

# ***RAPPORT DE STAGE***

## ***MISE EN ŒUVRE D'UN TABLEAU ELECTRIQUE DE TEST PILOTE PAR RASPBERRY PI***

***MIGNUCCI SAMUEL***

*Deuxième année DUT GEII (Aix-Marseille Université)*



Année scolaire 2020-2021

Stage effectué du 12 avril 2021 au 2 juillet 2021 à l'IUT St Jérôme Aix-Marseille

Entreprise : SMARTFUTURE

Tuteur Enseignant : **Moreau Mathieu**

Tuteur Entreprise : **Bertrand Paul**

## **REMERCIEMENTS**

En premier lieu, je tiens à remercier Monsieur Paul BERTRAND, Directeur de l'entreprise SMARTFUTURE. En tant que maitre de stage, il m'a beaucoup appris et a partagé ses connaissances dans le domaine de la programmation.

Je remercie également, Monsieur Remy VAUCHE, Maitre de conférences à l'IUT d'AIX Marseille pour son aide précieuse, ses conseils et sa disponibilité tout au long de mon stage.

Je voudrais aussi remercier Monsieur Mathieu Moreau, mon tuteur pédagogique ainsi que toute l'équipe enseignante de L'IUT Aix-Marseille site St Jérôme qui m'a accompagné durant ces deux années passées. Merci à mon camarade de stage, Monsieur Jalil BENHIBA pour sa collaboration active.

# Table des matières

REMERCIEMENTS.....	1
INTRODUCTION .....	3
1) Présentation de l'entreprise.....	4
1.1) SMARTFUTURE .....	4
1.2) IUT AIX-MARSEILLE.....	5
2) Cahier des charges .....	6
3) Planning Prévisionnel .....	7
4) Réalisation Électrique.....	8
4.1) Fonctionnement de l'armoire électrique .....	8
4.1.a) Rôle de l'armoire électrique.....	8
4.1.b) Module de Protection magnétothermique.....	8
4.1.c) Module de Protection différentiel.....	9
4.1.d) Dimensionnement Disjoncteur Différentiel.....	9
4.2) Schéma Electrique .....	11
4.2.a) Schéma électrique de puissance .....	11
4.2.b) Schéma électrique implantation Modbus.....	12
4.3) Matériels .....	13
4.4) Test de l'armoire électrique .....	14
5) Réalisation Informatique.....	15
5.1) Protocole Modbus.....	15
5.1.a) Modbus RTU (8bits).....	15
5.1.b) Modbus TCP/IP: (Ethernet, Wi-Fi).....	18
5.1.c) Modbus ASCII (7 bits) .....	18
5.2) Raspberry Pi 3b.....	19
5.3) Compteur D'énergie RAIL310V.....	19
6) Programmation .....	21
7) Conclusion .....	23
8) Index Des Illustrations .....	24
9) Bibliographies.....	25
10) Annexes .....	27
11) Résumé.....	29
12) Abstract .....	29

# INTRODUCTION

Etant en 2<sup>ème</sup> année de DUT Génie Electrique et Informatique Industrielle à l'IUT d'Aix-Marseille (site St Jérôme) j'ai dû accomplir un stage de fin d'études afin de concrétiser ma formation. Ce stage s'est déroulé sur 12 semaines, du 12 Avril au 02 Juillet 2021, à l'IUT sur le site de St Jérôme au sein du département GEII.

Aujourd'hui, les objets connectés occupent une part très importante dans la société.

Etant passionné de programmation et cartes électroniques tel que Arduino ou Raspberry PI il m'a paru évident d'accepter l'offre de stage proposé par l'entreprise SMARTFUTURE.

Depuis les nouvelles politiques environnementales et d'économie d'énergie, les entreprises travaillent toutes sur des solutions pour surveiller et contrôler l'utilisation de l'énergie mais, jusqu'à aujourd'hui, le prix et les coûts d'installation de tels équipements empêchent le marché de croître rapidement.

La technologie de détection Stick'n Sense est une technologie, non intrusive et à faible coût. Elle fournit un moyen simple et innovant de surveiller un tableau électrique grâce à des capteurs coller sur des disjoncteurs. Comme les capteurs étant proches les uns des autres (disjoncteurs proches dans un tableau électrique) les capteurs peuvent être perturbés par l'influence des champs électromagnétiques des autres disjoncteurs et ainsi fausser les mesures d'intensités relevés par le capteur.

L'entreprise SMARTFUTURE donc, a besoin de banc de test servant à vérifier et corriger la sensibilité, la précision des capteurs Stick'n Sense.

Le sujet de stage qui m'a été confié consiste à mettre en œuvre un tableau électrique de test piloté par Raspberry Pi pour la commande et la lecture des mesures électriques des différents circuits électriques.

Le déroulement de ce stage s'est effectué en plusieurs étapes :

- Connexion en Modbus d'une boîte de 6 relais
- Elaboration d'un fichier scénario qui allume ou non plusieurs de ces relais
- Connexion en Modbus de 2 compteurs d'énergie triphasé (6 mesures)
- Elaboration d'un fichier d'enregistrement des mesures électriques

La réalisation du tableau électrique piloté par Raspberry pi nous amène à concevoir et à réaliser des schémas électriques ainsi que la programmation en langage C et C++ des différents appareils pour pouvoir communiquer via le Protocol Modbus.

Je vais commencer par la présentation de l'entreprise SMARTFUTURE ainsi que l'IUT d'AIX-MARSEILLE (site St Jérôme), puis le cahier des charges, suivi du planning prévisionnel et pour finir les réalisations électriques et informatiques.

# 1) Présentation de l'entreprise

## 1.1) SMARTFUTURE

**SMARTFUTURE** est une entreprise SAS (société par actions simplifiée) familiale située à PIERREFEU-DU-VAR (83390), au 25 IMP BELLE LAME 83390 PIERREFEU-DU-VAR créée le 01-04-2011 par Paul BERTRAND, ingénieur diplômé de l'ENSTA ((École Nationale Supérieure de Techniques Avancées). Passionné par l'innovation technologique, Paul BERTRAND est l'auteur de nombreux brevets.

Son directeur, Paul BERTRAND dirige 3 sociétés : **SMARTFUTURE** : Conseil en innovation, **STICK N-SENSE** : étude et design de solutions de mesure, cession de licences de technologies développées et **IMAGINE TECHNOLOGIES** pour la fabrication d'instruments scientifiques et techniques.

SMARTFUTURE est spécialisé dans l'aide à l'innovation des technologies de communication, des réseaux électriques intelligents (SMARTGRID) et des capteurs intelligents (voir figure 1). Elle aide les Directions Générales des entreprises à mieux maîtriser leurs évolutions vers plus de technologies.

Elle travaille avec un réseau de personnalités extérieures qui participent aux tâches de l'entreprise dans le domaine des capteurs Stick-n-Sense pour le développement de logiciels, la rédaction des brevets et le développement du hardware.

Dans ce domaine d'activité, ses clients sont Inovadea et la société Stick-n-Sense. **SMARTFUTURE** a breveté une nouvelle technologie de mesure d'énergie à faible coût : la technologie de détection Stick'n Sense qui est l'association de micro-capteurs collants sans contact à faible coût posé sur des disjoncteurs avec un contrôleur qui traite les données. Il délivre à l'utilisateur final une estimation de sa consommation d'énergie par disjoncteur par consommation (kWh). Les données sont disponibles sur un serveur dédié via une API (sur le Cloud).

Elle a accordé à Stick'n Sense le droit de commercialiser la technologie par le biais d'accords de licence.

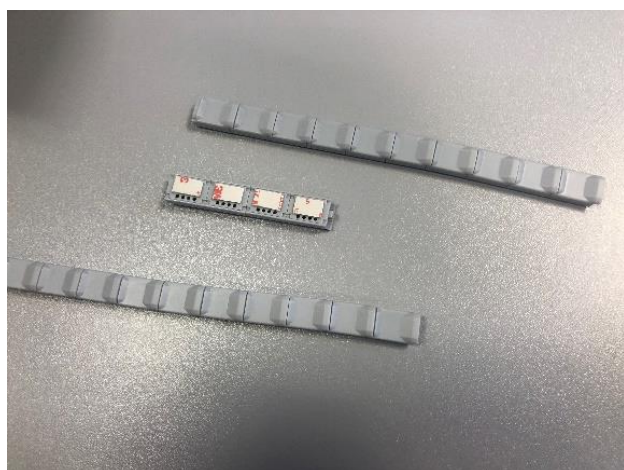


Figure 1 Capteur STICK'N SENSE

## 1.2) IUT AIX-MARSEILLE

L'académie d'Aix-Marseille est plus grand IUT de France elle est implantée sur 11 sites différents, dans 7 villes (Marseille, Aix en Provence, Salon de Provence, Gap, Digne les Bains, La Ciotat, Arles)

L'**IUT** (Institut Universitaire Technologique) Aix-Marseille site St Jérôme est une université située à Marseille 13<sup>ème</sup>, au 142 Traverse Charles Susini, créée en 1969.

L'**IUT** dispense des formations théoriques et pratiques.

Le site de St Jérôme comprend 7 départements : Chimie, Génie Chimique Génie des Procédés, Génie Electrique et Informatique Industrielle, Génie Thermique et Energie, Gestion des Entreprises et Administrations, Mesures Physiques, Techniques commerciales.

Il accueille chaque année 5400 étudiants pour 26 formations (8 DUT, 15 licences Pro et 3 DU). Plus de 3000 diplômes sont délivrés chaque année.

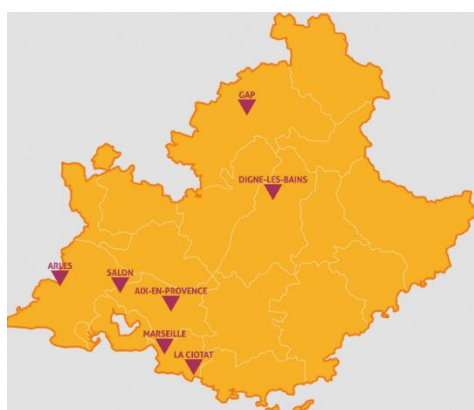


Figure 2 Académie AIX-MARSEILLE Région PACA [1]



Figure 3 Site St Jérôme IUT [2]

## 2) Cahier des charges

- Réalisation d'un tableau électrique de test composé d'un disjoncteur différentiel de 6 disjoncteurs magnétothermiques et de six prises.
- La commande de chaque circuit électrique avec une boite a relais MBH88 (8 relais).
- La mesure électrique des 6 circuits avec deux compteurs d'énergies Rail310V R4.
- La Communication en Modbus RTU RS485 entre un Raspberry PI 3 model 3b+ et les deux compteurs d'énergies et la boite a relais.
- Elaboration d'un fichier scénario qui allume ou non plusieurs de ces relais.
- Elaboration d'un fichier d'enregistrement des mesures électriques.



Figure 4 Boite à Relais mbh88 [3]



Figure 5 Raspberry Pi 3b+ [4]



Figure 6 Compteur D'énergie Rail310V [5]

### 3) Planning Prévisionnel

Numero Semaines	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Connaissances du project	X											
	V											
Recherches et lectures documentations techniques	X											
	V											
Configuration Raspberry Pi	X											
		V										
Programation du meter Rail310V	X	X										
			V	V								
Programation fichier csv et excel récupération données électrique				X								
				V								
Réalisation schéma électrique armoire			X									
					V							
Mise en place des deux Meters Rail310v				X	X							
					V	V						
Implémentation matériel armoire électrique							X					
								V				
Optimisation du programme					X	X						
					V	V						
Cablage armoire électrique								X				
								V	V			
Assemblage des deux programmes Rail310v et mbh88							X					
							V	V				
Optimisation du programme final									X			
										V		
Test de l'armoire électrique										X		
Test de l'armoire électrique avec les capteurs Stick'n Sense											X	X
Préparation soutenance									X			
								V	V			
Soutenance Oral										X		
										V		
previsionnel = X												
reel = V												
non efec = F												

Figure 7 Planning Prévisionnel

\*Durée du stage : Semaine 15 jusqu'à semaine 26.



## 4) Réalisation Électrique

### 4.1) Fonctionnement de l'armoire électrique

#### 4.1.a) Rôle de l'armoire électrique

Le rôle de l'armoire électrique est de concentrer au même endroit les protections et les commandes des différents circuits électriques.

D'après la norme électrique NFC 15-100, une installation électrique doit comporter des équipements de protection, tel que des disjoncteurs différentiels et des disjoncteurs magnétothermiques.

#### Normes NFC 15-100

- 8 circuits électriques maximum par disjoncteur différentiel.
- intensité du disjoncteur différentiel doit être supérieure ou égale à 0.5 fois la somme des intensités des disjoncteurs magnétothermiques pour les circuits.
- Tous les circuits électriques doivent être protégés (surintensités, courts-circuits).
- 1 disjoncteur magnétothermique par circuit électrique.

#### 4.1.b) Module de Protection magnétothermique

Un disjoncteur magnétothermique dispose de deux systèmes permettant de détecter à la fois les surcharges de courant dans un circuit (intensité électrique supérieure à la normale) et la présence de courts-circuits (contact direct entre phase et neutre).

Pour détecter les surcharges, le disjoncteur est équipé d'un dispositif thermique.

Pour les courts-circuits, il est équipé d'un dispositif magnétique.

Les surcharges et les courts-circuits dégradent les installations et équipement électriques.

Son intérêt est donc de protéger les appareils et le matériel électrique.

Il existe plusieurs modèles de disjoncteurs magnétothermiques selon les utilisations :

**Bipolaire** : deux modules (phase neutre) (voir figure 12)

**Tripolaire** : trois modules (phases 1, phases 2, phases 3)

**Tétrapolaire** : quatre modules (phases 1, phases 2, phases 3, neutre)

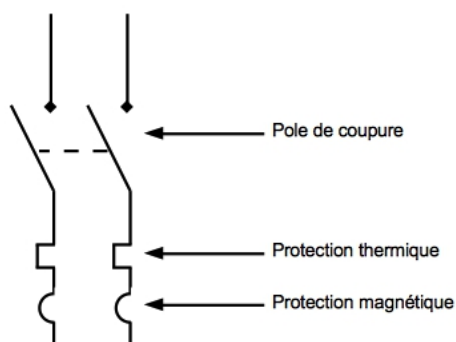


Figure 8 Symbole Electrique Disjoncteur Magnétothermique Bipolaire [6]

#### 4.1.c) Module de Protection différentiel

Un disjoncteur différentiel est composé d'un disjoncteur classique (disjoncteur magnétothermique) et d'un interrupteur différentiel qui permet la coupure de l'alimentation électrique de l'installation en cas de fuite de courant.

Dans le cas d'un courant monophasé, le disjoncteur différentiel compare l'intensité du courant de phase et celle du neutre.

Si le courant rentrant est différent du courant de sortie, il y a une différence, l'installation comporte une fuite de courant vers la terre. Si cette fuite est supérieure au seuil du différentiel, le disjoncteur se coupe du circuit. Il sert donc de protéger les personnes.

Pour la plupart des disjoncteurs différentiels le seuil est fixé à 30mA car c'est le seuil de la paralysie respiratoire, seuil maximal avant le risque d'électrocution.

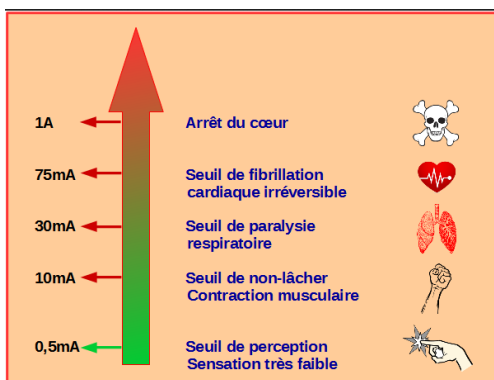


Figure 9 Risque Electrique En Fonction De L'intensité [7]

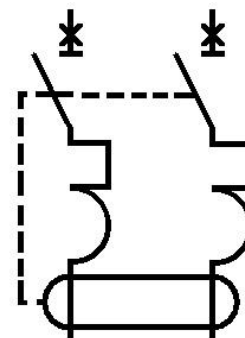


Figure 10 Symbole Disjoncteur Différentiel [8]

Il existe plusieurs classes de disjoncteurs différentiels :

**AC** : pour les utilisations standards (éclairage, prises électrique).

**A** : pour les appareils électroménagers qui comportent des circuits électroniques (machines à laver, plaques de cuisson...) pouvant envoyer du courant continu dans l'installation, risquant de provoquer le déclenchement intempestif du disjoncteur.

**HPI** : quand l'installation comporte des appareils qui ne supportent pas les coupures même très brèves (alarmes, serveurs informatiques)

#### 4.1.d) Dimensionnement Disjoncteur Différentiel

La norme **NFC 15-100** définie précédemment stipule que l'intensité du disjoncteur différentiel doit être supérieure ou égale à 0.5 fois la somme des intensités des disjoncteurs magnétothermiques pour les circuits.

Calibres	10A	16A	20A
Disjoncteur magnétothermiques	4 disjoncteurs	1 disjoncteur	1 disjoncteur

Figure 11 Matériels Disjoncteur Magnétothermique

La somme des intensités des disjoncteurs magnétothermiques =  $4 \times 10 + 16 + 20 = 76A$ , le disjoncteur différentiel à utiliser  $Q0 \geq 0.5 \times 76 = 38A$ . **Le Disjoncteur différentiel à utiliser est un 40A de sensibilité 30**

## 4.2) Schéma Electrique

### 4.2.a) Schéma électrique de puissance

L'implantation et le câblage du matériels dans l'armoire nécessite l'emploi de schémas électriques

Les schémas électriques ont été réalisés via le logiciel **Qelectrotech**, logiciel spécialisé dans la réalisation de schémas électriques imprimables.

Le matériel nécessaire pour le projet est l'utilisation d'une boîte à relais MBH88 pour ouverture et fermeture de six circuits électriques de puissance, de deux compteurs d'énergie RAIL310V triphasé et de six sondes ampèremétriques pour les mesures des données électriques sur les 6 circuits, d'un disjoncteur différentiel (protections des personnes), de six disjoncteurs magnétothermiques (protection du matériel) et enfin d'une source d'alimentation phase, neutre, terre et de six prises électriques modulaires.

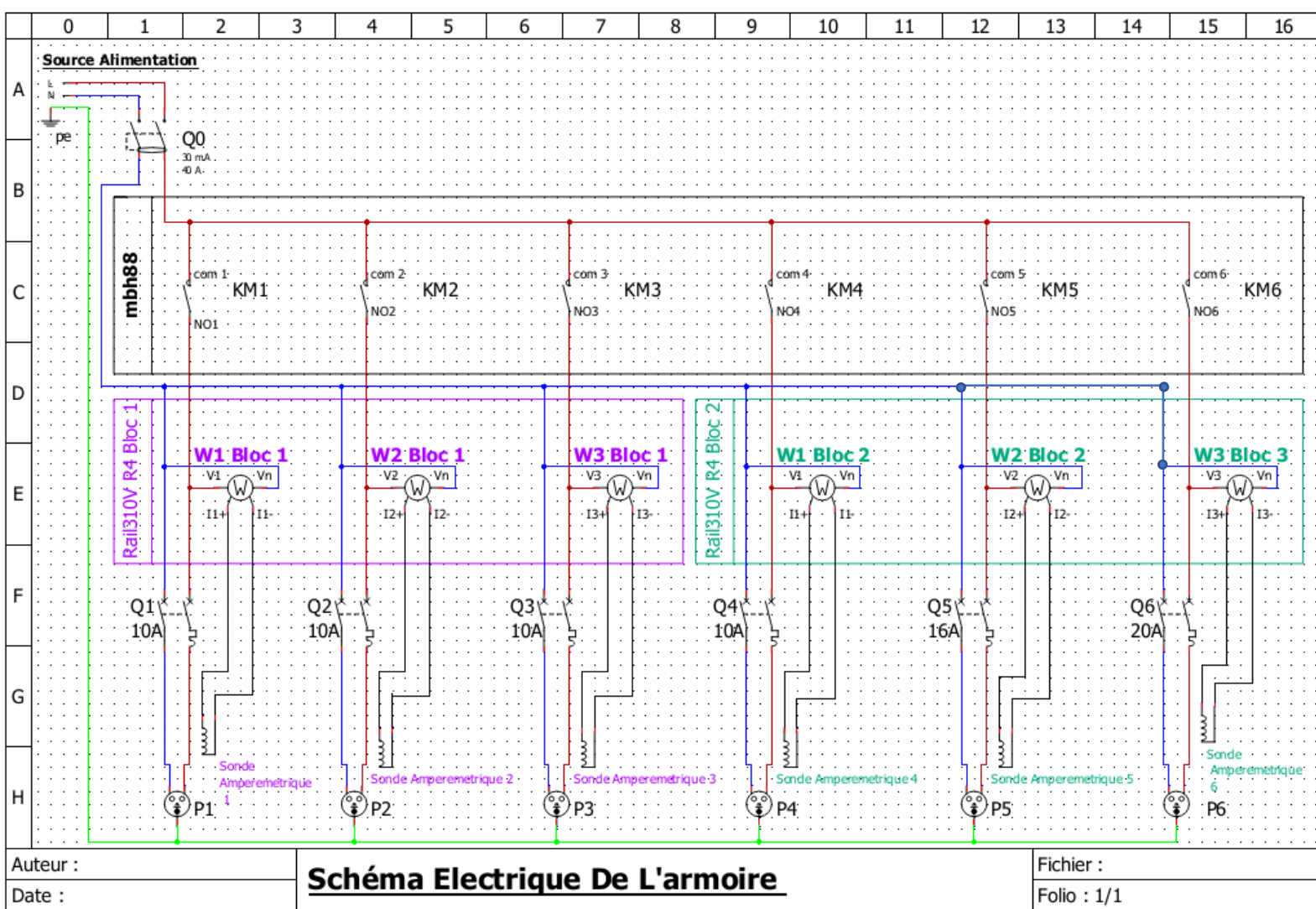


Figure 12 Schéma Electrique De Puissance De L'armoire Electrique

## 4.2.b) Schéma électrique implantation Modbus

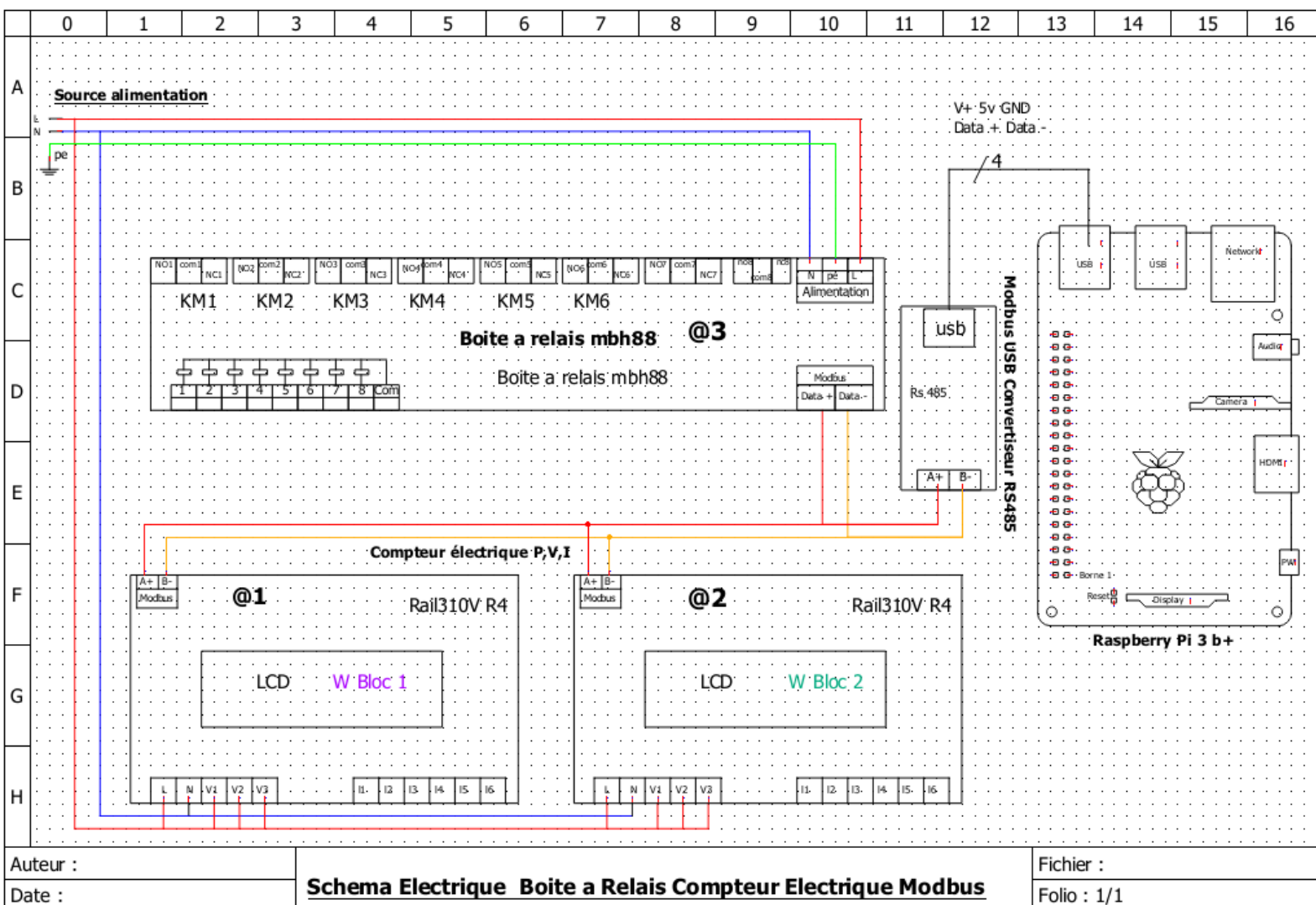


Figure 13 Schéma Electrique Implémentation Modbus De L'armoire Electrique

Le schéma électrique implantation Modbus nous informe sur la disposition des différents équipements électriques dans l'armoire, ainsi que les câblages des alimentations de chaque module MBH88 et les deux RAIL310V (phase, neutre, terre) et de la communication Modbus RTU (A+,B-)

## 4.3) Matériels

Désignations	Fonctions	Noms
L, N, Pe	Alimentation en électricité de l'armoire électrique	Fiche électrique male + câble (source alim)
Q0	Protéger les personnes et protéger le matériel contre les surcharges de courant et les courts-circuits	Disjoncteur différentiel 30 mA 40A
Q1 a Q4	Protéger le matériel contre les surcharges de courant et les courts-circuits	Disjoncteur Magnétothermique 10A x4
Q5	Protéger le matériel contre les surcharges de courant et les courts-circuits	Disjoncteur Magnétothermique 16A
Q6	Protéger le matériel contre les surcharges de courant et les courts-circuits	Disjoncteur Magnétothermique 20A
W1 a W2 bloc 1 à bloc 2	Mesure la puissance électrique la tension le déphasage	RAIL310V R4 x2
Sonde ampèremétrique 1 à 6	Mesure le courant par effet hall	Pinces ampérométriques 30A x6
KM1 a KM6	Permet l'ouverture et la fermeture d'un circuit électrique de puissance	Boite à relais mbh88
P1 a P6	Permet de brancher un appareil électrique	Prises modulaires x6
	Protéger et accueillir les composants électriques modulaires	Armoire électrique
RS485	Assurer la communication Modbus entre le Raspberry pi et les 2 RAIL310V et la boite a relais mbh88	Convertisseur USB Modbus RS485
Rouge : phase Bleu : neutre Jaune vert : terre	Transport d'électricité	Cable électrique 2.5 mm <sup>2</sup>
Raspberry Pi	Nano-ordinateur	Raspberry pi 3 b+
	Stocker les données pour le Raspberry pi	Carte SD 16 go

Figure 14 Matériels Electrique De L'armoire

## 4.4) Test de l'armoire électrique

Nous avons à disposition le matériel nécessaire pour la réalisation de l'armoire électrique.

En premier lieu nous avons disposé chaque module sur les différents rails (disjoncteurs différentiels en haut à gauche, boîte à relais en haut au milieu, disjoncteurs magnétothermiques au milieu de l'armoire, les deux compteurs d'énergie de part et d'autre des disjoncteurs et enfin les blocs de prises en bas).

Nous avons utilisé du câble rigide de 2.5mm<sup>2</sup>, la partie la plus difficile a été le câblage de la boîte à relais car elle nécessite le pontage de phase sur les bornes COM de chaque relais. Les bornes NO1 à NO6 des relais doivent être connectées aux différents disjoncteurs magnétothermiques. La place a été très petite.



Figure 15 Implémentation Matériels Dans L'armoire Electrique

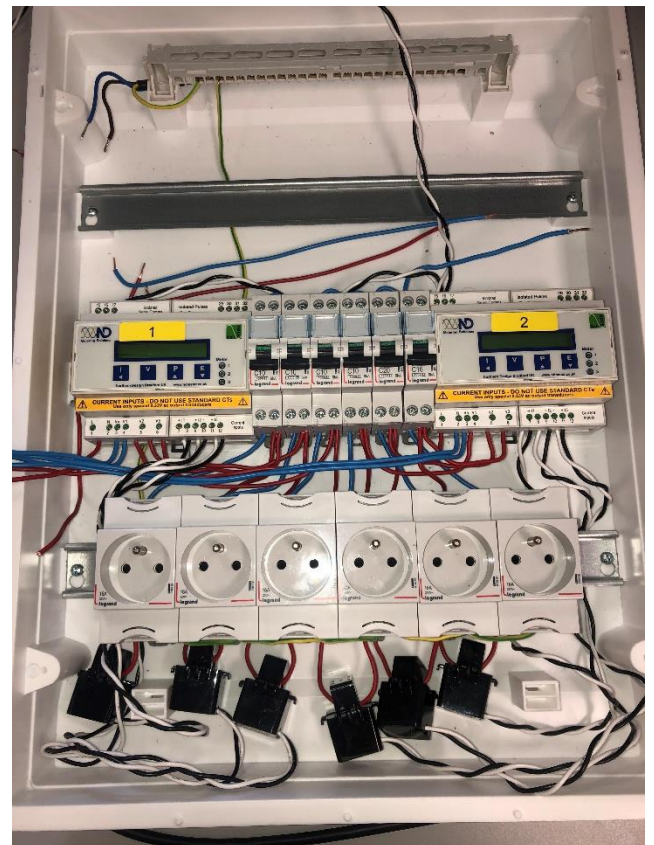


Figure 16 Armoire Electrique Câblé



## 5) Réalisation Informatique

### 5.1) Protocole Modbus

Le Protocole MODBUS est un standard de communication industriel créé par Modicon en 1979.

Il est utilisé dans les réseaux d'automates industriels. C'est le moyen de communications bus le plus utilisé dans l'industrie pour sa facilité d'emploi et sa flexibilité.

La plupart des appareils communicants (automates ou microcontrôleurs) possède une interface Modbus. Ce protocole est basé sur une architecture hiérarchisée.

Il existe plusieurs variations du protocole Modbus :

#### **5.1.a) Modbus RTU (8bits)**

Modbus RTU (Remote Terminal Unit) est un standard de communication permettant l'échange de données entre des Automates Programmables Industriels (API) et un ordinateur.

Le Modbus RTU intervient surtout dans le cas où il est nécessaire d'utiliser plusieurs périphériques de mesures ou de commandes vers un contrôleur central permettant de récupérer les données à analyser. (Périphérique série : RS-485 bus parallèle ou RS-422 bus série)

Ses caractéristiques principales sont l'utilisation du codage binaire ainsi que sa méthode de recherche d'erreurs fiables CRC sur 16 bits ou CRC16. (Contrôle de redondance cyclique) il permet de vérifier et contrôler les trames transmises. Ses avantages sont que l'on peut connecter plusieurs périphériques, il est open source, fiable et simple à mettre en œuvre. C'est le protocole Modbus le plus utilisé pour les applications industrielles.

Basé sur une architecture maître, esclave, le maître doit lire et écrire pour chaque esclave de la boucle série.

Modbus RTU supporte les périphériques série utilisant les protocoles RS232/RS485/RS422.

Pour toutes ces raisons, nous utiliserons le protocole Modbus RTU.

Plusieurs périphériques s'offrent à nous :

**Protocole RS232** : le plus connu des standards de communication série.

Il comporte trois fils Rx (réception), Tx (transmission) et GND (masse).

Sa vitesse de transmission (baud rate) peut aller jusqu'à 115 200 bits/s en full duplex (émission et réception simultanément), Il ne permet de connecter qu'un périphérique sur la même ligne avec une distance ne dépassant pas 15m.

L'inconvénient est qu'il est inadapté pour des applications où il existe des bruits parasites.

(Risque perturbation transmission).

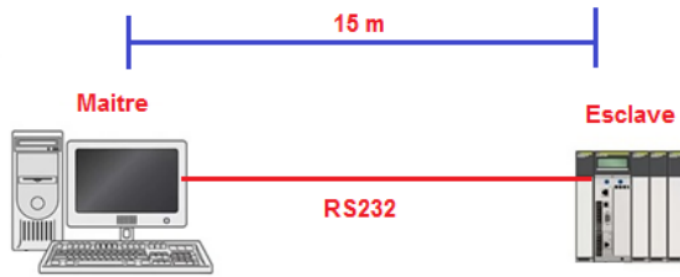


Figure 17 Schéma Communication Protocole RS232 [9]

**Protocole RS422 :** Sa vitesse de transmission (baud rate) peut aller jusqu'à 10 Mbits/s en full duplex (émission et réception simultanément).

Il comporte 2 fils afin d'augmenter la fréquence de transmission. Il permet de connecter jusqu'à 10 périphériques sur la même ligne.



Figure 18 Schéma Communication Protocole RS422 [10]

**Protocole RS485 :** Sa vitesse de transmission (baud rate) peut aller jusqu'à 19 200bits/s en half duplex (émission réception alternativement). Son principe de base est la transmission de données différentielles (équilibrées) qui signifie que le signal de données est transporté sur deux câbles A+ B-. Un des câbles transmet le signal d'origine tandis que l'autre transmet sa copie inverse.

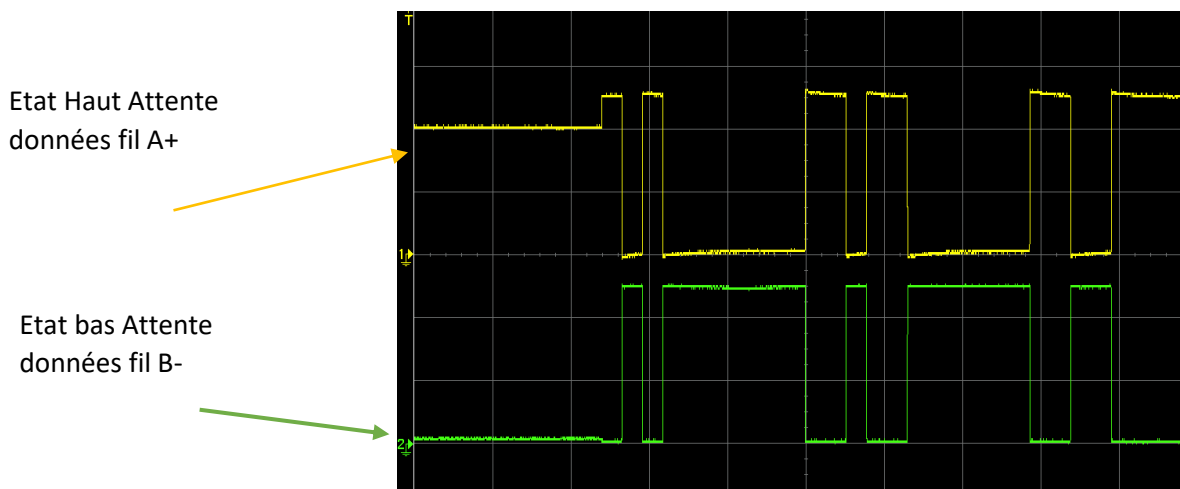


Figure 19 Vue à L'oscilloscope De La Paire Différentielles A+, B-



Il permet de connecter jusqu'à 32 périphériques sur la même ligne avec l'emploi d'un récepteur. Il est possible d'utiliser 247 périphériques. Une distance maximale allant à 1200 m sans répéteurs. Il est possible de communiquer en full duplex pour une transmission plus rapide avec l'emploi de 4 fils, chaque périphérique esclave peut aussi communiquer avec 32 autres périphériques. L'adaptation est immense.

Pour ces raisons, il est opportun d'utiliser le protocole Modbus RTU RS485.

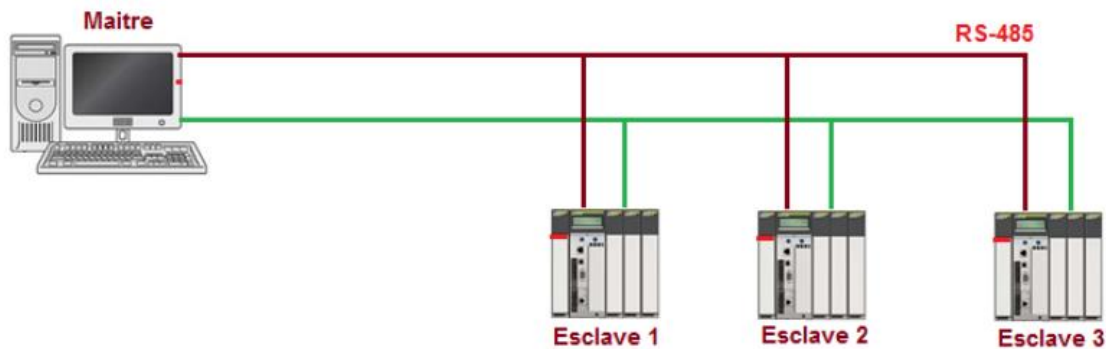


Figure 20 Schéma Communication Protocole RS485 [11]

## La Trame MODBUS RTU

Chaque octet composant une trame RTU est codé sur 2 caractères hexadécimaux 16bits.

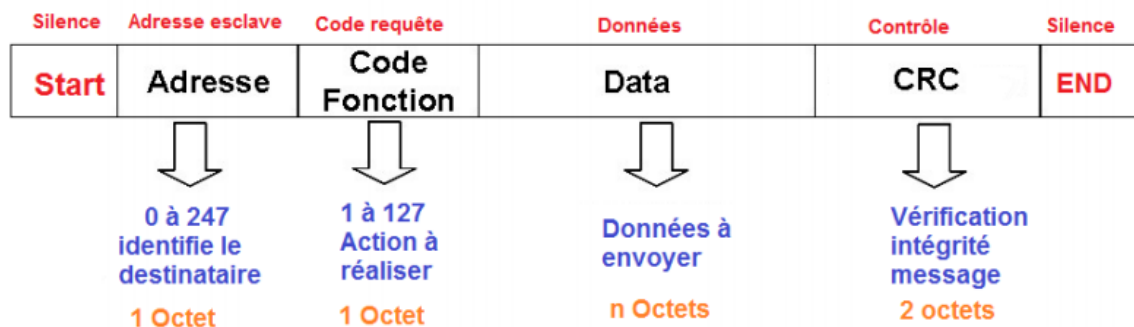


Figure 21 Analyse De Trame Modbus RTU [12]

### **5.1.b) Modbus TCP/IP: (Ethernet, Wi-Fi)**

Modbus TCP/IP (Transmission Control Protocol/IP) est un standard de communication permettant l'échange de données entre des Automates Programmables Industriels (API) et un ordinateur.

Modbus TCP/IP utilise le réseau Ethernet pour transmettre des données sur le réseau grâce au protocole TCP/IP. (Le client demande des informations au serveur via une trame requête le serveur lui répond via une trame réponse).

Ses caractéristiques principales sont que chaque appareil est identifié de façon unique grâce aux adresses IP (192.68.1.1) et son numéro de port (par défaut Port : 502), il se câble avec un câble RJ45. Ses avantages sont que l'on peut connecter plusieurs périphériques.

Il est flexible, fiable et simple à mettre en œuvre. C'est le protocole Ethernet le plus utilisé pour les applications industrielles.

Basé sur une architecture client serveurs, le client demande des informations aux serveurs les serveurs lui répondent via l'utilisation de trames sur le réseau Ethernet.

### **5.1.c) Modbus ASCII (7 bits)**

Similaire au Modbus RTU le Modbus ASCII utilise des caractères ASCII pour la communication de protocole.

## 5.2) Raspberry Pi 3b

Le Raspberry Pi est un nano ordinateur.

Il a été développé par la fondation Raspberry Pi avec le soutien des professeurs de l'Université de Cambridge pour le développement hardware et de l'entreprise de semi-conducteurs Broadcom pour le développement de la carte électronique. L'objectif est de rendre accessible des bases de la programmation informatique.

Commercialisé le 14 mars 2018 par la fondation Raspberry Pi, ses composants sont sous licence libre ainsi que son hardware. Plusieurs systèmes d'exploitation sont compatibles avec le Raspberry Pi, les distributions GNU/Linux. (Raspbian).

Caractéristiques du Raspberry Pi model : 3b+

Nom	Fonction
Processeur: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit 1.4 GHz	Interprète et exécute les instructions.
Mémoire : 1GB LPDDR2 SDRAM	Sert à stocker les données.
Bluetooth: 4.2, WIFI: 2.4 GHz and 5 GHz IEEE 802.11. b	Communication sans fil entre divers appareils.
Port : Ethernet (jusqu'à 300Mbps), 4 Ports USB 2.0 et un Port HDMI	Communication filaire entre divers appareils.
40 Pins GPIO	GPIO ( <b>General Purpose Input/Output</b> ) ports d'entrées-sorties.
Port Camera Pi et Port Ecran LCD	Ajout de périphériques externes camera et ou écran LCD.
Alimentation : 5V/2.5A DC via micro USB ou connecteur 5V DC via Pin GPIO	Alimenter le Raspberry Pi

Figure 22 Caractéristiques Techniques Du Raspberry Pi 3b+



Figure 23 Raspberry Pi 3b+ [13]

## 5.3) Compteur D'énergie RAIL310V

Le compteur d'énergie est un équipement qui permet de mesurer la tension (U), l'intensité (I), la puissance active ( $PW=U*I*\cos \phi$ ), la puissance apparente ( $PVA=U*I$ ) et le déphasage entre tension et intensité.

Le Rail310V R4 est un compteur d'énergie multifonction monophasé (alimenté phase neutre), il possède trois points de mesures.

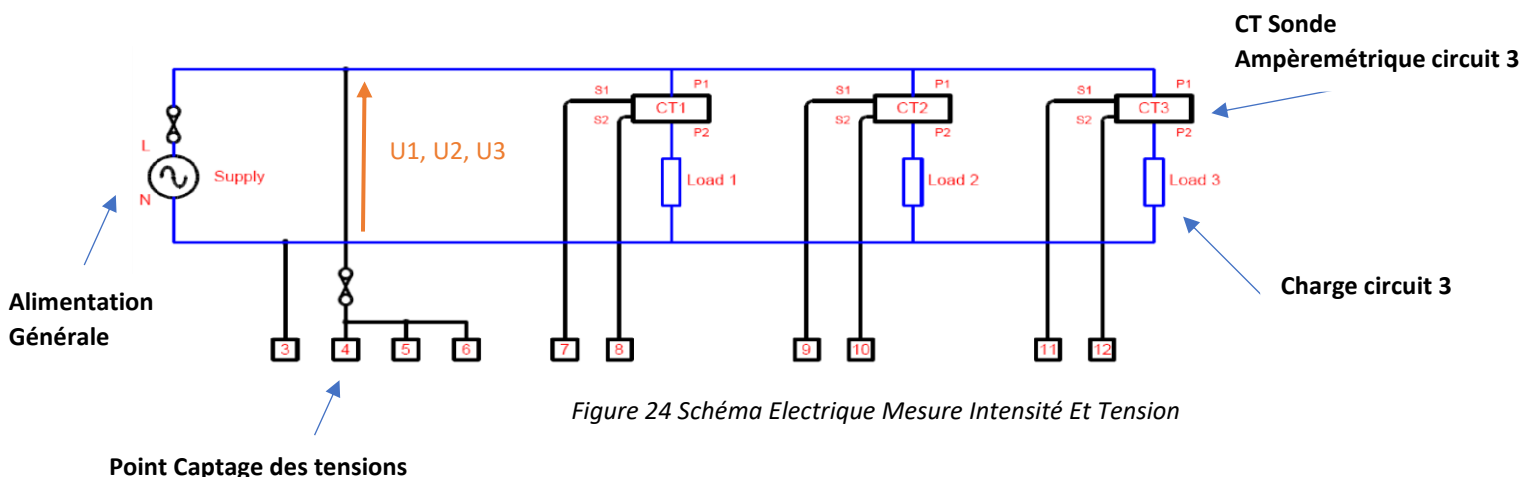


Figure 25 CT Sonde Ampèremétrique

La sonde Ampèremétrique permet de capter l'intensité d'un circuit électrique sans contact, et sans avoir à ouvrir le circuit.

Elle mesure le courant circulant dans un conducteur à partir du champ électromagnétique pour le convertir en tension.

Le calibre des sondes utilisées est 30A/0.33V efficace.

## 6) Programmation

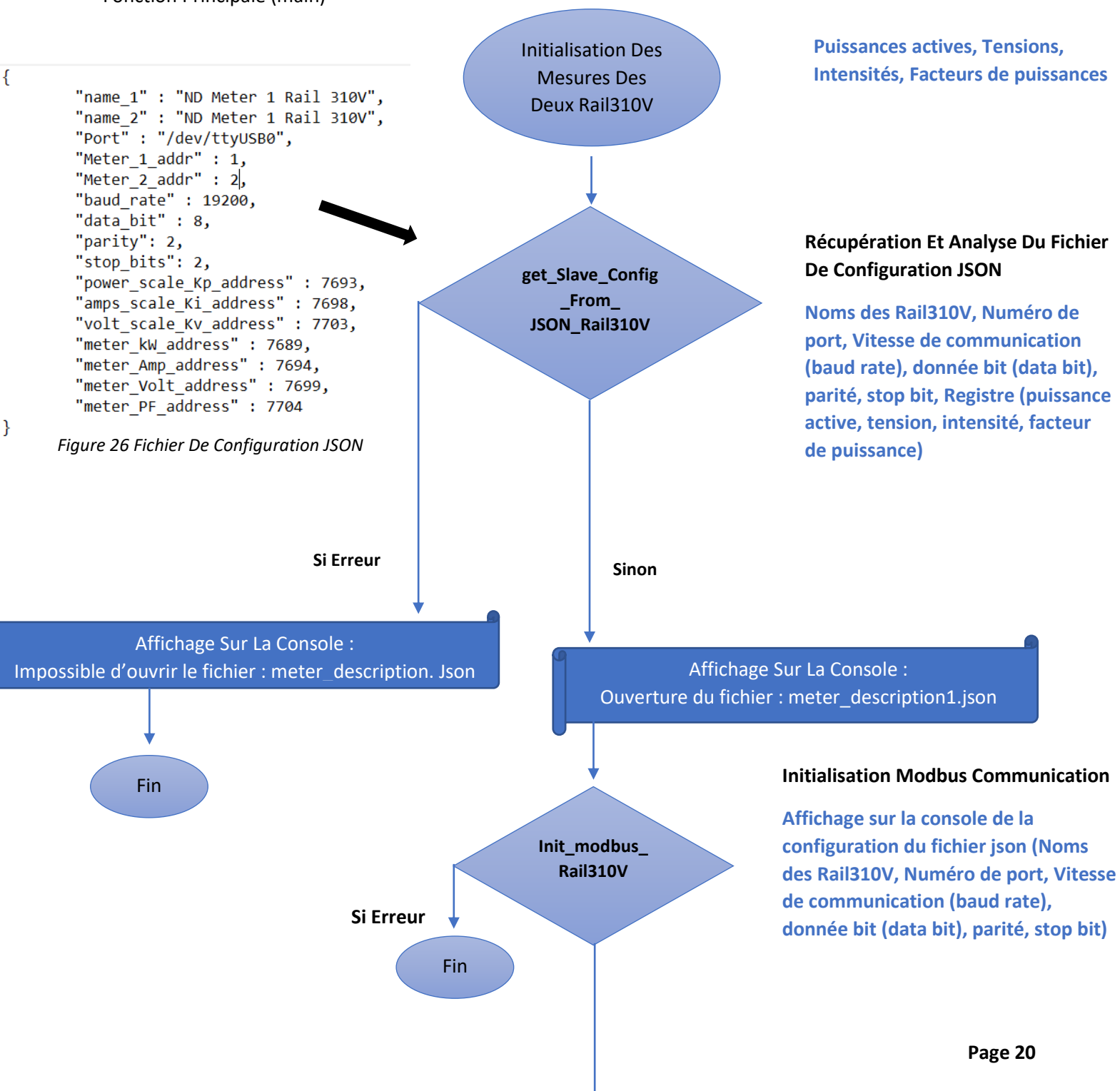
**CODE::BLOCKS** est un logiciel de programmation simple d'emploi open source orienté en C et C++. Étant multiplateforme (Windows, LINUX, MAC) il a été très utile sur Raspberry Pi pour la programmation en Modbus de la Boîte à Relais et des deux Compteurs D'énergie.

Pour la partie Programmation comme nous étions 2 à réaliser le stage nous avons partagé les tâches : Jalil BENHIBA pour la programmation de la boîte à relais et pour ma part, les RAIL310V.

Fonction Principale (main)

```
{
  "name_1" : "ND Meter 1 Rail 310V",
  "name_2" : "ND Meter 1 Rail 310V",
  "Port" : "/dev/ttyUSB0",
  "Meter_1_addr" : 1,
  "Meter_2_addr" : 2,
  "baud_rate" : 19200,
  "data_bit" : 8,
  "parity": 2,
  "stop_bits": 2,
  "power_scale_Kp_address" : 7693,
  "amps_scale_Ki_address" : 7698,
  "volt_scale_Kv_address" : 7703,
  "meter_kw_address" : 7689,
  "meter_Amp_address" : 7694,
  "meter_Volt_address" : 7699,
  "meter_PF_address" : 7704
}
```

Figure 26 Fichier De Configuration JSON



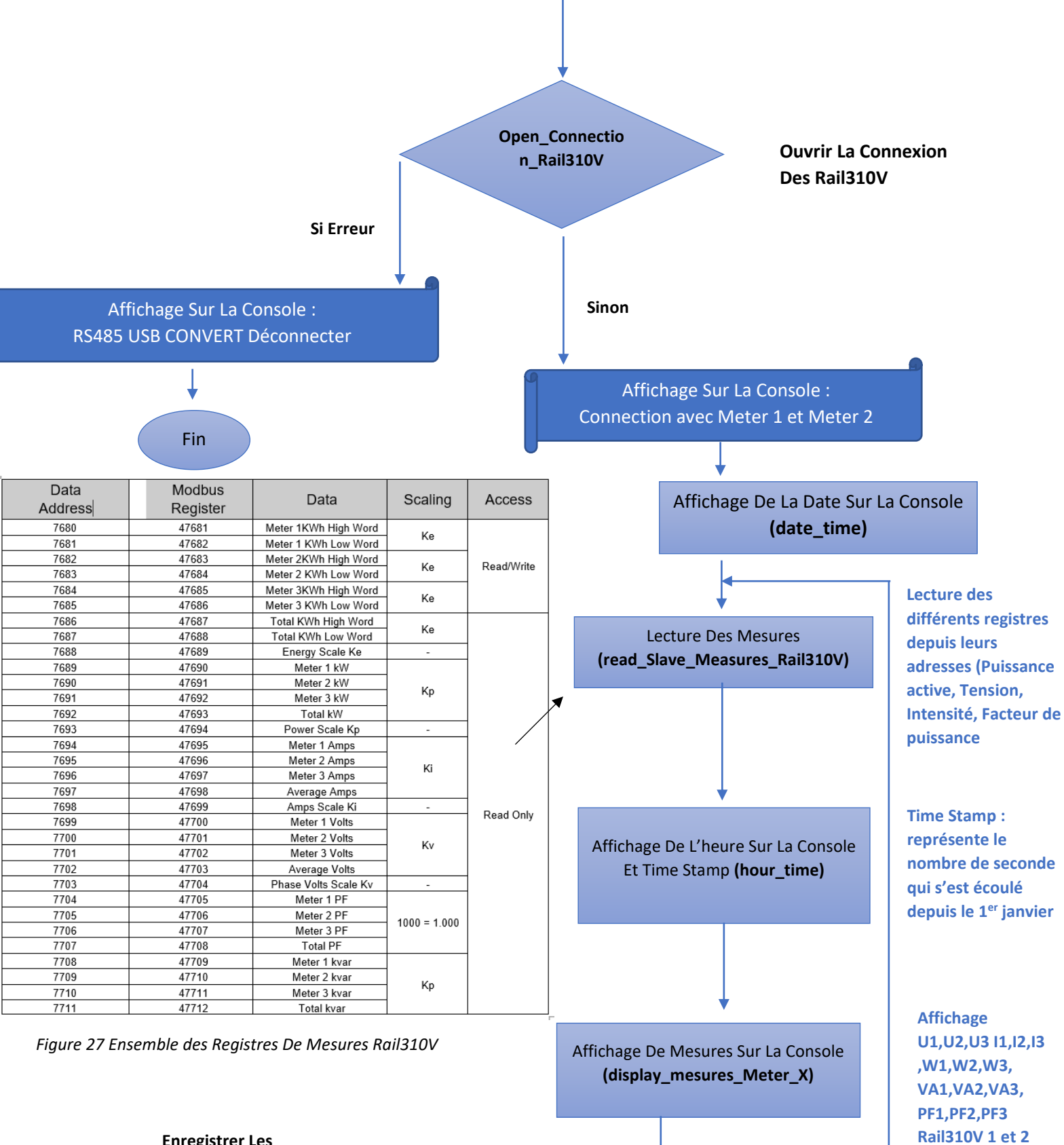


Figure 27 Ensemble des Registres De Mesures Rail310V

## 7) Conclusion

Dans le cadre de mon stage de fin d'année, je devais réaliser un banc de test servant à vérifier et à corriger la sensibilité, la précision des capteurs Stick 'n Sense (capteurs de courants électromagnétiques développés par la société Stick 'n Sense). Un Raspberry pi communique via le protocole Modbus RTU RS485 à une boîte de six relais servant à alimenter ou non différents circuits électriques et deux compteurs d'Énergie pour lire les mesures électriques.

Mon camarade Jalil BENHIBA et moi étions amenés à programmer en langage C via le logiciel Code::BLOC, un programme qui lit un fichier scénario est active ou non plusieurs relais ainsi que la récupération et l'enregistrement des données électriques. Nous avons dû aussi réaliser plusieurs schémas électriques via le logiciel Qelectrotech pour implanter et câbler en évitant les erreurs lors du câblage de l'armoire électrique.

Durant le stage, nous avons rencontrés plusieurs difficultés comme le téléchargement de la librairie libmodbus, l'emploi de fonctions utiles pour la communication Modbus, on avait du mal à comprendre les lignes de codes ainsi que le câblage de l'armoire électrique, les conducteurs étant du fils rigide il a été parfois difficile de les câbler.

Les compétences acquises au cours de nos 2 années de formation à l'IUT nous ont permis de résoudre ces problèmes, mais aussi grâce à l'aide précieuse de Paul BERTRAND, tuteur de l'entreprise ainsi que Remy VAUCHE, Maître de conférences à l'IUT.

Ce projet a, cependant, demandé de nombreuses phases de recherches, l'univers Raspberry Pi (l'interface, librairies, système exploitation se rapprochant de linux, Raspbian), le fichier CSV (fichier texte comportant un délimiteur de champ de données par défaut une virgule), le fichier JSON (langage léger d'échange de données textuelles) ainsi que la norme électrique domestique en vigueur Norme NFC15-100.

## 8) Index Des Illustrations

Illustration 1 : Capteur STICK'N SENSE.....	4
Illustration 2 : Académie AIX-MARSEILLE Région PACA [1].....	5
Illustration 3 : Site ST Jérôme IUT [2].....	5
Illustration 4 : Boite à Relais MBH88 [3].....	6
Illustration 5 : Raspberry PI 3b+ [4].....	6
Illustration 6 : Compteur D'énergie Rail310V [5].....	6
Illustration 7 : Planning Prévisionnel.....	7
Illustration 8 : Symbole Electrique Disjoncteur Magnétothermique Bipolaire [6].....	8
Illustration 9 : Risque Electrique En Fonction De L'intensité [7].....	9
Illustration 10 : Symbole Disjoncteur Différentiel [8].....	9
Illustration 11 : Matériels Disjoncteur Magnétothermique.....	9
Illustration 12 : Schéma Electrique De Puissance De L'armoire Electrique.....	10
Illustration 13 : Schéma Electrique Implémentation Modbus De L'armoire Electrique.....	11
Illustration 14 : Matériels Electrique De L'armoire .....	12
Illustration 15 : Implémentation Matériels Dans L'armoire Electrique.....	13
Illustration 16 : Armoire Electrique Câblé.....	13
Illustration 17 : Schéma Communication Protocole RS232 [9].....	15
Illustration 18 : Schéma Communication Protocole RS422 [10].....	15
Illustration 19 : Vue à L'oscilloscope De La Paire Différentielles A+, B- .....	15
Illustration 20 : Schéma Communication Protocole RS485 [11].....	16
Illustration 21 : Analyse De Trame Modbus RTU [12].....	16
Illustration 22 : Caractéristiques Techniques Du Raspberry Pi 3b+.....	18
Illustration 23 : Raspberry Pi 3b+ [13].....	18
Illustration 24 : Schéma Electrique Mesure Intensité Et Tension.....	19
Illustration 25 : CT Sonde Ampèremétrique.....	19
Illustration 26 : Fichier De Configuration JSON.....	20
Illustration 27 : Ensemble des Registres De Mesures Rail310V .....	21



## 9) Bibliographies

Société SMARTFUTURE site web : <https://www.smartfuture.fr/>

SMARTFUTURE société.com site web : <https://www.societe.com/societe/smartfuture-531089340.html>

Société STICK'N SENSE: <https://stick-n-sense.com/>

Libraries Modbus: <https://libmodbus.org/>

Forum installation Librairies Modbus :  
<https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?t=214692>

Norme NFC15-100 catalogue : <https://docdif.fr.grpleg.com/general/ouidoo/pdf/legrand-guide-norme-nf-c-15-100.pdf>

Disjoncteur différentiels article : <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-disjoncteur-differentiel-general-10642/>

Disjoncteur magnétothermique article : <https://www.123elec.com/fonctionnement-disjoncteur-magnetothermique>

Disjoncteur article : <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-disjoncteur-differentiel-general-10642/>

Modbus Wikipedia: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Modbus>

Modbus article : <https://voltebox.com/pages/modbus-rs485-rtu>

Modbus article : <https://www.virtual-serial-port.org/fr/articles/modbus-rtu-guide/>

Modbus article : <https://modbus.org/specs.php>

RS485 article : <https://www.eltima.com/fr/article/rs485-data-logger.html>

Guide Modbus : <http://www.automation-sense.com/medias/files/guide-du-modbus-pour-les-nuls-extrait.pdf>

Modbus TCP/IP article : <https://www.automation-sense.com/blog/automatisme/qu-est-ce-que-le-modbus-tcp-ip.html>

Datasheet Raspberry Pi : <https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf>

Raspberry Pi article : <https://www.clubic.com/raspberry-pi/article-849782-1-raspberry-pi-introduction-nano-ordinateur.html>

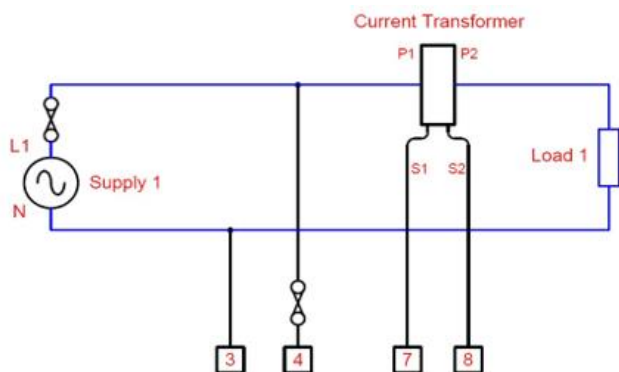
Schéma électrique technique Raspberry pi :  
[https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/schematics/rpi\\_SCH\\_3bplus\\_1p0\\_reduced.pdf](https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/schematics/rpi_SCH_3bplus_1p0_reduced.pdf)

- [1] Académie AIX-MARSEILLE Région PACA illustration : [https://iut.univ-amu.fr/sites/iut.univ-amu.fr/files/paca\\_map\\_0.png](https://iut.univ-amu.fr/sites/iut.univ-amu.fr/files/paca_map_0.png)
- [2] Site ST Jérôme IUT illustration : [https://iut.univ-amu.fr/sites/iut.univ-amu.fr/files/plan\\_st\\_je\\_v3\\_0.jpg](https://iut.univ-amu.fr/sites/iut.univ-amu.fr/files/plan_st_je_v3_0.jpg)
- [3] Boite à Relais MBH88 illustration : <https://www.robot-electronics.co.uk/media/catalog/product/cache/2a3dd4faed451c82db5e7f0455ac95f7/m/b/mbh88case-2.jpg>
- [4] Raspberry PI 3b+ illustration : [https://www.elektor.fr/media/catalog/product/cache/1404d1bfd8e1ad71cc6f16950ff5c805/r/a/raspberry-pi-3-b-plus\\_view.jpg](https://www.elektor.fr/media/catalog/product/cache/1404d1bfd8e1ad71cc6f16950ff5c805/r/a/raspberry-pi-3-b-plus_view.jpg)
- [5] Compteur D'énergie Rail310V illustration : <https://shmmetershop.co.uk/wp-content/uploads/2018/06/nd-rail-310v-retro-fit-triple-single-phase-multifunction-kwh-meter.jpg>
- [6] Symbole Electrique Disjoncteur Magnétothermique Bipolaire illustration : <https://www.installation-renovation-electrique.com/images/disjoncteur-magneto-thermique-bipolaire.jpg>
- [7] Risque Electrique En Fonction De L'intensité illustration : [https://pjacob.scenari-community.org/habilitation/complet/res/effets\\_courant.png](https://pjacob.scenari-community.org/habilitation/complet/res/effets_courant.png)
- [8] Symbole Disjoncteur Différenciel illustration : [http://pro.oertli.fr/var/oertli/storage/images/media/oertli\\_france/glossaire/disjoncteur\\_differentiel\\_30ma\\_symbole/1093189-1-fre-FR/disjoncteur\\_differentiel\\_30ma\\_symbole\\_large.jpg](http://pro.oertli.fr/var/oertli/storage/images/media/oertli_france/glossaire/disjoncteur_differentiel_30ma_symbole/1093189-1-fre-FR/disjoncteur_differentiel_30ma_symbole_large.jpg)
- [9] Schéma Communication Protocole RS232 illustration : <http://www.automation-sense.com/medias/files/guide-du-modbus-pour-les-nuls-extrait.pdf>
- [10] Schéma Communication Protocole RS422 illustration : <http://www.automation-sense.com/medias/files/guide-du-modbus-pour-les-nuls-extrait.pdf>
- [11] Schéma Communication Protocole RS485 illustration : <http://www.automation-sense.com/medias/files/guide-du-modbus-pour-les-nuls-extrait.pdf>
- [12] Analyse De Trame Modbus RTU illustration : <http://www.automation-sense.com/medias/files/guide-du-modbus-pour-les-nuls-extrait.pdf>
- [13] Raspberry Pi 3b+ illustration : [https://www.elektor.fr/media/catalog/product/cache/1404d1bfd8e1ad71cc6f16950ff5c805/r/a/raspberry-pi-3-b-plus\\_view.jpg](https://www.elektor.fr/media/catalog/product/cache/1404d1bfd8e1ad71cc6f16950ff5c805/r/a/raspberry-pi-3-b-plus_view.jpg)

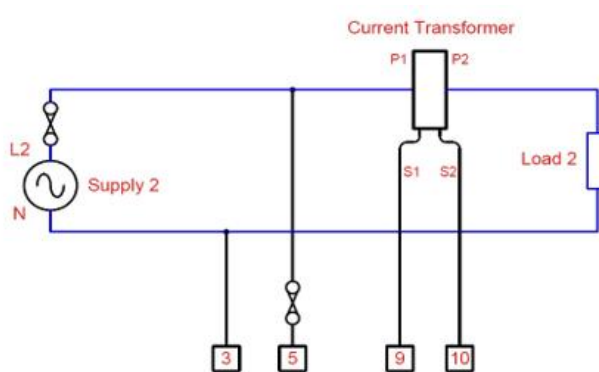
## 10) Annexes

Data Address	Modbus Register	Data	Scaling	Access
7680	47681	Meter 1KWh High Word	Ke	Read/Write
7681	47682	Meter 1 KWh Low Word		
7682	47683	Meter 2KWh High Word	Ke	
7683	47684	Meter 2 KWh Low Word		
7684	47685	Meter 3KWh High Word	Ke	
7685	47686	Meter 3 KWh Low Word		
7686	47687	Total KWh High Word	Ke	Read Only
7687	47688	Total KWh Low Word		
7688	47689	Energy Scale Ke	-	
7689	47690	Meter 1 kW	Kp	
7690	47691	Meter 2 kW		
7691	47692	Meter 3 kW		
7692	47693	Total kW		
7693	47694	Power Scale Kp	-	
7694	47695	Meter 1 Amps	Ki	
7695	47696	Meter 2 Amps		
7696	47697	Meter 3 Amps		
7697	47698	Average Amps		
7698	47699	Amps Scale Ki	-	
7699	47700	Meter 1 Volts	Kv	
7700	47701	Meter 2 Volts		
7701	47702	Meter 3 Volts		
7702	47703	Average Volts		
7703	47704	Phase Volts Scale Kv	-	
7704	47705	Meter 1 PF	1000 = 1.000	
7705	47706	Meter 2 PF		
7706	47707	Meter 3 PF		
7707	47708	Total PF		
7708	47709	Meter 1 kvar	Kp	
7709	47710	Meter 2 kvar		
7710	47711	Meter 3 kvar		
7711	47712	Total kvar		

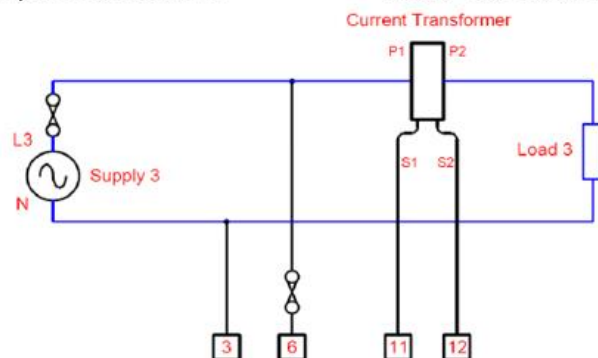
Data Address	Modbus Register	Data	Scaling	Access
3584	43585	CT Primary	5 - 25,000 Amps	Read/Write
3585	43586	Nominal Volts	10 - 55,000 Volts	
3586	43587	Pulse Rate	1-1000 Counts/Pulse	
3587	43588	Pulse ON Time	1 = 100ms, 2=200ms etc	
3588	43589	Baud	96 = 9600baud etc	
3589	43590	Modbus ID	0 – 247	
3590	43591	Meter Model	Rail310 = 310	Read Only
3591	43592	Meter Type	Model = 1 - 3	
3592	43593	Firmware Version	Eg. 0x14 = 1.04	
3593	43594	Security Code (PIN)	0 - 9999	Read/Write



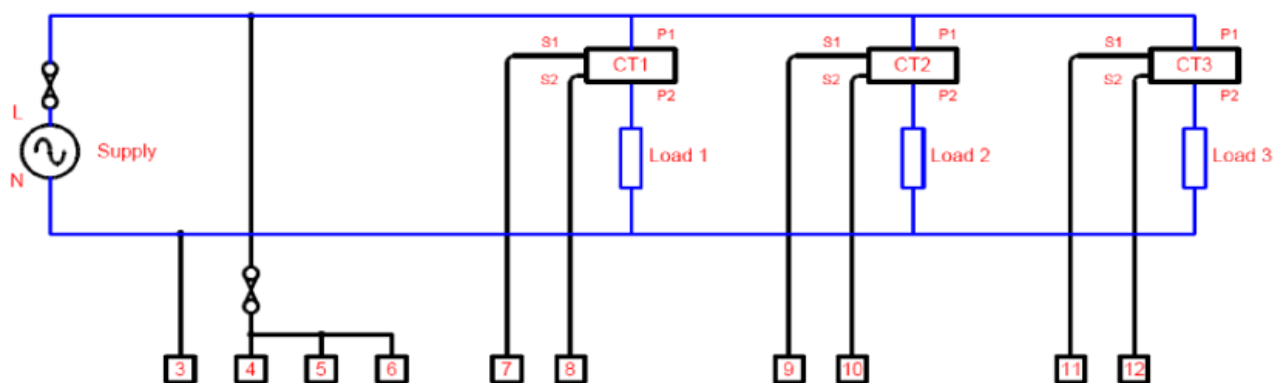
Meter 1 Measurement Input Connections



Meter 2 Measurement Input Connections



Meter 3 Measurement Input Connections



Meters 1-3 with Common Voltage Input

Schémas de connexion sondes ampèremétriques et tensions

INPUTS		
System	3 x Single Phase	
Voltage Un	277V L-N	
Current In	5Amp from external CTs. (1A optional) Isolated at 2.21kV	
Measurement	Voltage	20% to 120% Un (Max 520V L-L, 300VL-n)
Range	Current	0.2% to 120%
Frequency Range	Fundamental 45 to 65Hz	
	Harmonics	Up to 30th harmonic at 50Hz
Voltage Burden	<0.1VA per phase	
Overload	Voltage	x4 for 1 hour
	Current	x2 Continuous
DISPLAY		
Type	Custom, Supertwist, LCD	
Data Retention	10 years min. Stores kWh & Meter set-up	
Format	8 x 6.66mm high digits with DPs & 3.2mm legends	
Scaling	Direct reading. User programmable CT	
	CT Primary programmable from 5A to 25kA	
Legends	Wh, kWh, MWh etc. depending on user settings	
AUXILIARY SUPPLY		
Standard Options	230V 50/60 Hz ±15%	
	110V 50/60 Hz ±15%	
Load	5 Watt Max.	
METER ACCURACY	All errors ± 1 digit	
kWh	Better than Class 1 per EN 62053-21 & BS 8431	
kW	Botter than Class 0.25 IEC 60688	
Amps & Volts	Class 0.1 IEC 60688 (0.01In – 1.2In or 0.1Un – 1.2Un)	
Pulse Outputs		
Function	1 Pulse per unit of energy	
Scaling	Settable between 1 & 1000 counts of kWh register	
Pulse Period	0.1 sec. default; Settable between 0.1 and 20 sec	
Rise & Fall Time	< 2.0ms	
Type	N/O Volt free contact. Optically isolated BiFET	
Contacts	100mA ac/dc max ; 70Vdc/33Vac max ; 5W maximum load	
Isolation	3.5kV 50Hz 1 minute	
MODBUS® Serial Comms (Option)		
Bus Type	RS485 2 wire + 0v. ½ Duplex, ¼ unit load	
Protocol	MODBUS® RTU with 16 bit CRC	
Baud Rate	4800, 9600 or 19,200 User settable	
Address	1 – 247 User settable	
Latency	Reply within 250ms max.	
Command Rate	New command within 5ms of previous one	
Isolation	3.5kV	
GENERAL		
Temperature	Operating	-10°C to +55°C (14°F to 131°F)
	Storage	-25°C to +70°C (-13°F to 158°F)
Humidity	< 75% non-condensing	

## **11) Résumé**

J'ai effectué mon stage du 12 avril au 02 juillet 2021 pour l'entreprise SmartFuture au sein du site Aix-Marseille IUT de St Jérôme.

La tâche principale de ce stage était de mettre en place un tableau électrique de test pilotée par Raspberry Pi.

Cela impliquait la programmation de plusieurs appareils via le protocole Modbus. Pour réaliser ce travail, le langage C a été utilisé pour la programmation, l'étude des fichiers CSV et Json ainsi que le câblage de l'armoire électrique et bien sûr la lecture et l'étude de toutes les documentations techniques. J'ai particulièrement apprécié de faire ce stage qui m'a permis d'acquérir plus de connaissances dans le domaine électronique.

## **12) Abstract**

I did my internship as from 12 April until 02 July 2021 for the enterprise SmartFuture within the Aix-Marseille IUT site of St Jérôme.

The main task of this internship was to implement an electric test board driven by Raspberry Pi. This involved programming several devices via the Modbus protocol. To complete this work, Language C has been used for the programming, study of CSV and Json files as well as the cabling of electrical cabinet and of course the reading and studying of all technical documentations.

I have particularly appreciated to do this internship which gave me more knowledge in the electronic field.