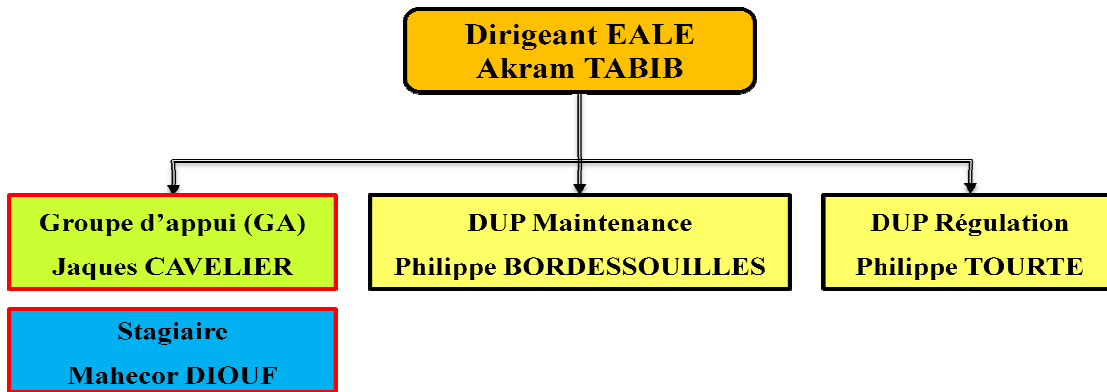


Figure 5: Organigramme de l'Agence EALE

1.3.1. Le Groupe d'Appui.

Le Groupe d'Appui (GA) est composé d'experts techniques dans le domaine des Equipements d'Alimentation des Lignes Electrifiées (EALE).

Il est chargé de la gestion et de la mise à jour des schémas, des consignes de sécurités, des dessins et nomenclatures de l'ensemble des installations.

Il assure également la partie étude dans le cadre des travaux d'amélioration ou de modification d'installations existantes : il définit le matériel à utiliser selon les normes et règlements en vigueur et réalise les schémas de câblage et d'implantation.

De plus, le Groupe d'Appui gère le matériel en service ainsi que celui de réserve, il assure l'approvisionnement en relation directe avec les fournisseurs dans les meilleures conditions de coût et de délais.

Enfin, le GA est garant de la gestion des textes réglementaires et il assure la saisie des CRU, ceci pour l'ensemble de l'Agence.

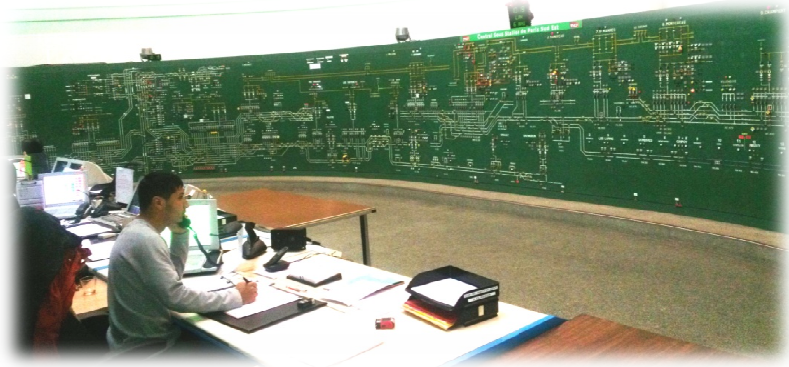
CRU (Compte-rendu unique) : suivi physique et économique de la production par équipe et sous équipe des établissements chargés de la maintenance et des travaux sur les installations de l'infra.

1.3.2. Unité de production Régulation.

- Le Central Sous-Stations (CSS), Création 1952.

Il assure l'exploitation permanente des équipements d'alimentations des lignes électrifiées classiques.

Un Régulateur Sous-station devant le Tableau de Contrôle Optique du CSS.



- Le PAR (Poste d'Aiguillage et de Régulation), contrôle et surveille la ligne grande vitesse (LGV) Sud-est.

Un Régulateur Sous-station devant le Tableau de Contrôle Optique au PAR.



PAR et CSS sont conduits par des RSS (Régulateurs Sous-Stations). Ces régulateurs sont chargés de la conduite des installations et peuvent intervenir directement en cas de problème sur une ligne. Ils surveillent et commandent à distance depuis un Tableau de Contrôle Optique (TCO), les équipements d'alimentations des installations des tractions électriques.

Les installations sont surveillées et télécommandées à l'aide des systèmes informatiques suivants :

- SURECA contrôlant la ligne Morêt-Clermont Ferrand,
- CIGALE pour la LGV Paris-Lyon

L'Unité Télécommande et Informatique (UTI), assure la maintenance du tableau de commande (TCO) et des équipements de la télécommande sur l'ensemble de la région, et du suivi des logiciels des systèmes informatique SURECA et CIGALE. Cette unité dépend de l'unité de production maintenance.

1.3.3. Unité de production Maintenance.

L'Unité de Production Maintenance assure la maintenance de l'ensemble des installations de traction électrique, plus particulièrement les sous-stations et les postes de traction.

On y retrouve les équipes d'électrotechniciens responsables de la maintenance des sous-stations et postes répartis géographiquement sur l'ensemble des lignes électrifiées. Leurs missions sont l'entretien, le dépannage, les réparations, les modifications et les travaux sur les installations.

Cette unité est constituée de trois groupes d'entretien (GREN), dirigés par un DPX (Dirigeant de Proximité) chacun, composés au total de sept équipes assurant la maintenance de l'ensemble des installations de la région de Paris-Sud-Est ainsi que sur la ligne du Bourbonnais jusqu'à Clermont-Ferrand et sur l'interconnexion île de France jusqu'à Annet.

1.4. Reforme du système ferroviaire.

La réforme prévoit la création d'un groupe public industriel intégré constitué de trois EPIC. Une EPIC "mère" et deux EPIC "filles" que sont le Transporteur (SNCF) et le Gestionnaire d'Infrastructure Unifié (GIU). L'EPIC "mère" sera dirigé par un directoire composé de deux présidents des EPIC "filles", sous l'autorité d'un conseil de surveillance.

Le GIU sera en charge de l'ensemble des fonctions de gestion de l'infrastructure, et rattaché à la SNCF via un pôle public ferroviaire. Le GIU permettra l'optimisation de l'utilisation du réseau et l'amélioration de la qualité de service offerte aux usagers, dans le respect d'un accès transparent et non discriminatoire des entreprises ferroviaires au réseau.

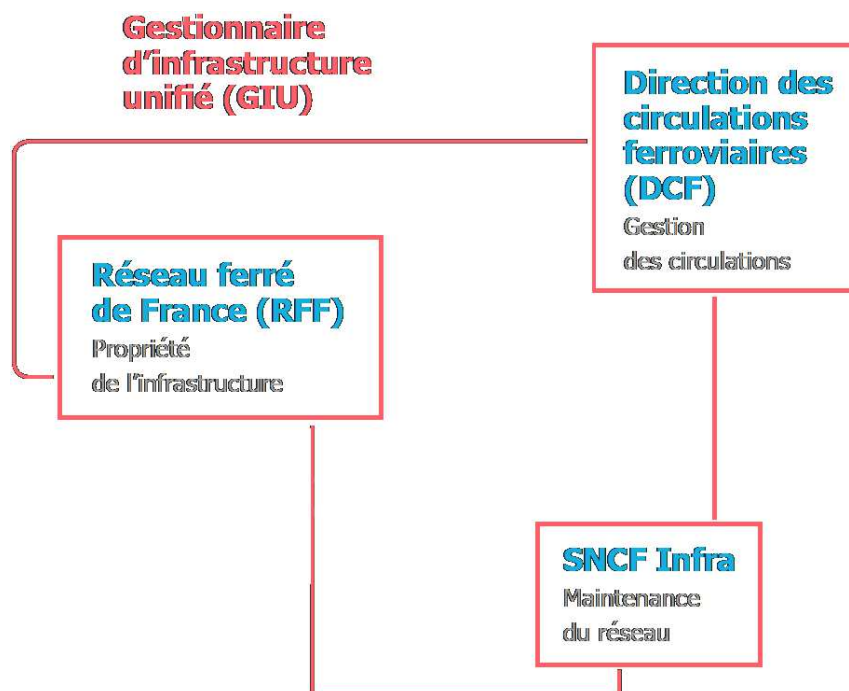


Figure 6: Organisation du GIU

2. Planning et Cahier de charges.

Pour rappel, l'objectif est de réaliser une prise de diagnostic exploitable sur micro-ordinateur portable pour aider au dépannage des agents de maintenance de l'Agence EALE sur les départs de voie 1500 V (schéma type A7) de la ligne PLM (Paris Lyon Méditerranée).

2.1. Déroulement - activités prévues.

- Prise de connaissance de l'Agence et de ses différents services.
- Découverte et analyse fonctionnelle d'un départ disjoncteur 1500V type A7, application en sous-station, dépannage, etc... Utilisation de la maquette de formation au dépannage.
- Etude des modes de défaillance et diagnostic associé.
- Etude d'intégration de la prise de diagnostic, définition sommaire de l'interface en accord avec l'entreprise. Proposition d'un schéma fonctionnel de l'ensemble de l'outil.
- Présentation des produits retenus pour la conception du système (recherche de fournisseurs, mise en concurrence, etc...). Réalisation de l'ensemble prise et boîtier d'acquisition et montage sur un départ de voie.
- Réalisation d'un logiciel sur système d'exploitation Windows Seven avec liaison USB pour analyse des pannes.

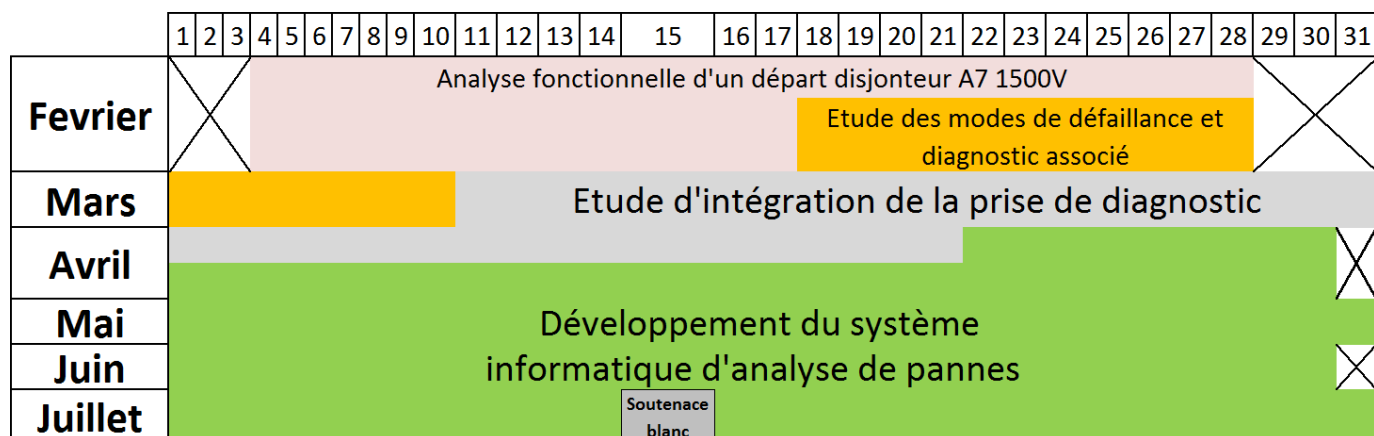


Figure 7: Planning d'activités du stage

2.2. Description de la prise.

L'analyse de l'impact des contraintes sur le projet est essentielle car les caractéristiques contraignantes repérées auront une incidence sur le bon fonctionnement du système. Chaque projet est toujours un cas unique, sur ce projet les contraintes seront d'ordre technique :

- Tensions :

Les relais qui font l'objet de l'étude sont alimentés en 120V continu, or la tension d'alimentation du circuit d'interface de communication Départ A7 ↔ PC sera largement inférieure à cette tension (pas plus de 5V). Il faudra ainsi un système d'interfaçage, pas trop encombrant avec une isolation galvanique qui permettra de protéger l'ordinateur du reste du système. L'alimentation principale des circuits se fera en 120 V continu, d'où la nécessité d'avoir un convertisseur continu/continu (120V → 5V).

- Entrées/Sorties :

Un départ A7 est composé de 20 relais qui peuvent être source de blocage pour la fermeture du disjoncteur. Chacun de ces relais et certains de leurs contacts seront testés dans la procédure de diagnostic afin de trouver la panne. Ces relais seront connectés à un microcontrôleur afin de tester leur bon fonctionnement.

- Système d'acquisition :

Il sera composé de deux boîtiers. Un premier boîtier qui s'intégrera sur le Départ A7 (en façade avant) et qui récupère l'ensemble des sorties concernées sur une prise (minimum 31 voies). Un deuxième boîtier portable où se trouvera le cœur du système (système électronique), et qui servira d'interface entre l'ordinateur et le Départ.

- Cartes électroniques :

La maquette finale sera réalisée sur carte électronique, et la fabrication de cette dernière ne pourra pas se faire à la SNCF faute de matériel.

2.3. Interface Homme-Machine.

L'utilisateur aura le choix entre un logiciel sur PC et un afficheur LCD. L'afficheur servira de roue de secours en cas d'oubli du connecteur USB, qu'on puisse tout de même faire un dépannage avec le système sans PC.

Le logiciel sera développé sur système d'exploitation Windows Seven avec liaison USB. Il devra être facile d'utilisation, rapidité d'exécution, affichage du résultat par texte et/ou graphique, sauvegarde de l'historique de diagnostic.

Ci-dessous le schéma bloc fonctionnel de l'ensemble du système. Le départ A7 avec isolation galvanique du reste du montage, l'alimentation en 120V continue venant du départ, la partie conversion continu/continu (102V → 5V), le microcontrôleur interfacé avec l'afficheur LCD et enfin le raccordement au PC via USB.

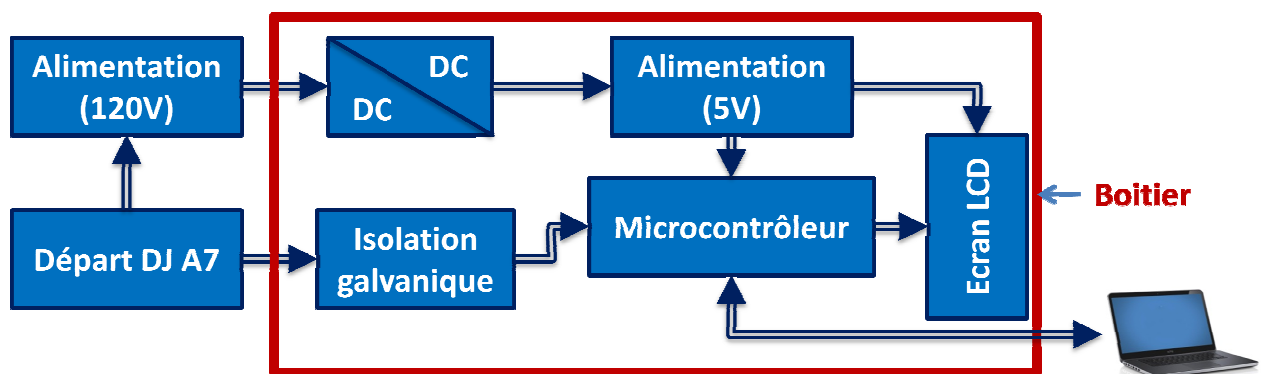


Figure 8: Schéma bloc fonctionnel du système

3. Réalisations.

Dans cette partie je vais développer les différentes étapes de la réalisation technique du système, choix du matériel, dimensionnements, le programme du microcontrôleur qui permet de gérer le système, la conception et enfin les tests réalisés en sous-station.

3.1. Analyse fonctionnelle d'un départ A7.

Le schéma global du départ de voie A7 est disponible en *Annexe 1*. J'ai en premier temps appréhendé son fonctionnement, ensuite j'ai assisté à un dépannage, typique de la problématique du projet. J'ai aussi effectué quelques essais sur la maquette de test, cette maquette est une reproduction similaire d'un secteur. Un secteur est constitué de deux sous-stations distantes de 15Km avec un poste de mise en parallèle au milieu.

Le disjoncteur peut être fermé ou ouvert de plusieurs manières :

- Fermeture en volontaire : c'est à dire que l'appui d'un commutateur permettra de fermer directement le disjoncteur.
- Fermeture par asservissement : on parlera dans ce cas de disjoncteur commandé, l'ordre de fermeture viendra de l'autre disjoncteur du secteur.
- Fermeture par le réenclencheur : après déclenchement suite à un défaut de ligne par exemple, l'automatisme prépare une fermeture automatique du disjoncteur au bout de 10 secondes.
- Ouverture en volontaire : ouverture par appui direct sur un commutateur.
- Ouverture par asservissement : le déclenchement du deuxième disjoncteur de la section entrainera l'ouverture de celui-ci.
- Ouverture par DDL (Détecteur Défaut de Ligne) : le disjoncteur s'ouvre lorsqu'il y a un défaut sur la caténaire.
- Ouverture par Max de I : Lorsque le courant est trop important, le champ magnétique n'est plus assez intense pour maintenir le DJ qui s'ouvre.

Ainsi pour assurer le bon fonctionnement du disjoncteur, il faut que les différentes phases de son automatisme s'exécutent correctement, c'est-à-dire :

- La mise en veille (alimentations des circuits de commande de la cellule de voie)
- La fermeture du disjoncteur en volontaire (sans asservissement)
- La fermeture du disjoncteur en commandant
- La fermeture du disjoncteur en commandé
- La mise en service de l'asservissement

Si un relais (contact ou bobine) est défectueux, le processus de fermeture du disjoncteur ne sera plus assuré. L'aide au dépannage permettra de trouver plus facilement le relais mise en cause. Voici donc une synthèse sur le fonctionnement des phases de commande et de contrôle d'un disjoncteur par un départ A7.

3.1.2. Mise en veille du départ.

La mise en veille du départ correspond à la mise sous tension des circuits de commande de la cellule de voie. On vient préparer la fermeture du Disjoncteur en excitant les relais 248.01, 248.02, 154.03 et 203 par fermeture du sectionneur tête de câble (voir **Figure 9** ci-dessous - **Annexe1 - Folio 16 - section 7**).

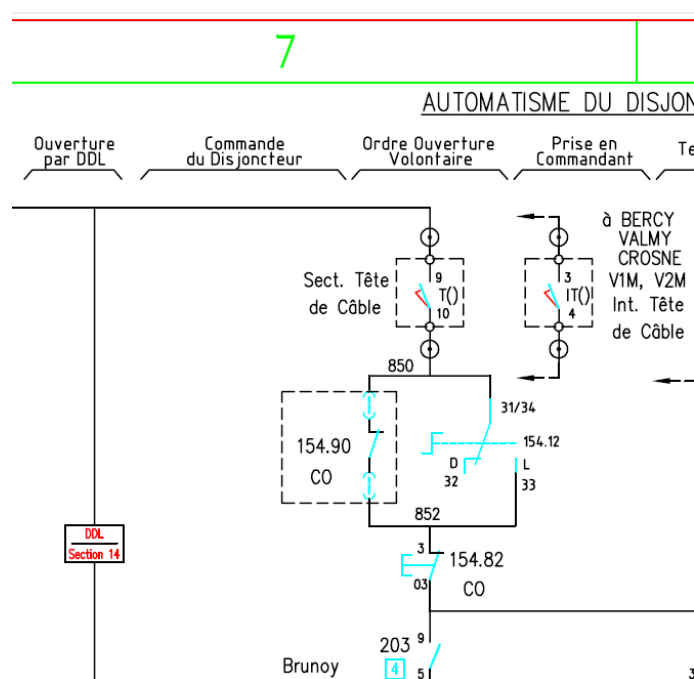


Figure 9: Alimentation circuits de commande

3.1.3. Disjoncteur en volontaire.

À la fin de la séquence de mise en veille du départ, on donne l'ordre de fermeture au Disjoncteur en commande local ou à distance.

Le disjoncteur se ferme en deux temps :

1^{er} temps:

Si aucun défaut de ligne n'existe, on lance la séquence de fermeture par action sur un bouton (terminal de télécommande si on est en distance ou TPL si on est en local).

On alimente la bobine de maintien 154Mn, la bobine d'enclenchement 154En et excite le relais 154aux (voir **Figure 10** ci-dessous - **Annexe1 - Folio 14 - section 3**) du disjoncteur pour faire changer de position ce dernier, mais il n'est pas encore fermé, c'est le premier temps.

2^{ème} temps:

Le disjoncteur après avoir fait son premier temps, on renforce le champ magnétique de la bobine de maintien, on désexcite la bobine d'enclenchement, après une temporisation de 2 secondes le deuxième temps est fait, puis on insert une résistance d'économie et le disjoncteur est fermé.

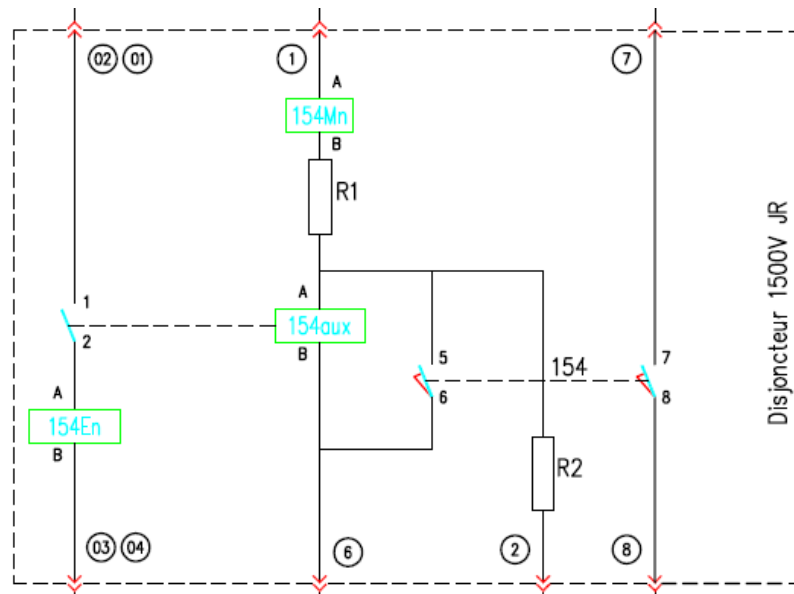


Figure 10: Disjoncteur 1500V JR

3.1.4. Mise en service asservissement.

L'asservissement permet :

- En cas de coupure d'urgence, la mise hors tension du secteur plus rapidement
- En cas de court-circuit, la mise hors tension immédiate du secteur, afin d'éviter que les disjoncteurs les plus éloignés du défaut, et n'ayant pas déclenché par variation de courant, ne débitent un courant dont la valeur est limitée par la résistance de la caténaire.

Son rôle est de protéger une section caténaire de telle sorte à faire déclencher tous les disjoncteurs alimentant ce secteur, lorsqu'un seul d'entre eux a déclenché sur un défaut, ou sur ordre.

Description :

L'asservissement consiste en une liaison électrique de contrôle par fils pilote sous 48V continue entre les différents disjoncteurs alimentant un même secteur.

La tension 48V est donnée indifféremment par la sous-station A ou B, suivant que l'ordre de fermeture des disjoncteurs provient de A ou B.

Les disjoncteurs des sous-stations et postes de sectionnement peuvent être enclenchés sans asservissement.

Fonctionnement :

- Avoir une tension continue sur les auxiliaires des départs (Mode veille → relais 203).
- Mise en service de l'asservissement des sous-stations et postes de sectionnement (relais 295.01, 295.02, 295.03)
- Donner un ordre d'enclenchement en volontaire au disjoncteur de l'une des sous-stations A ou B (mise sous 1500V du secteur et mise sous tension 48V des fils pilotes par une extrémité → relais 204)
- Le relai 201 s'excite et permet le maintien de l'enclenchement de la sous-station commandante, et l'enclenchement des autres disjoncteurs du secteur.

Voir *Annexe1 - Folio 19 - section 11*)

3.1.5. Disjoncteur en commandant.

Ce disjoncteur (sous-station A) donnera l'ordre de fermeture au disjoncteur de la sous-station encadrante B si celle-ci est asservie.

Les circuits de commande de la cellule de voie sont sous tension, le sectionneur tête de câble est fermé et l'asservissement est en service. On peut maintenant lancer le cycle de fermeture du disjoncteur qui permettra d'alimenter la boucle d'asservissement par le relais 204, la mise sous tension 1500V de la caténaire excite les relais 201 de la boucle.

3.1.6. Disjoncteur en commandé.

Le relais 201 excité par la fermeture du disjoncteur commandant, lancera la séquence de fermeture du disjoncteur commandé si les cellules de voie sont sous tension et l'asservissement en service.

Le réenclencheur (relais 181) est mis en service 5 secondes après que le 201.01 soit excité.

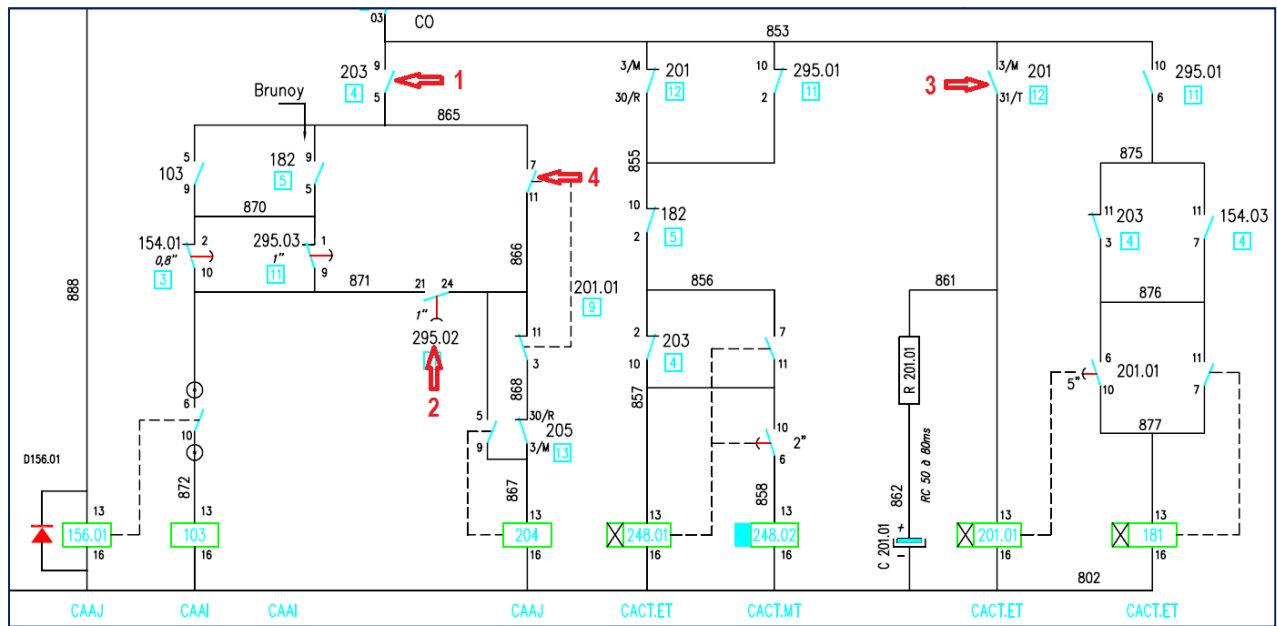


Figure 11: Commande du Disjoncteur par asservissement

3.1.7. Le réenclencheur.

Fonctionne uniquement avec asservissement (relais 295.01). Ne fonctionne pas lors de l'ouverture volontaire et lors d'une ouverture par asservissement.

- Déclenchement par "Max de I"

Le courant de traction qui passe dans le disjoncteur provoque un champ magnétique en opposition à celui de la bobine de maintien. Lorsque ce courant est trop important, le champ magnétique n'est plus assez intense pour maintenir le Disjoncteur fermé qui s'ouvre sous l'action des ressorts. On dit qu'il déclenche par "Max de I".

Lorsque le disjoncteur déclenche par "Max de I", il ouvre ses contact auxiliaires (interlocks), le relais 181 du réenclencheur est excité et 10 secondes après la séquence de fermeture du disjoncteur se lance automatiquement.

- Déclenchement par DDL

Lorsqu'un défaut de ligne subsiste, le DDL temporise 0.5 seconde avant de désexciter le relais 156.01, ceci provoquera le déclenchement du disjoncteur, qui lui-même ouvre la boucle d'asservissement par l'intermédiaire du relais 203. Le Disjoncteur de la sous-station encadrante s'ouvrira à son tour et activera le réenclencheur, ensuite on prépare les circuits de fermeture du disjoncteur.

3.2. Etude des modes de défaillance et diagnostic associé.

Les sources de défaillance sont nombreuses, le dysfonctionnement de n'importe quel relais du départ peut en être la cause. Le raisonnement menant à l'identification de la cause d'une défaillance est présenté ci-dessous sous forme de diagrammes à partir de l'observation des points chauds et froids du départ.

3.2.2. Défaut de veille.

Dans le mode veille on peut reconnaître si celui-ci est effectif par simple observation du relais 203. On vérifie ainsi de suite les relais de la séquence de mise en veille, puis à chaque vérification on envoie la valeur correspondante à l'ordinateur.

Par exemple si aucun relais n'est sous tension, cela peut signifier que la tête de câble n'est pas fermée.

Dans le diagramme, C834 correspond à la vérification des contacts 6-10 et 7-11 du relais 248.02.

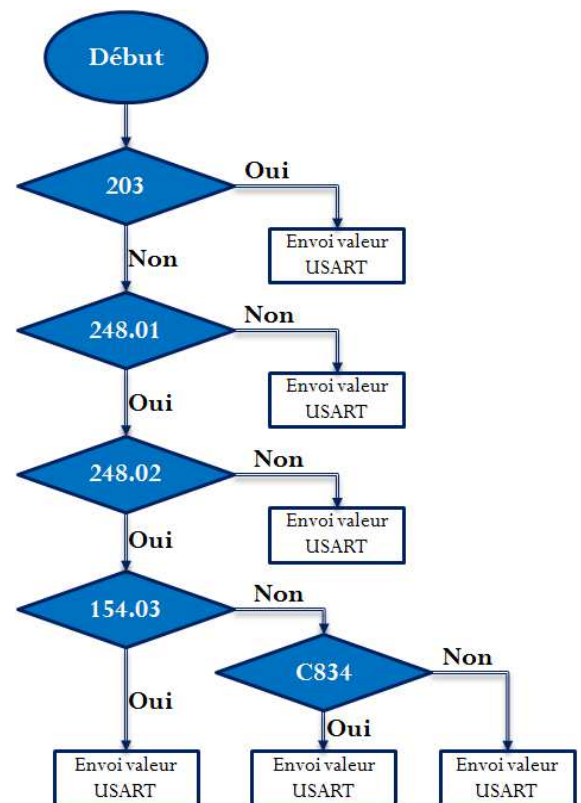


Figure 12: Diagramme mise en veille

3.2.3. Blocage disjoncteur en volontaire.

En début du mode volontaire on vérifie toujours si le mode veille est effectif, et dans ce mode veille on inclut le relais 156.01 (défaut de ligne).

Après avoir observé la mise sous tension du relais 103, on ira vérifier l'alimentation de la bobine de maintien du disjoncteur par ses contacts M2-T2 et M4-T4 (C810).

À la fin de la séquence de fermeture du disjoncteur, on revient au bout de 2 secondes voir si le relais 203 est maintenu. Si ce n'est pas le cas le disjoncteur s'ouvre, le logiciel de diagnostic montrera à l'opérateur l'endroit où il devra vérifier dans le schéma.

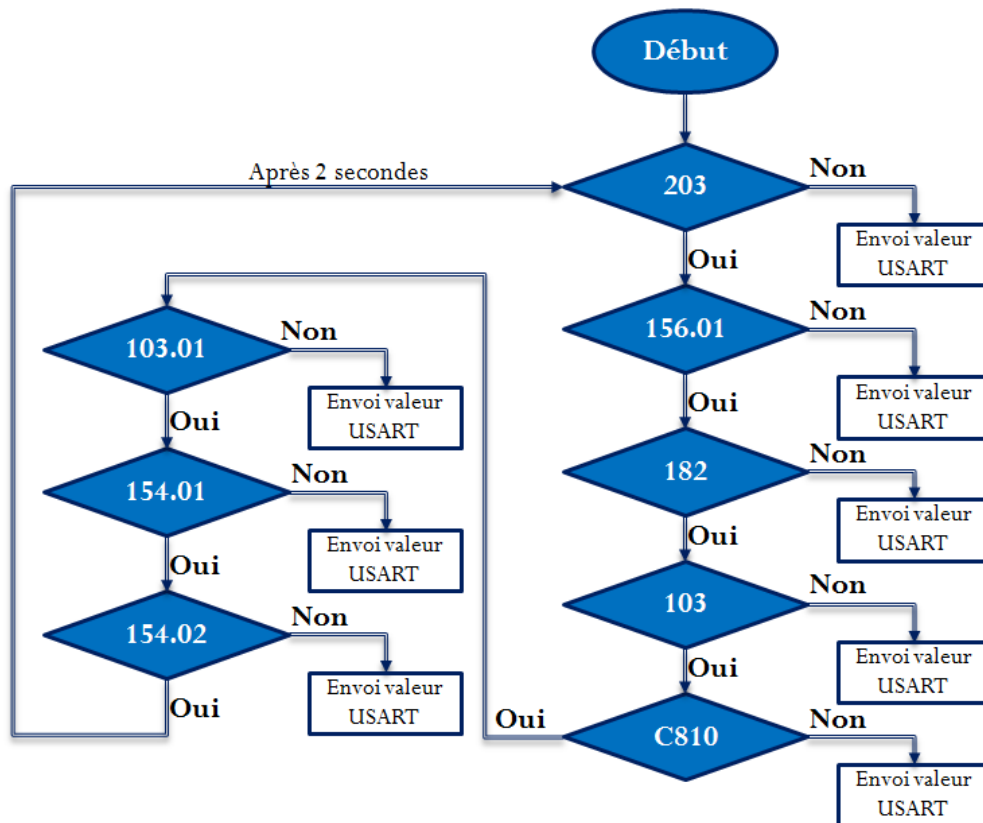


Figure 13: Diagramme de diagnostic DJ en volontaire

3.2.4. Défaut asservissement.

- Mise en service :

Voir schémas *Annexe1 - Folio 19 - section 11*

Un défaut dans la mise en service de l'asservissement viendra du mauvais fonctionnement d'un des relais 295.01, 295.02 ou 295.03, soit leur contact d'automaintien ou leur bobine.

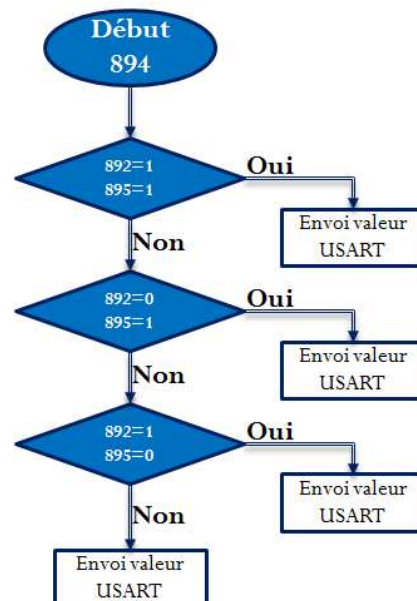


Figure 14: Diagramme de mise en service de l'asservissement

- Défaut dans la boucle (DJ commandant)

Voir schémas *Annexe1 - Folio 19 - section 12 et 13*

On attend que le disjoncteur se ferme, en vérifiant au préalable la veille du départ, la mise en service de l'asservissement, la tension d'alimentation de la boucle d'asservissement (903), mais aussi que le relais 204 ferme la boucle par ses contacts 7-11 et 8-12 (904). Le relais 204 devra être ensuite maintenu par son contact d'automaintien et le relais 201.01.

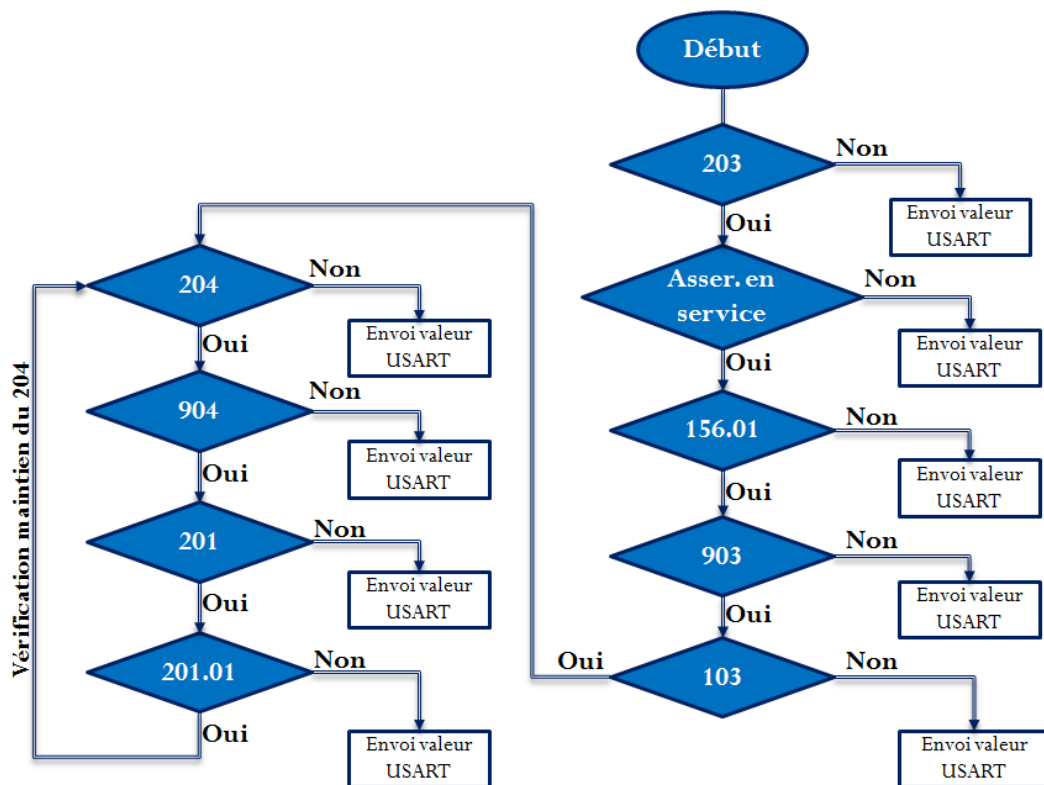


Figure 15: Diagramme de diagnostic DJ en commandant

- Défaut dans la boucle (DJ commandé)

Voir schémas *Annexe1 - Folio 19 - section 12 et 13*

En commandé le relais 204 n'intervient pas, on détecte la tension sur la caténaire, ensuite on attend l'impulsion sur le relais 201. Les défauts qu'on peut avoir dans ce cas sont soit au niveau des contacts qui ferment et alimentent la boucle d'asservissement (0-12 → 230, Co-Do → 180 et 31-34#41-44 → 295.02) et le maintien du 103 par les contacts 7-11 → 201.01 et 21-24 → 295.02.

Si la tension arrive au relais 103, dans ce cas aucun défaut n'est détecté dans l'asservissement en commandé.

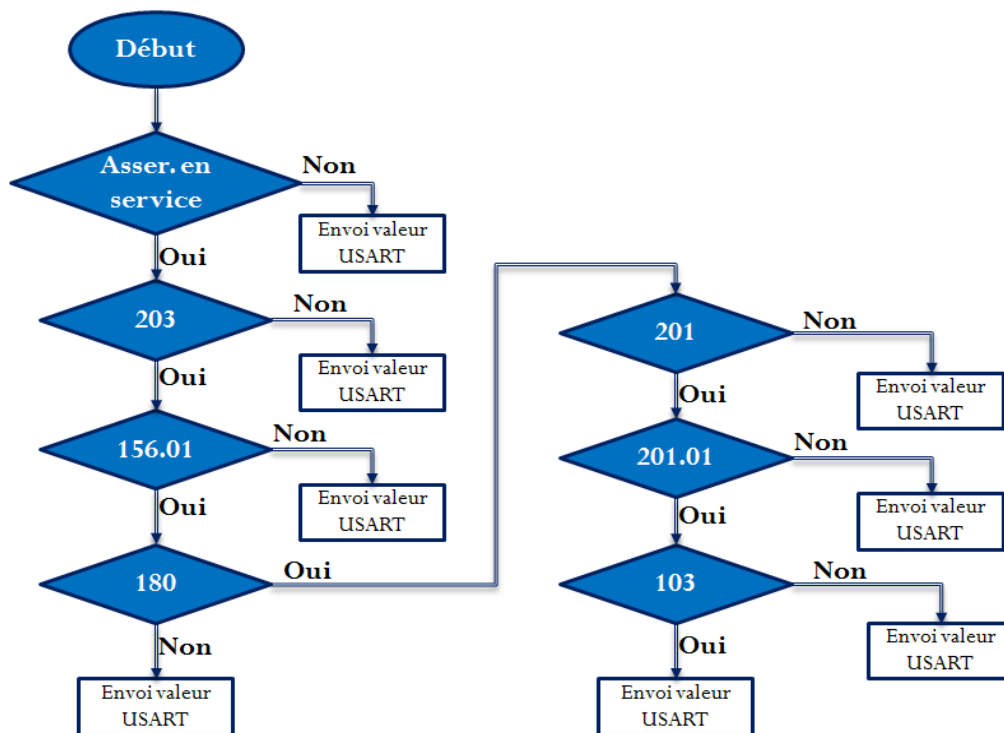


Figure 16: Diagramme de diagnostic DJ commandé

3.3. Etude d'intégration de la prise de diagnostic.

Pour l'intégration de la prise, il y aura un boîtier fixé sur le départ comme le montre l'image ci-dessous. À l'aide d'un connecteur DB37 on récupère l'ensemble des points nécessaire à la recherche de défaut (au total 29 sorties), puis on les raccorde aux borniers de la carte. L'alimentation 120V du boîtier électronique passe par cette prise sachant que l'isolation est de 1000V entre deux bornes du connecteur ce qui est largement suffisant pour notre application.

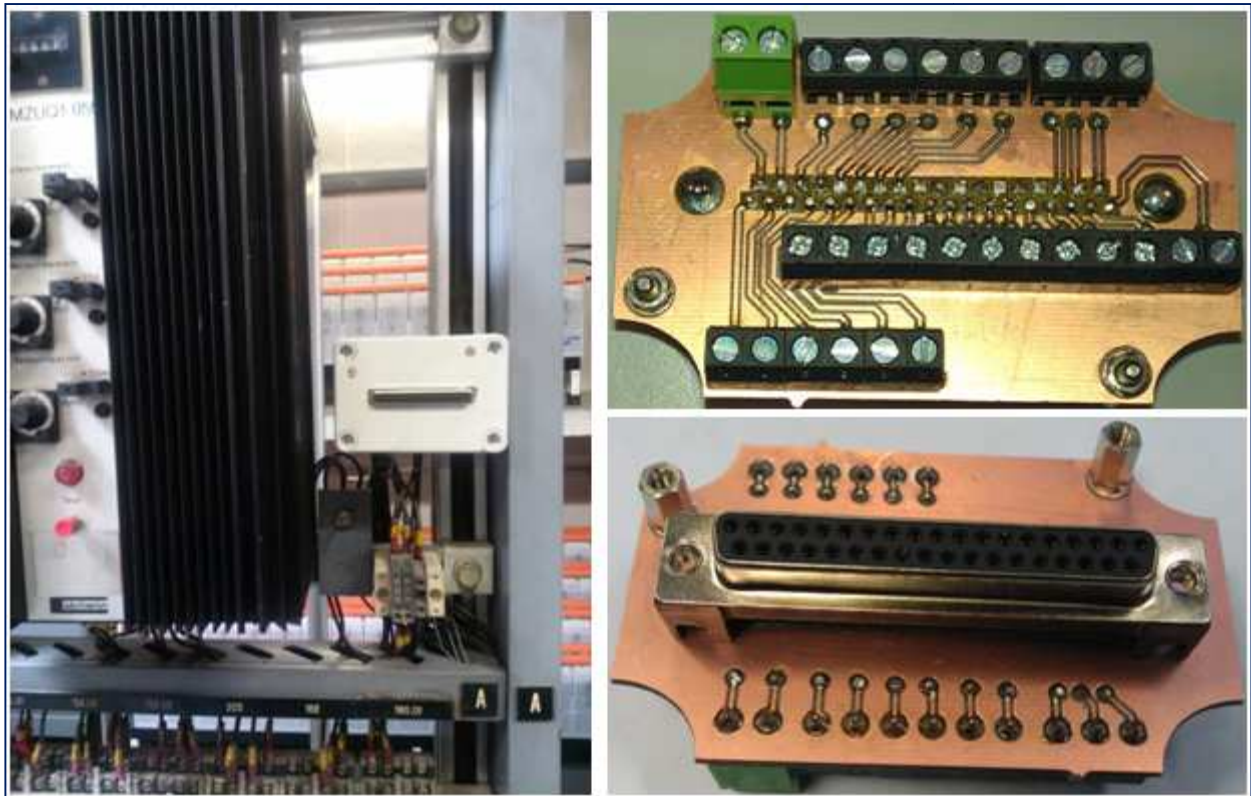


Figure 17: Images de la prise du départ

3.4. Conception du système.

3.4.2. Principe de fonctionnement.

Le montage a deux objectifs : il doit observer le fonctionnement du départ A7 (l'état de chaque relais) et envoyer les résultats sur l'ordinateur. Le microcontrôleur communique avec l'ordinateur par une liaison USB↔Série. Il doit attendre la commande du logiciel et transmettre les informations correspondantes à l'ordinateur.

Le schéma ci-dessous permet de mieux comprendre le fonctionnement du système : les flèches symbolisent les données et les traits la puissance (l'alimentation).

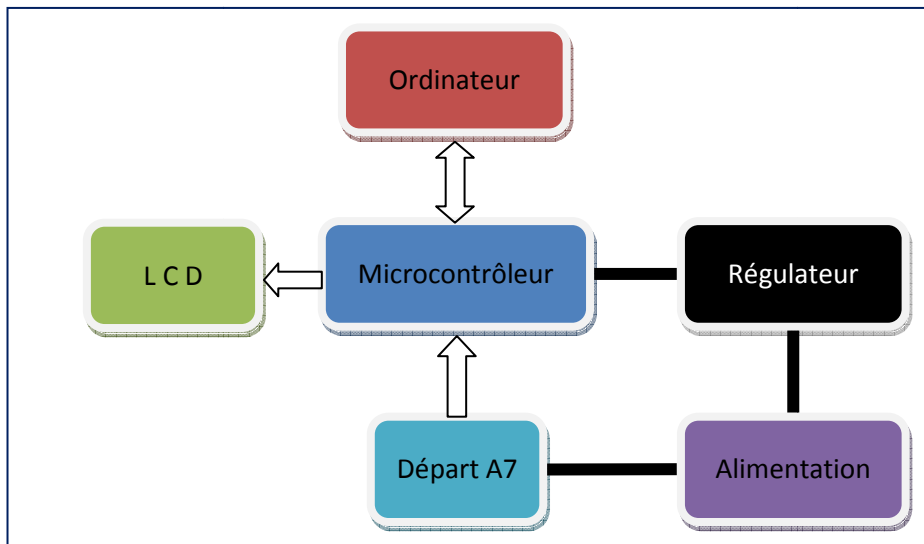


Figure 18: Schéma bloc du montage

Le microcontrôleur utilisé est un PIC18F4520 de chez Microchip, il intègre une communication USART. L'alimentation se compose d'un convertisseur continu-continu (120V→5V), tension nécessaire au fonctionnement du système. L'afficheur LCD est un 16 caractères en deux lignes monté en mode 4 bits.

3.4.3. Protocole de communication.

a) Liaison USART :

Etude de la liaison USART à établir entre le microcontrôleur et l'ordinateur.

USART est une abréviation signifiant Universal Synchronous & Asynchronous Receiver Transmitter. C'est un circuit électronique qui permet de mettre en série les octets à transmettre. Cela signifie que les bits constituant l'octet sont transmis les uns après les autres sur un seul fil et non simultanément sur 8 fils.

L'ordinateur envoie les données en parallèle (autant de fils que de bits de données). Il faut donc transformer ces données pour les faire passer à travers une liaison série qui utilise un même fil pour faire passer tous les bits de données.

Constitution d'une trame UART

Une trame UART est constituée des bits suivants :



- un bit de start toujours à 0 : servant à la synchronisation du récepteur

- les données : la taille peut varier (généralement un octet : 8 bits)
- éventuellement un bit de parité
- un bit de stop toujours à 1

Afin de faciliter l'interopérabilité entre périphériques (PC, microcontrôleur, modem, ...) des vitesses de transmission sont normalisées, l'unité baud correspondant aux nombre de bit pas seconde.

Les vitesses normalisées sont : 110, 300, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230 400, 460 800, 921 600, 1 843 200, 3 686 400 baud. Dans le cas de ce projet, la vitesse de transmission sera automatique choisit pour l'utilisateur, enfin d'éviter des erreurs éventuelles.

Pour pouvoir communiquer, les deux entités connectées doivent partager les mêmes paramètres de transmission.

Pour le système la configuration utilisée est communément appelée « 9600 8N1 » Cela signifie: 8 bits de données, pas de parité (N), un bit de stop, avec une vitesse de 9600 Bauds.

Les conditions de réception (Erreurs)

- “*Erreur de dépassement*“ (Overrun error) : se produit lorsque le récepteur ne peut pas traiter le caractère qui vient d'arriver avant que le suivant n'arrive, on parle d'espace tampon pour contenir les caractères reçus. Si le CPU ne dessert pas l'UART assez rapidement et que le tampon est plein, une erreur de dépassement se produit, et les caractères entrants seront perdus.

- “*Erreur de trame*“ (Framing error) : se produit lorsque les bits de “START“ et de “STOP“ ne sont pas valides. Il faut bien identifier le début d'un caractère d'entrée, il sert de référence pour les bits restants. Si la ligne des données n'est pas dans l'état prévu lorsque le bit de stop est sollicité, une erreur de trame se produit.

- “*Erreur de parité*“ : se produit lorsque le bit de parité est erroné, ce bit est facultative. Dans cet exemple ce bit sera désactivé du côté ordinateur et microcontrôleur, donc l'erreur ne se produira pas.

b) Ordinateur ↔ Microcontrôleur :

Afin que de communiquer facilement avec le microcontrôleur j'utilise ce mode de communication (USB↔Série). Les prises séries sont appelées à disparaître des ordinateurs actuels au profit de la liaison USB (Universal Serial Bus) qui est omniprésente sur tous les PC. J'utilise un convertisseur USB↔Série de chez Microchip : le MCP2200, ce composant permet d'émuler un port série virtuel, la liaison USB est entièrement gérée par l'ordinateur.

La transmission de données se fait donc en USB coté ordinateur et en USART coté microcontrôleur. On verra l'ensemble de la configuration de la liaison dans la programmation du microcontrôleur et du MCP2200.

3.4.4. Dimensionnement et choix des éléments du système.

Cette étape fait partie du cœur du projet, il conditionne l'ensemble des éléments qui contribuent au bon fonctionnement du système (fiabilité et efficacité → robustesse). J'y ai développé le choix de chaque élément et dimensionner certains composants, en tenant en compte des contraintes générales du départ disjoncteur.

a) Rappel de quelques éléments du cahier des charges :

- Le système doit vérifier le fonctionnement des relais du départ et détecter l'endroit où ça bloque.
- La prise pourra être fixée sur la face avant du départ (accessible).
- Utilisation d'un microcontrôleur pour le transfert des informations vers le PC via USB.
- Isolation galvanique entre les 120V des relais et la tension de commande.
- Convertisseur DC/DC pour convertir le 120V disponible en sous-station en 5V pour le circuit d'interfaçage.

b) Intégration de la prise :

Au niveau du départ on dispose d'un espace avec rail ou l'on peut fixer un boîtier qui contiendra la carte de la prise avec ses borniers pour fixer les fils qui arriveront des relais.

Réf : TA 090706

Boîtier IP65, 95x65x60mm.



La prise est de type femelle SUB-D37, 28 entrées pour relier le départ à l'interface, les contacts ont une isolation de 1000V entre eux pour pouvoir supporter les 120V de la commande du départ.

Réf : I734350-1



c) L'Optocoupleur :

Pour assurer une isolation galvanique entre l'interface et le départ, plusieurs méthodes possibles sont proposées : transformateur de tension, optocoupleur, relais électromécanique. Cette isolation galvanique n'est possible que si les deux circuits primaire et secondaire sont indépendants (et pas de masse commune).

Mon choix n'ira pas vers un transformateur de courant au vu de son encombrement.

Je vais donc faire une brève comparaison des composants types optocoupleur (SSR) et relais électromécanique (EMR).

- Tension d'isolation

Pour un EMR, l'isolation entrée/sortie est généralement exprimée en termes de résistance d'isolation. En raison de contrainte physiques de construction ainsi que le matériau employé, les relais EMR ne sont certifiés qu'à $1000V_{RMS}$.

Les relais SSR sont testés à 100% en ce qui concerne la tension de claquage d'entrée/sortie. La valeur minimum est de $1500V_{RMS}$ appliquée pendant 60s.

- Circuits de pilotage :

Dans un circuit de relais EMR, le relais est activé par le courant qui traverse la bobine d'entrée avec un transistor pour activer et désactiver le relais et une diode en parallèle avec la bobine pour canaliser et dissiper le pic inductif résultant.

Dans la solution SSR on a une Led à la place de la bobine et la diode de protection, le transistor de commande n'existe pas dans ce cas. Le seul ajout requis est une résistance de contrôle pour limiter le courant dans la Led.

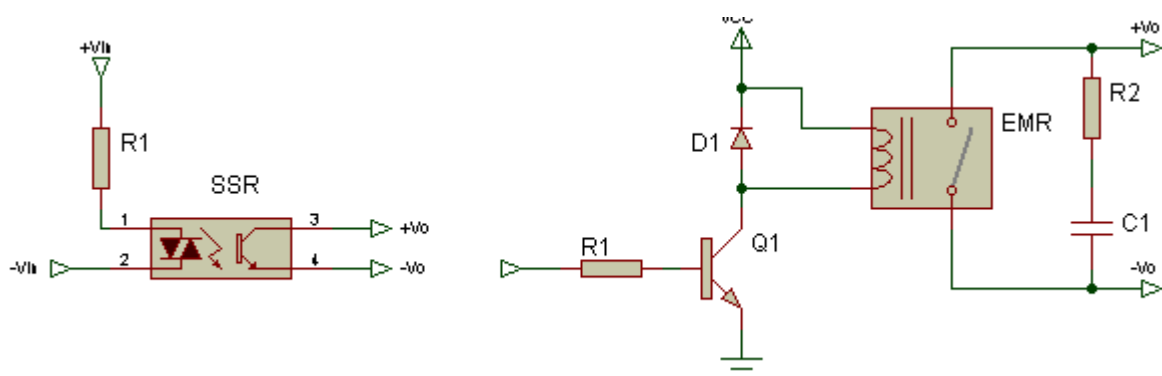


Figure 19: Comparaison des circuits de pilotage EMR et SSR

- Fiabilité :

Au niveau d'un EMR, la commutation mécanique et la dégradation des contacts qui en découlent déterminent l'usure et les défaillances. Les relais SSR, quant à eux n'ont pas de parties mobiles ni de contacts sujets à l'usure. Le nombre de cycles de commutation n'a pas d'incidence sur une défaillance du SSR.

- Consommation :

Les relais EMR doivent activer une bobine pour réaliser l'opération de commutation. Un relais EMR requiert une puissance de 80mW pour activer la bobine. L'approche de principe est comparable pour un SSR. Toutefois, il s'agit dans ce cas d'une Led, ce qui correspond à une puissance requise nettement plus faible de l'ordre de 3mW.

L'EMR nécessite une énergie 25 fois plus grande que celui d'un SSR. Une consommation réduite signifie une reconduction des contraintes thermiques.

En guise de synthèse, on peut avancer les avantages spécifiques suivants des relais SSR :

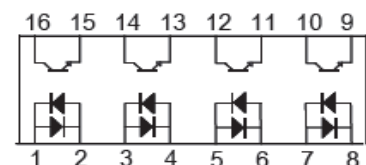
- Coût d'utilisation inférieur
- Couplage logique direct
- Faible consommation
- Plus basse tension de commande
- Fiabilité plus élevée
- Durée de vie électrique plus grande
- Meilleure isolation entre entrée et sortie
- Meilleure immunité aux chocs et vibrations

Mon choix se porte donc sur l'optocoupleur pour assurer cette isolation galvanique.

Etant donné que les relais de la boucle d'asservissement sont bidirectionnels, il nous faut des optocoupleurs qui fonctionnent aussi bien dans les deux sens (tensions négatives ou positives).

Pour diminuer le nombre de composants à intégrer dans le circuit j'ai opté pour un CI contenant 4 optocoupleurs à 4 voies.

Réf : **ACPL-844-000E**



Dans le dimensionnement de ce dernier, il y a les résistances d'entrée et de collecteur à calculer comme le montre le schéma ci-dessous. Ici l'optocoupleur est câblé en saturation, c'est-à-dire que V_o est égale à V_{cc} que si le transistor est saturé.

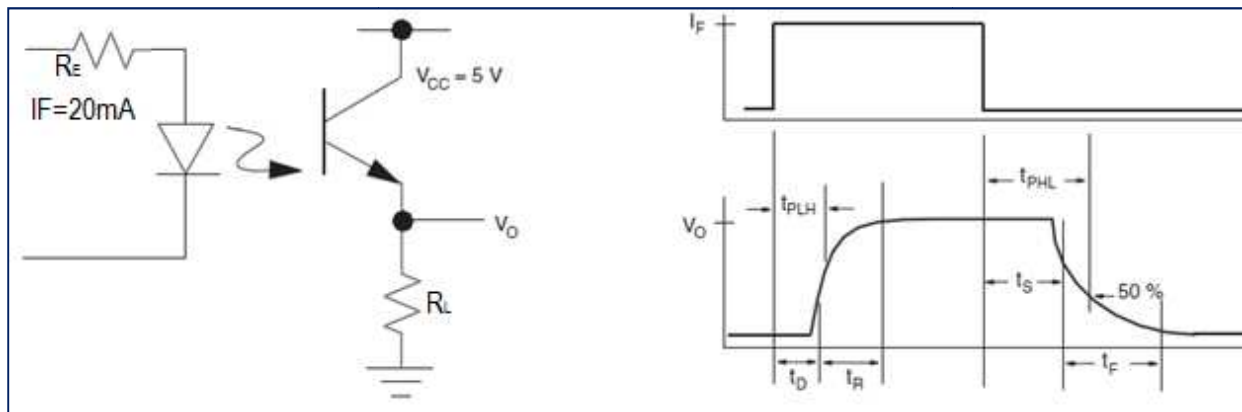


Figure 20: Schéma de l'optocoupleur

La tension de la Led est égale à 1,4V et en entrée on a 120V, 48V ou 12,5V, on peut donc facilement déterminer la résistance d'entrée :

$$R_E = \frac{U_{Relais} - V_F}{I_F} \text{ et } R_L = \frac{V_{CC}}{I_C} \quad V_F = 1,4V \quad V_{CC} = 5V \quad I_F = 20mA \quad I_C = 50mA$$

$$R_L = 100\Omega$$

Pour $U_{Relais} = 120V$ on a : $R_E = 6k\Omega$

Pour $U_{Relais} = 48V$ on a : $R_E = 2.3k\Omega$

Pour $U_{Relais} = 12,5V$ on a : $R_E = 555\Omega$

Pour les relais 120V, étant donné la chute de tension ΔU qu'on aura aux bornes de la résistance RE, le puissance que consomme la résistance sera un élément déterminant.

$$\Delta U = 120 - 1,4 = 118,6V$$

D'où la puissance consommée par la résistance : $P_R = \Delta U * I_F = 2,372W$

Donc au minimum il faut que cette résistance puisse dissiper une puissance de 3 Watt.

d) Le Microcontrôleur :

Pour pouvoir réaliser l'ensemble des fonctions demandées, le microcontrôleur doit disposer des caractéristiques suivantes :



- 22 entrées TOR pour les sorties des optocoupleurs (les relais du départ),
- 6 sorties pour l'afficheur LCD,
- 3 entrées TOR pour la commande du LCD,
- 2 E/S (Rx-Tx) pour la liaison série microcontrôleur ↔ PC (USART),

On a donc besoin au total de 33 E/S minimum, avec une interface de type USART pour réaliser le système.

J'ai choisit le microcontrôleur suivant du fabricant Microchip : **PIC18F4520** pour sa taille (36 E/S), les périphériques et les types d'interfaces embarquées (EUSART, I2C, PWM, Minuterie, etc...).

e) Alimentation du système :

L'alimentation du boîtier d'acquisition se fera en 120V continu disponible en sous-station, sachant qu'on a besoin d'une tension de 5V pour faire fonctionner le microcontrôleur, pour cela il faudra choisir un convertisseur de type continu/continu abaisseur de tension.

Critères de choix :

Le but est de déterminer le convertisseur qui supporte un peu plus de 120V en entrée isolée de la sortie, qui fournit en sortie une tension qui s'approche le plus possible de 5V, qui apporte le meilleur rendement, qui coute le moins cher et qui soit le plus petit possible.

Liste des convertisseurs compatibles :

Voici les principaux convertisseurs de type abaisseur du fabricant TRACOPOWER :

- TEN 8-7212WI Tension d'entrée : 43V à 160V, Tension de sortie : 12V fixe
Courant Max en sortie : 666mA, Soit 8W maximum en sortie
Rendement : 86%
Tension d'isolation : 1,5kV
Dimensions (Longueur x largeur x Hauteur) : 32mm x 20,8mm x 10,2mm
Prix ≈ 36€
- TEN 8-7213WI Tension d'entrée : 43V à 160V, Tension de sortie : 15V fixe
Courant Max en sortie : 533mA, Soit 8W maximum en sortie
Rendement : 86%
Tension d'isolation : 1,5kV
Dimensions (Longueur x largeur x Hauteur) : 32mm x 20,8mm x 10,2mm
Prix ≈ 36€
- THP 3-7222 Tension d'entrée : 36V à 160V, Tension de sortie : ±12V fixe
Courant Max en sortie : ±125mA, Soit 3W maximum en sortie
Rendement : 83%
Tension d'isolation : 4kV
Dimensions (Longueur x largeur x Hauteur) : 31,8mm x 20,3mm x 10,7mm
Prix ≈ 52€

- THP 3-7212

Tension d'entrée : 36V à 160V, Tension de sortie : 12V fixe

Courant Max en sortie : 250mA, Soit 3W maximum en sortie

Rendement : 83%

Tension d'isolation : 4kV

Dimensions (Longueur x largeur x Hauteur) : 31,8mm x 20,3mm x 10,7mm

Prix \approx 49€

Je constate que les convertisseurs de la série TEN 8 ont un meilleur rendement et leur prix reste en dessous de ceux de la série TPH 3. De plus ils ont une tension d'isolation suffisante pour cette application, mais aussi leur encombrement n'est pas très important.



Mon choix se fait donc sur le **TEN 8-7212WI** ($V_S = 12V$)

Etant donné que le microcontrôleur fonctionne avec une tension d'alimentation de 5V, le microcontrôleur sera alimenté par le régulateur 5V suivant : **MC7805ACTG**



f) Communication Série↔USB :

La question est comment connecter le boîtier d'acquisition à l'ordinateur de diagnostic, sachant que les PC actuel ne disposent plus ou rarement de port séries qui ont tendance à être remplacé par les ports USB.

La solution est d'utilisée le circuit MAX232 et un connecteur DB9, on a ainsi créé une liaison série entre le microcontrôleur et le PC. Mais cela ne suffit donc plus maintenant pour les ordinateurs dépourvus de port série, il faut rajouter à cela un convertisseur Série↔USB.

Il y a pour une deuxième solution, une classe de périphérique standard qui permet de convertir les données USB en série et inversement, de plus il est complètement invisible par l'ordinateur : il est reconnu comme une émulation d'un port série. Je peux citer le circuit MCP2200 de Microchip qui se distingue par son faible encombrement et sa facilité de mise en œuvre, en plus il fonctionne très bien et est moins encombrant.

Le schéma du circuit est disponible *Figure 22 Page 37*.

3.4.5. Schémas électriques.

Ci-dessous quelques schémas électriques de l'application, le schéma total est en *Annexe 8*.

- *Alimentation*

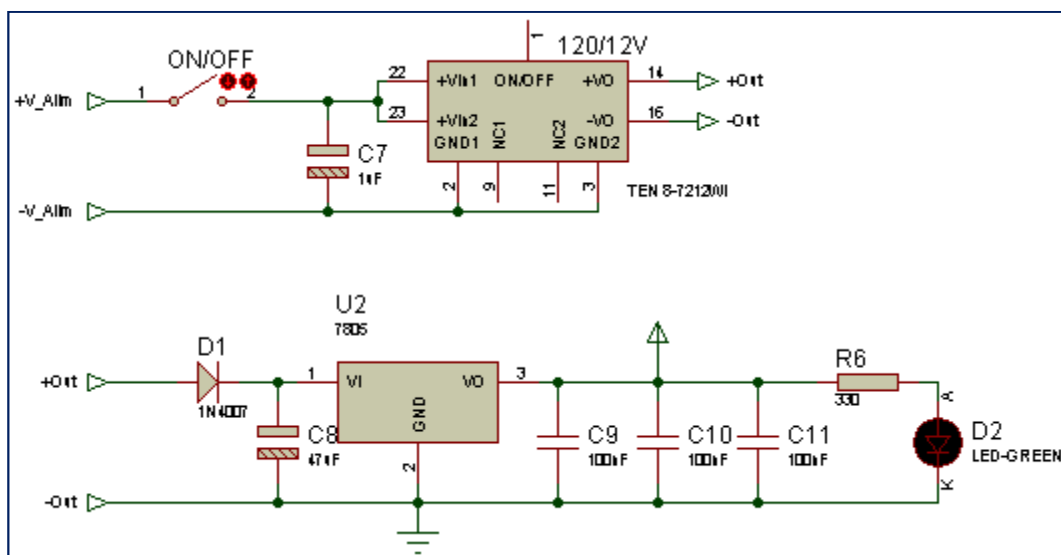


Figure 21: Circuit d'alimentation

Voici les circuits d'alimentation de l'interface, un convertisseur DC/DC (Tracopower TEN 8-7212WI - 12V-666mA) pour faire du 120/12V et un régulateur de tension (7805) pour bien fixer la tension de référence du microcontrôleur à 5V, ainsi qu'une LED pour afficher la mise sous tension.

▪ *Microcontrôleur et LCD*

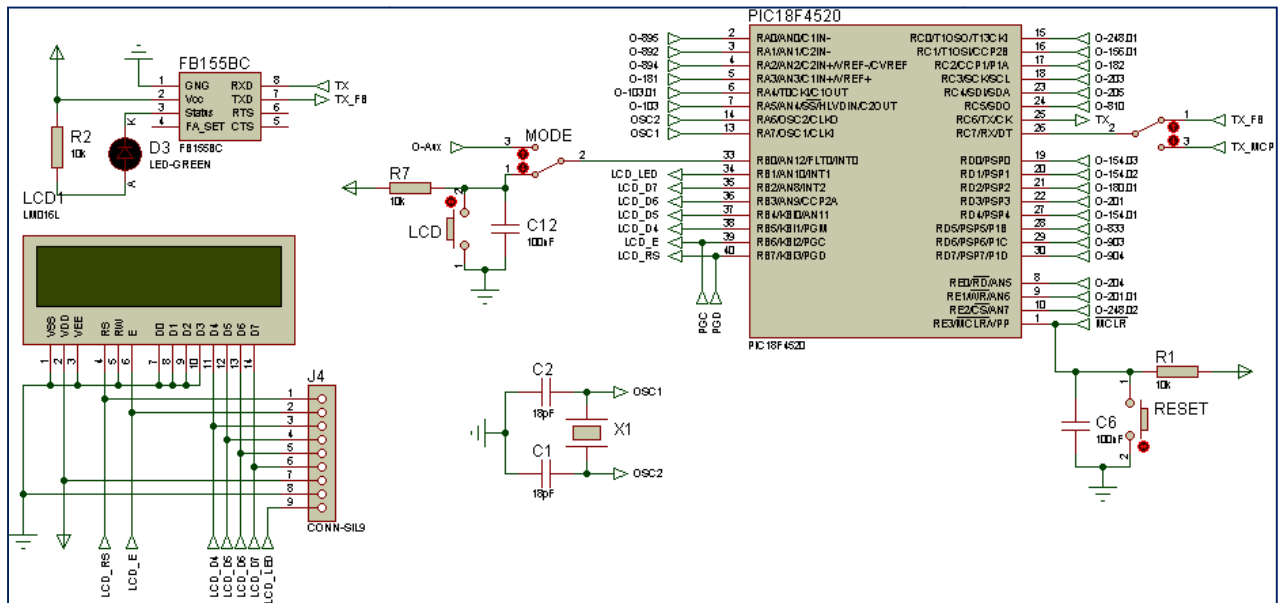


Figure 22: Schéma microcontrôleur et de l'afficheur LCD

Le microcontrôleur récupère l'ensemble des sorties des optocoupleurs, il fait aussi la communication Série↔USB. On dispose aussi sur ce schéma d'un module Bluetooth (en option pour des améliorations futures) et l'afficheur LCD en mode 4 bits.

▪ *Communication*

La connectique la plus courante sur un ordinateur est la prise USB, j'utilise donc ce moyen de communication entre la partie hard et soft de notre réalisation.

Le protocole USB est assez compliqué j'ai utilisé un convertisseur USB-UART afin que les flots de données soient facilement utilisables et exploitables.

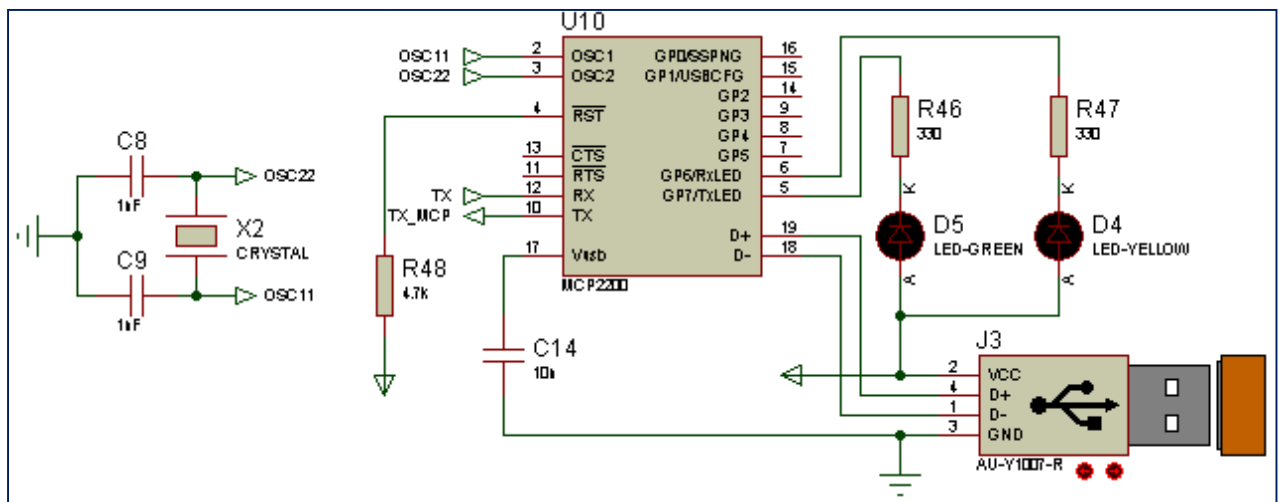


Figure 23: Schéma convertisseur MCP2200 USB↔Série

Le circuit intégré MCP2200 de Microchip permet de convertir les données USB en série et inversement, de plus il est complètement invisible par l'ordinateur : il est reconnu comme une émulation d'un port série. Son faible encombrement et sa facilité de mise en œuvre ont dicté notre choix.

3.4.6. Cartes réalisées.

a. Prise du Départ A7.

Ci-dessous les photos de la carte électronique et du boîtier de la prise du départ.

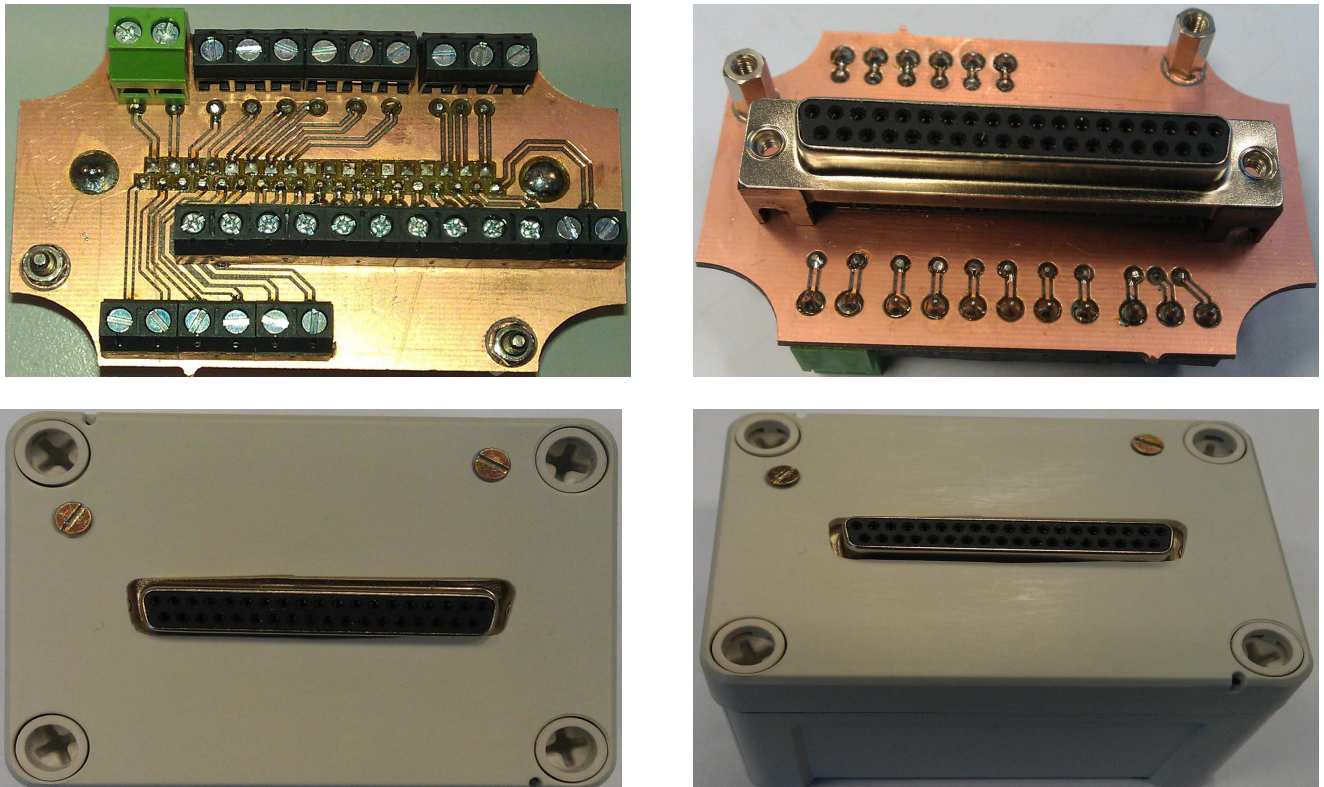


Figure 24: Carte et boîtier de la prise du départ

En vert, le connecteur d'alimentation du boîtier d'acquisition, tirée du départ A7, les connecteurs noirs sont ceux des différents points nécessaires à surveiller sur le départ.

b. Interface d'acquisition

La carte fait 182mm de Longueur et 102mm de Largeur, sachant que le boîtier contenant fait 190mm de Longueur, 110mm de largeur et 60 mm de Hauteur.

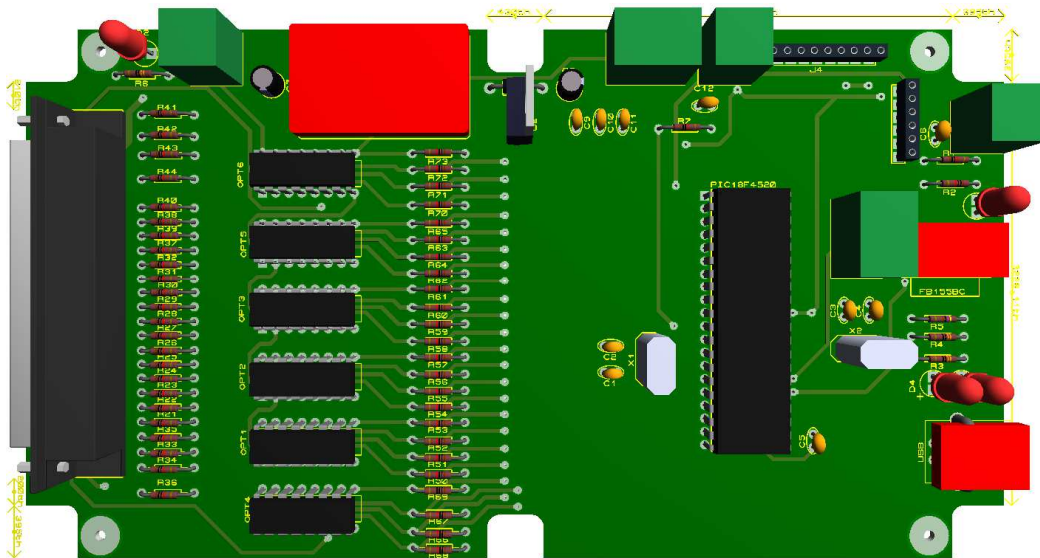


Figure 25: Vue de dessus avec les composants

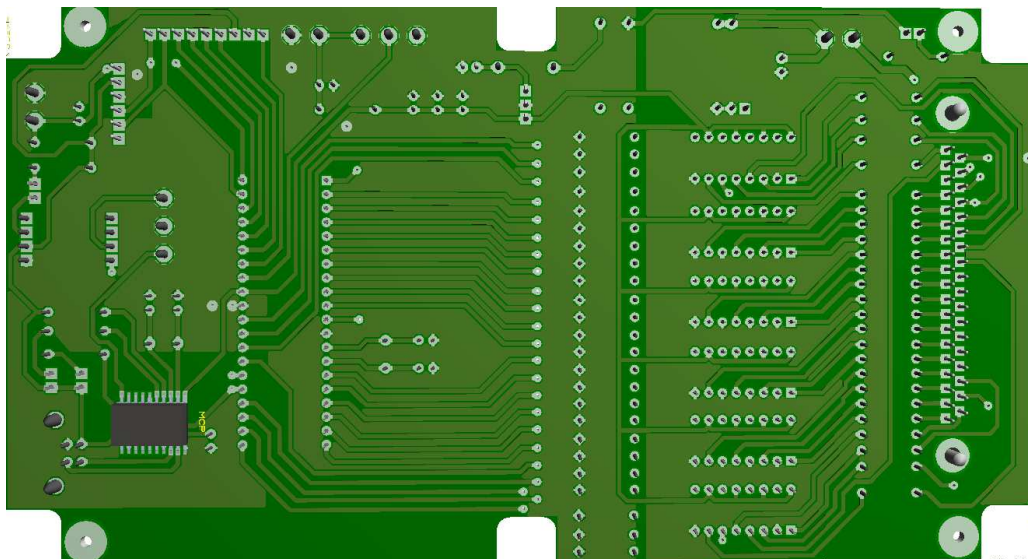


Figure 26: Vue de dessous

J'ai choisi de mettre un plan de masse pour le négatif des 120V du départ A7 et pour le zéro de la tension de référence en sortie du régulateur. Ceci a pour but de rendre plus homogène la distribution des masses sur toute la carte et améliorer la compatibilité électromagnétique.

3.4.7. Programmation du microcontrôleur.

L'objet ici est de présenter le programme du microcontrôleur qui permet de gérer les différents modes de diagnostic du système. Le code source est disponible en *Annexe 5*.

1. Méthode de développement.

J'ai fait le choix de développer le programme du microcontrôleur en langage C pour plusieurs raisons :

- Code source plus lisible et donc plus facilement modifiable par rapport à l'assembleur par exemple
- Code source quasi portable (si le projet doit évoluer en changeant de microcontrôleur, le programme est très facilement adaptable)
- Facilité de développement



J'ai ainsi utilisé le compilateur Hi-TECH C avec le logiciel de développement MPLAB IDE, tous les deux proposés par Microchip.

2. Fonctionnement du programme.

Le programme possède 6 fonctions principales :

- Ecouter le port série en permanence
- Lire les caractères envoyés par l'ordinateur via l'USB
- Envoyer le résultat du diagnostic à l'ordinateur via l'USB
- Réagir et exécuter les demandes du logiciel de diagnostic
- Récupérer les informations issues du départ A7
- Enregistrer ses informations dans l'EEPROM si besoin

Voici les organigrammes qui décrivent le fonctionnement du programme.

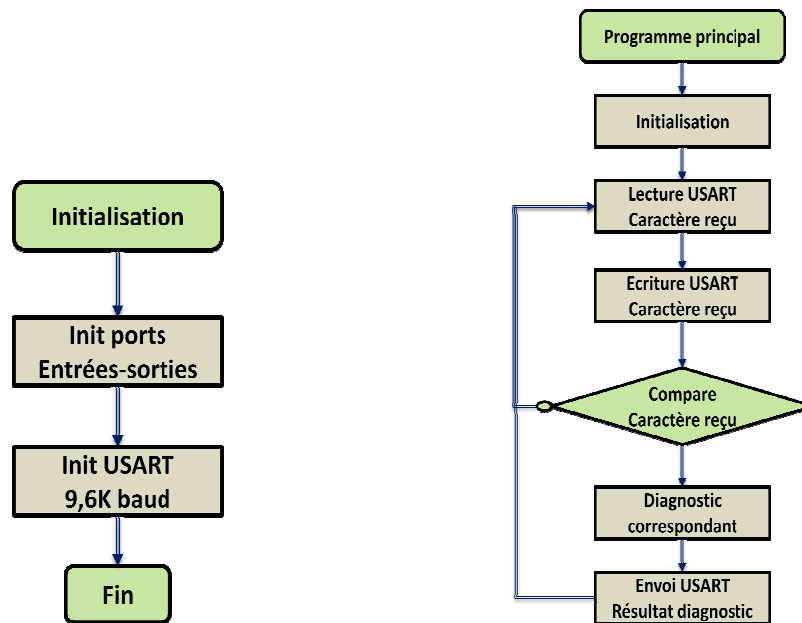


Figure 27: Algorithme du programme principal du Microcontrôleur

Le programme principal est basé sur la lecture continue du caractère reçu (envoyé par le logiciel de diagnostic) sur le port, il compare ensuite ce caractère à ceux correspondants aux types de diagnostics, ensuite il va au sous programme de diagnostic correspondant, puis il renvoie au PC le résultat du diagnostic avec le caractère reçu.

Exemple de code : Diagnostic du mode veille

```

void DiagnosticVeille (void)
{
  While (1)
  {
    if (R203==1 && R248_01==1 && R248_02==1 && R154_03==1) // Mode veille effectif
    {
      USARTWriteByte ('1'); // Confirme à l'ordinateur que le 203 est sous tension
      break;
    }
    else if (R203==0 && R248_01==1 && R248_02==1 && R154_03==1){
      USARTWriteByte ('2'); // On vérifie les contacts 6-10 du 154.03
      break;
    }
    else if (R203==0 && R248_01==1 && R248_02==1 && R154_03==0){
      if (C833==1) { //Si le contact 6-10 du 248.02 est bon, on vérifie la chaine
        USARTWriteByte ('3');
        break;
      } else {USARTWriteByte ('4'); break;} //Sinon de vérifie ses contacts 6-10 et 11-7
    }
    else if (R203==0 && R248_01==1 && R248_02==0 && R154_03==0){
      USARTWriteByte ('5'); // le 248.01 est st, on vérifie ses contacts 6-10 et 11-7
      break;
    }
    else if (R203==1 && R248_01==0 && R248_02==0 && R154_03==0){
      USARTWriteByte ('7'); // Si on n'est pas dans le bon mode de diagnostic
      break;
    } else {USARTWriteByte ('6');} // Sinon aucun relais n'est sous tension
  } // End while...
} // End void...
  
```

Le code ci-dessous montre le processus de diagnostic de l'état de veille du départ A7. Lorsque l'utilisateur choisit ce type de diagnostic, l'ordinateur envoie au μ C le caractère "a" :

Code:

```
CaractereRecu=USARTReadByte (); // Lecture du caractère envoyé par l'ordinateur
USARTWriteByte (CaractereRecu); // Renvoi le caractère reçu + le résultat de Diagnostic
    if (CaractereRecu=='a')
    {
        // Diagnostic mode veille
        DiagnosticVeille ();
    }
```

Si le sous programme de diagnostic renvoi "1" :

```
USARTWriteByte('1');
```

Cela veut dire que le mode veille s'est bien passé, et le μ C enverra à l'USART la valeur "a1", et cette valeur reçue par le logiciel sera interprétée dans le programme Visual Basic et le résultat final affiché sous forme de texte et graphique Cf. *Figure 28*.

3.4.8. L'Interface Homme Machine (IHM).

3.4.8.1. Le logiciel.

Choix de développement

Le logiciel va servir de premier Interface Homme Machine (IHM) au boîtier électronique, il faudra donc trouver un langage de programmation qui puisse permettre de développer une application graphique particulièrement bien adapté au test, à l'instrumentation et à l'automatisation. Ce logiciel pourrait être défini comme un programme permettant de contrôler et de visualiser un processus physique externe (via port USB).

Etant donné le but de cet outil (aide au dépannage), il ne faut pas non plus que l'utilisation de l'IHM soit très compliquée pour son utilisateur jusqu'à retarder davantage son dépannage.

J'ai choisi de développer ce dernier avec *Visual basic 2010* qui est une évolution du langage Visual Basic conçue pour générer efficacement des applications de type sécurisé et orientées objet. Visual Basic permet de cibler des périphériques Windows, Web et des appareils mobiles. Les programmes écrits en Visual Basic bénéficient de la sécurité et de l'interopérabilité entre les langages.

Visual basic 2010 comme les précédentes versions, permet de créer rapidement et facilement des applications basées sur le .NET Framework. Le *.NET Framework* est un kit de composants logiciels structurels pouvant être utilisé par un système d'exploitation Microsoft Windows et Microsoft Windows Mobile.



Conception de l'IHM sous VB 2010

Le code source Visual Basic est disponible en **Annexe 6**.

Cette section d'écrit donc la documentation conceptuelle relative à l'application de diagnostic. Ci-dessous, quelques exemples de fenêtres et les codes Visual Basic correspondants.

- Exemple 1 : conception de la fenêtre d'accueil

Après avoir paramétré l'environnement où l'on va développer son projet, on choisit la forme de sa page et dans la boîte d'outils de Visual Basic on peut personnaliser l'interface pour les utilisateurs en définissant les propriétés des contrôles (Images, textes, boutons etc...) au moment du design ou en utilisant le code.

Au démarrage de la page d'accueil *Cf. Figure 27*, j'affiche un message de bienvenue, l'heure du système, les logos de l'entreprise, un système d'identification par mot de passe et des boutons de commandes.

En cliquant sur le bouton "Diagnostic" par exemple, la fenêtre de diagnostic va s'ouvrir. Et après le design, on associe le code correspondant à la fonction de l'élément de la fenêtre.

```
' Chargement de la page d'accueil
Private Sub Accueil_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
    lblBienvenue.Text = "Bienvenue dans l'application de diagnostic Départ A7"
End Sub

' Clic sur le bouton quitter, on quitte l'application
Private Sub BtQuitter_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles BtQuitter.Click
    Application.Exit() 'Quitte l'Application
End Sub
```

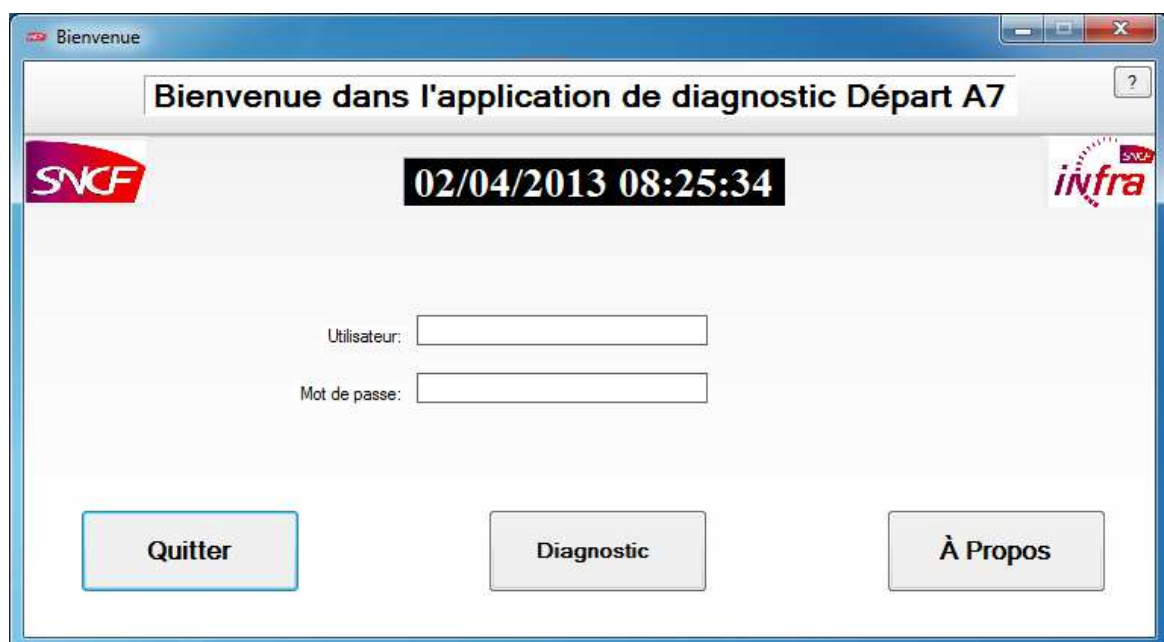


Figure 28: Fenêtre d'accueil du logiciel

- Exemple 2 : Conception de la fenêtre de diagnostic

C'est dans cette fenêtre **Figure 28** que le diagnostic du départ se fera, on peut voir :

- Le Départ A7 à gauche avec les différents relais
- Le choix du port COM et la vitesse de communication
- Le choix du type de diagnostic
- Un box pour visualiser le résultat du diagnostic type texte

Ses objectifs sont :

- Envoyer au microcontrôleur un caractère pour lui dire le type de diagnostic choisit
- Récupérer les données séries envoyées par le microcontrôleur pour le résultat du diagnostic
- Enregistrer son diagnostic
- Ouvrir un diagnostic fait auparavant

Exemples de codes :

'Au chargement de la page de Diagnostic, détecter tous les ports série du système et remplir la zone de liste déroulante Port

```
myPort = IO.Ports.SerialPort.GetPortNames () 'Obtenir tous les ports COM disponibles
```

'Remplir la liste déroulante Vitesse avec des vitesses de transmission normalisées

```
CbBaud.Items.Add(9600)
CbBaud.Items.Add(19200)
CbBaud.Items.Add(38400)
CbBaud.Items.Add(57600)
```

```
If CbTypeDiagnostic.Text = "Défaut de mise en veille" Then
    If SerialPort1.IsOpen = False Then 'Il faut que le port soit ouvert
        MsgBox ("Veuillez vous connecter à un port SVP", vbCritical)
    Else
        DonnéeReçu = SerialPort1.ReadExisting () 'Lire continuellement la données
        envoyée par le microcontrôleur
        If DonnéeReçu = "a6" Then ' Si aucun relais n'est sous tension, on les
        affiche en rouge
            R24801.BackColor = Color.Red
            R24802.BackColor = Color.Red
            R15403.BackColor = Color.Red
            R203.BackColor = Color.Red
            MsgBox ("Aucun relais n'est sous tension." & vbCrLf &
            "Veuillez vérifier si la tête de câble est fermée")
        End If
    End If
End If
```



Figure 29 !: Fenêtre de diagnostic

3.4.8.2. L'écran LCD.

L'afficheur LCD (Liquid Crystal Display) de 2 lignes de 16 caractères est piloté par le microcontrôleur. Ce type d'afficheur embarque une table de caractères complète qui permet de gérer un affichage approprié au système en investissant un minimum dans la programmation.



L'afficheur LCD permettra d'effectuer un dépannage lorsque l'ordinateur ne sera pas en disposition (câble USB oublié par exemple).

Dans le document technique de ce dernier comme tout périphérique, l'afficheur se voit doté d'un jeu d'instructions qui permet de le contrôler, par exemple :

- L'initialisation à la mise sous tension (mode 4 bits ou 8 bits, en 1 ligne ou 2 lignes),
- Gestion du curseur,
- Mettre l'affichage en ou hors fonction, etc...

Voici trois exemples de fonctions :

```
void LCDInit(void); // Initialise le LCD
void LCD_Clear(void); // Efface l'afficheur LCD
void LCD_Write_at(char caractere, char at); // Ecrire "caractere" à l'emplacement "at"
```

```
//Initialisation du LCD
void LCDInit(void)
{
    Delay100TCYx(120); //Attendre 50ms
    LCD_Clear();
    LCD_RS=0;
    LCD_DATA=0b00000010; // mode 4 bits, 1 ligne
    LCD_STROBE();
    Delay10TCYx(60); //Attendre 50us
    LCD_RS=0;
    LCD_Write(0b00101000); //Mode 4bits, 2 lignes, matrice 5x8
    LCD_RS=0;
    LCD_Write(0b00000110); //Curseur décale vers la droite
    LCD_RS=0;
    LCD_Write(0b00001100); //Afficheur ON, curseur invisible et fixe
}
```

```
//Ecrire un caractère à l'emplacement donné
void LCD_Write_at(char caractere, char at)
{
    LCD_RS=0;
    LCD_Write(0b1000000|at); //Set DDRAM address

    LCD_RS=1;
    LCD_Write(caractere); //Affichage du caractère
}
```

```
//Efface l'écran LCD
void LCD_Clear(void)
{
    LCD_RS=0;
    //Efface
    LCD_Write(0b00000001);
    //Attendre 20ms
    Delay1KTCYx(240);
}
```

Dans le programme l'afficheur est activé dès la mise sous tension du système, il indiquera à l'utilisateur l'endroit où il se trouve dans le dépannage. Il permet également de choisir un type de diagnostic dans un menu qui se déroule automatiquement sous la commande d'un seul bouton poussoir.

4. Bilan financier.

La liste globale du matériel est disponible en *Annexe 7*.

Pour ce projet j'ai fait une mise en concurrence au travers de deux fournisseurs. À la SNCF, pour certains projets d'envergure la mise en concurrence peu impliquer beaucoup plus de fournisseurs (appel d'offre).

Le coût total du projet peut être estimé à 115€ si je prends en compte les frais de port du matériel. Le prix de revient du système global proposé sans la main d'œuvre est détaillé sur le tableau ci-dessous. C'est-à-dire la somme des couts d'achat hors taxes des matières et produits entrants dans la composition du système.

Désignation	Quantité	Référence Fabricant	Prix (€)
PIC18F4520	1	PIC18F4520-I/P	5,69
Optocoupleur	6	ACPL-844-000E	7,44
TRACOPOWER	1	TEN 8-7212WI	34
Quartz 12MHz	2	HUS-12.000-18-30/50/4085	0,808
Régulateur 5V (7805)	1	MC7805ACTG	0,54
Boitier	1	1591ESGY	8,28
Boitier Prise	1	TA 090706	7,2
Interrupteur On/Off	1	CRE22F6FBBNE	1,67
Embase femelle SUB-DB37	1	5504F1-37S-02-03-F1	1,72
Embase femelle SUB-DB37	1	ZDC37S-OL2	2,018
Connecteur USB Type B	1	A-USBSB	0,736
Câble USB	1	2431 01	4,07
MCP2200 (USB↔Série)	1	MCP2200-I/SS	1,91
Led Jaune	2	L-934YD	0,252
Led Verte	2	L-7104VGC-E	1,3
Résistance 5,9kΩ	24	MRS25000C5901FCT00	1,44
Résistance 8,2kΩ	20	Cyclades	6
Résistance 2,2kΩ	2	Cyclades	0,6
Résistance 555Ω	2	CFR50J560R	0,118
Résistance 200Ω	7	CFR50J200R	0,308
Condensateur 4,7μF	1	50MSS4R7MEFC5X5	0,138
Condensateur 100nF	5	C315C104M5U5TA	1,33
Condensateur 18pF	4	CK05BX180K	0,68
Condensateur 47μF	1	EEUED2V470	1,72
Afficheur LCD	1	PC1602ARU-HWB-G-Q	6,49
Total:			96,458

Bilan - Conclusion.

Ce projet de fin d'études a été très enrichissant tant du point de vu professionnel que personnel, le bilan que j'en tire est très positif. Les éléments que je me suis fixé dans le cahier des charges en accord avec l'entreprise ont pu être respectés :

- Une prise est disponible sur la face avant départ A7,
- L'interface électronique portable peut être raccordée au départ par un connecteur 37 voies et à l'ordinateur via USB,
- Le système dispose de deux types d'IHM, un logiciel sur ordinateur, et d'un écran LCD que j'ai l'idée de proposer en plus du cahier des charges de départ,
- Le logiciel de diagnostic à pu être développé sous Windows 7,
- L'ordinateur et l'interface d'acquisition sont séparés de manière galvanique du départ,
- Malgré quelques difficultés rencontrées dans la conception (Hardware et Software), le système permet d'assister les opérateurs dans leur dépannage.

En effet des problèmes ont été rencontrés au moment des tests en sous-station, des difficultés qui ont été plutôt d'ordre technique, le fonctionnement du système était différent à celui obtenu au labo :

- Le microcontrôleur étant plus rapide que l'automatisme du départ A7, il fallait que j'optimise les temporisations pour être synchrone avec le départ
- Arrivé au niveau du relais 154.01 dans le mode volontaire, ce dernier étant désactivé dans le dépannage (aucune tension ne lui arrive), le microcontrôleur détectait que l'entrée correspondant était active.
- Déconnexion automatique du port USB au cours d'un dépannage, ce qui n'est pas normal. Il suffisait de faire une lecture continue du port au niveau du programme Visual Basic.

Pour une entreprise comme la SNCF, le fonctionnement des appareils au niveau des installations est quasi permanent, je ne pouvais donc pas avoir le monopôle du départ A7 à ma guise. C'est pour cela il faut faire au préalable une étude technique beaucoup plus approfondie de l'appareil sur lequel on travail.

Grâce à ce stage j'ai pu améliorer mes compétences en autonomie, relationnel, en communication et dans la prise de décision. En matière de pratique, les paramètres académiques ont eu une importance capitale dans la réalisation de ce projet.

Du point de vue personnel, la réalisation de ce stage m'a permis d'acquérir quatre principaux apports :

- L'accomplissement d'un objectif professionnel dans un délai limité (gestion de projet), ce qui conditionne le fait d'être performant dans sa profession, et ce stage m'a permis d'intégrer cette problématique en moi.
- Le deuxième apport, obtenu par la réalisation de ce stage, est l'autonomie. Ceci m'a redonné confiance, m'a permis d'améliorer ma personnalité en matière de prise de décision et de mise en œuvre d'idées.
- Le troisième apport est le travail en équipe, facteur important dans le monde de l'entreprise. En effet lors de mes tests sur le terrain, j'étais accompagné par un jeune technicien pour m'aider sur les manœuvres du départ A7. J'ai profité de ces moments du stage pour améliorer mon sens relationnel et ma communication.
- Et enfin le dernier apport majeur procuré par ce stage, est l'approfondissement de mes connaissances du milieu professionnel du ferroviaire. Avec la découverte de ce milieu lors d'un stage technicien de trois mois en Belgique et ce stage de 6 mois, je compte désormais construire mon projet professionnel dans le domaine du ferroviaire.

Ce fut une expérience professionnelle et humaine, effectuée dans un service où règne un bon climat, concrétisé par des repas communs lors de la pause déjeuner.

Toutefois il serait possible d'apporter une amélioration au système. En effet une extension a été prévue sur la carte électronique, pour la mise en place d'un module Bluetooth permettant la communication sans fil, notamment le développement d'une application sur tablette tactile.

Bibliographie.

❖ Manuel de formation de l'Agence EALE (propriété SNCF)

❖ Programmation Visual basic

http://fr.wikipedia.org/wiki/Programmation_orient%C3%A9e_objet

<http://msdn.microsoft.com>

❖ Communication RS232

<http://extremeelectronics.co.in/microchip-pic-tutorials>

❖ Guide émulateur USB ↔ Série MCP2200

<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en546923>