

Ecole Polytechnique de l'Université de Tours

64, Avenue Jean Portalis

37200 TOURS, FRANCE

Tél. +33(0)2 47 36 14 14

Fax. +33(0)2 47 36 14 22

[www.polytech.univ-tours.fr](http://www.polytech.univ-tours.fr/)

Rapport de projet de fin d’étude

**Carte REX**

En collaboration avec Sectronic

|  |  |
| --- | --- |
| Apprenti : | Tuteur : |
| Julien Mouton  [julien.mouton@etu.univ-tours.fr](mailto:julien.mouton@etu.univ-tours.fr) | Alexis Rolland  [alexis.rolland@univ-tours.fr](mailto:alexis.rolland@univ-tours.fr) |

Table des matières

[I. Introduction 4](#_Toc441701804)

[II. Présentation du projet 5](#_Toc441701805)

[A. Contexte 5](#_Toc441701806)

[B. Objectifs 7](#_Toc441701807)

[C. Existant 8](#_Toc441701808)

[D. Utilisateurs 9](#_Toc441701809)

[E. Fonctionnalités et structure générale du projet 10](#_Toc441701810)

[F. Contraintes de développement matérielles 10](#_Toc441701811)

[G. Contraintes de développement logicielles 11](#_Toc441701812)

[H. Architecture générale du projet 11](#_Toc441701813)

[III. Gestion de projet 13](#_Toc441701814)

[I. Liste des tâches à réaliser 13](#_Toc441701815)

# Introduction

Lors de ma formation d’ingénieur à Polytech’ Tours, il nous a été demandé de réaliser un projet pendant un semestre. De fin septembre à début février, j’ai donc travaillé en collaboration avec l’entreprise dans laquelle je suis employé en alternance : Sectronic. Ce projet a lui-même été proposé par la SNCF (MOA) à mon entreprise, SECTRONIC (MOE).

Depuis de très nombreuses années la SNCF et SECTRONIC collaborent pour mener à bien différents projets. Environ 20% du chiffre d’affaires de SECTRONIC est le fruit de cette relation. Certains projets de la SNCF sont sujets à des appels d’offres, d’autres sont proposés à la suite d’une étude ce qui est le cas de ce projet.

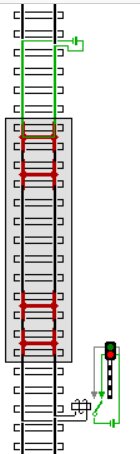
L’objectif du projet est de récolter des données sur des TER. Pour réaliser cela, une carte électronique équipera les trains. Cette carte est destinée à être fabriquée en quelques exemplaires (quelques dizaines) et équipera les TER X73500. Elle enverra des données sur un serveur distant. Ces données seront par la suite analysées par la SNCF.

Ce rapport vise à vous présenter le projet d’un point de vue global, avec une partie de présentation, une partie de gestion de projet, une partie technique et enfin une partie réalisation et reprise en main du projet.

# Présentation du projet

## Contexte

La sécurité sur le réseau ferroviaire est une priorité majeure pour la SNCF. En particulier, savoir à tout instant où se trouve un train est un enjeu essentiel. Le réseau de rails français est donc divisé en sections d’environ 3kms appelées canton. Chacun dispose d’un feu de signalisation et d’un système de détection de présence. Ces derniers permettent de savoir si un train occupe un canton. En effet, la SNCF ne souhaite pas que deux trains puissent se trouver sur le même canton afin de garder une distance minimale de freinage. La détection se fait en utilisant le lien électrique entre le train et les rails afin de faire transiter l'information.



Sur les deux illustrations, le générateur est en haut et envoi un courant dans un rail. Si ce courant arrive jusqu’à l’autre bout du canton, un relais est commuté et le feu s’allume vert. Le courant repart par l’autre rail. Si ce courant n’arrive pas jusqu’au relais, le relais n’est pas commuté et le feu s’allume rouge.

Lorsqu’un train est sur les rails, les roues et l’essieu de n’importe quel wagon forment un lien reliant électriquement les deux rails. Le courant injecté dans le rail par le générateur n’atteindra donc pas le relais contrôlant le feu de signalisation.

D’une manière non expliquée, il existe des disparités de mesure de ce shunt du train avec les rails. L’objectif est donc de réaliser des mesures coté trains pour mieux comprendre le comportement. Les premières études ont montré que le lien entre le rail et une roue est parfois erratique et ne permet pas la détection du train dans le tronçon considéré (couche diélectrique trop épaisse appelée « troisième corps »). Cette défaillance est notamment due, selon des hypothèses, à la baisse de la circulation sur le chemin de fer ou au poids des trains de plus en plus faibles. Par conséquent, le rail s’oxyde et cette couche parasite empêche le contact électrique entre la roue du train et le rail. Le système de détection de train sur le canton perd en fiabilité. Plusieurs pôles de recherche étudient encore ce troisième corps mais les études ont déjà démontré que, plus le courant qui le traverse est grand, plus sa résistance diminue.

Pour contrer le phénomène, la SNCF a donc conçu un système qui supprime cet oxyde parasite des rails de façon électrique. Le tiroir TRBI (Tiroir Boucle Inductive) est intégré à bord de TER 73500, Regiolis, AGC, X2100 et alimenté par la batterie de bord en +24V ou +72V voire +110V. Il est fabriqué par SECTRONIC et permet de créer une oscillation dans une boucle composée d’une inductance et d’une capacité située au-dessus des roues, au-dessous d’un des deux bogies[[1]](#footnote-1).



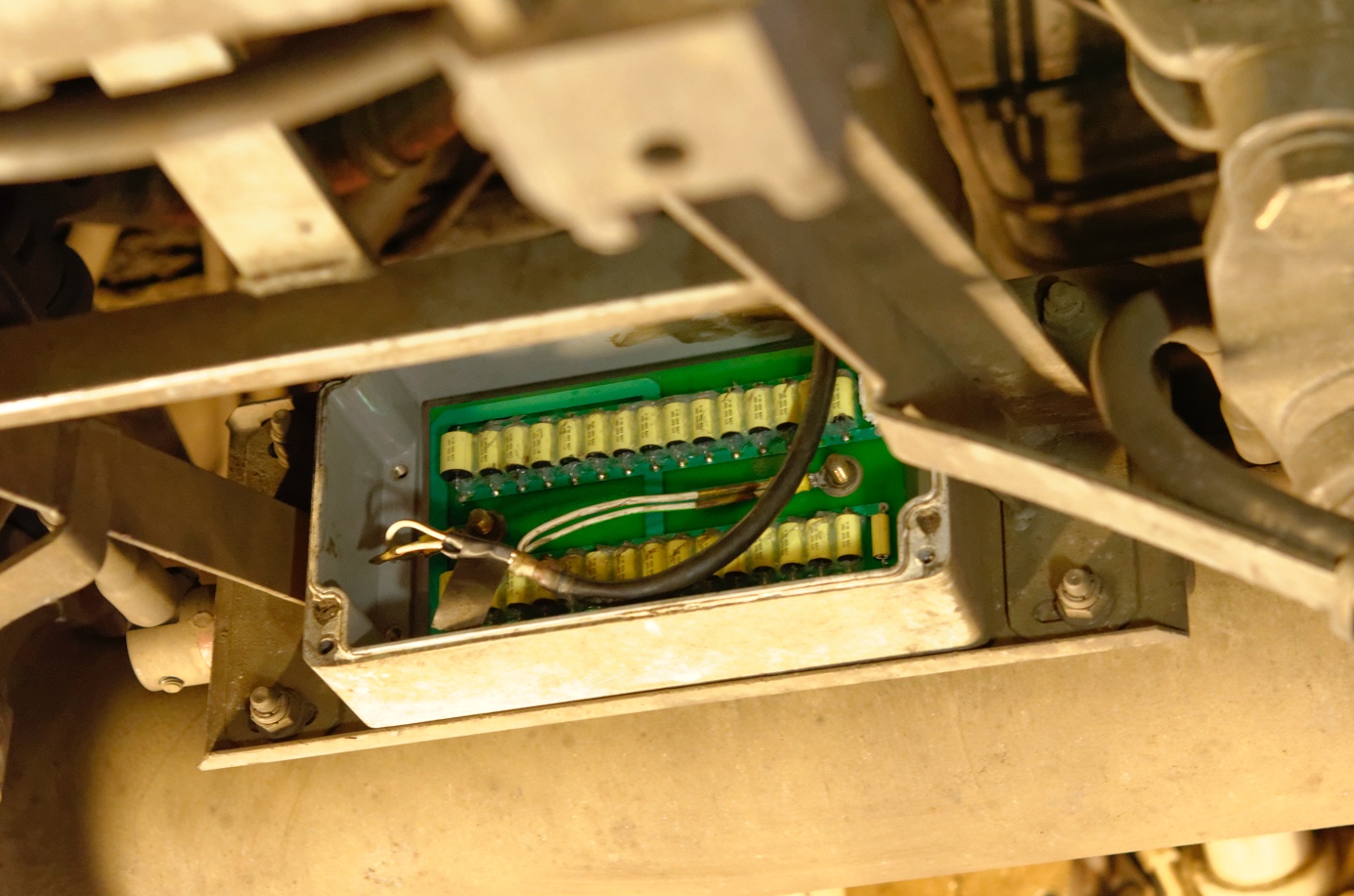
Boucle primaire

Sur la photo ci-dessus, on peut voir un bogie posé sur des rails. Le TRBI génère un fort courant dans la boucle primaire qui va induire un courant par couplage dans la boucle secondaire formée par les rails, les roues et les essieux. Ce courant circulant dans la boucle secondaire va permettre de diminuer l’impédance du contact roue/rail. Lorsque cette impédance diminue, par définition le courant passera plus facilement entre le rail et la roue. Si ce courant circule, le système de détection de train par canton fonctionne et l’objectif est atteint.

Afin que les bogies et le châssis du train soient au même potentiel, des tresses de masses relient les deux éléments. Des études sur le TRBI ont montré que lorsque le contact roue/rail est bon, le courant de fuite dans les tresses de masses est faible (<0,5A) mais qu’il augmente lorsque le contact est perdu. La mesure de ce courant permet d’avoir l’état du contact roue/rails. Grâce à cela nous avons deux moyens de connaître l’état du rail :

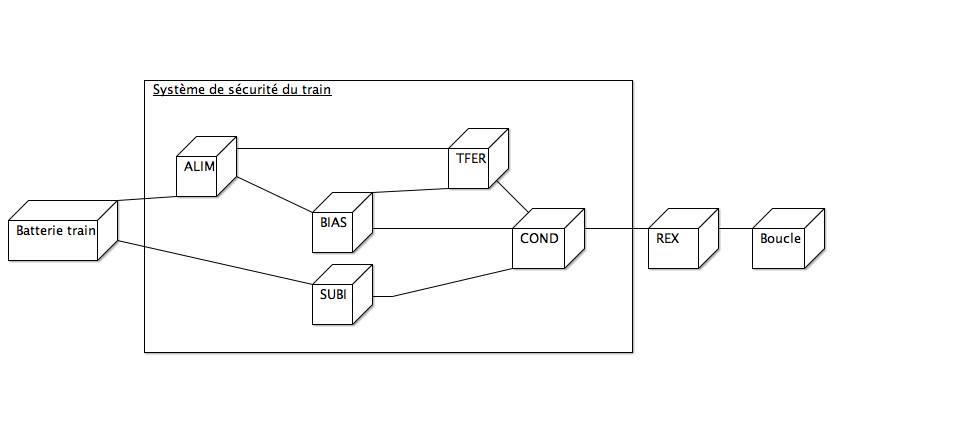
* La mesure du courant dans ces tresses de masse.
* La mesure du courant dans le circuit secondaire.

Le principe pour générer une oscillation de courant dans la boucle primaire est la mise en œuvre d’un circuit électronique LC. Une fois ce circuit chargé, la partie « condensateurs » se décharge ce qui créé un champ magnétique dans la partie « bobine ». Ce champ magnétique induit un courant qui va recharger la partie « condensateurs ». De cette manière, l’oscillation est entretenue. Chaque partie est composée de plusieurs composants afin qu’un courant important circule. A noter que pour contrer l’effet de la dissipation d’énergie, un générateur compense les pertes au fur et à mesure. Dans notre système, la partie condensateur est réalisée par la « boite condo ». C’est dans cette boite que devra s’intégrer mon système.



Entrée et sortie de la boucle

Pour appréhender le système général dans lequel s’inscrit notre carte, observons le diagramme de déploiement suivant :



Chaque élément a un rôle bien précis. Voici un résumé concis pour chacun d’eux :

* Batterie train : Batterie du train qui alimente tout le système de sécurité.
* ALIM : une carte qui génère une alimentation fixe isolée à partir de la batterie du train.
* BIAS : une carte de contrôle d’asservissement par PLL (Phase-Locked Loop).
* TFER : une carte de transfert de la puissance.
* SUBI : une carte qui surveille la boucle inductive et qui pilote un des relais de sécurité du train.
* REX : une carte qui détecte le deshuntage du train, qui enregistre la position gps du train a cet instant et qui envoi ces informations à un serveur distant. C’est l’objet de ce projet.
* Boucle : La boucle inductive fixée sous le train.

## Objectifs

À certains endroits en France, l’encrassement des rails pose des problèmes de sécurité. Le but du projet est donc d’aider la SNCF à établir une carte de l’état de son réseau ferré. Les deux objectifs de ce projet sont :

* Créer une carte électronique qui s’intègre dans un système déjà existant. Cette carte électronique réalise deux mesures de courants (appelés « courant primaire » et « courant secondaire »). Elle peut récupérer la position GPS et envoyer des données à un serveur.
* Créer un serveur sur lequel les données envoyées par la carte électronique seront stockées et accessibles.

Cette carte récupèrera l’information de l’état des rails ainsi que la position GPS et enverra cela sur un serveur afin que ces informations soient analysées.

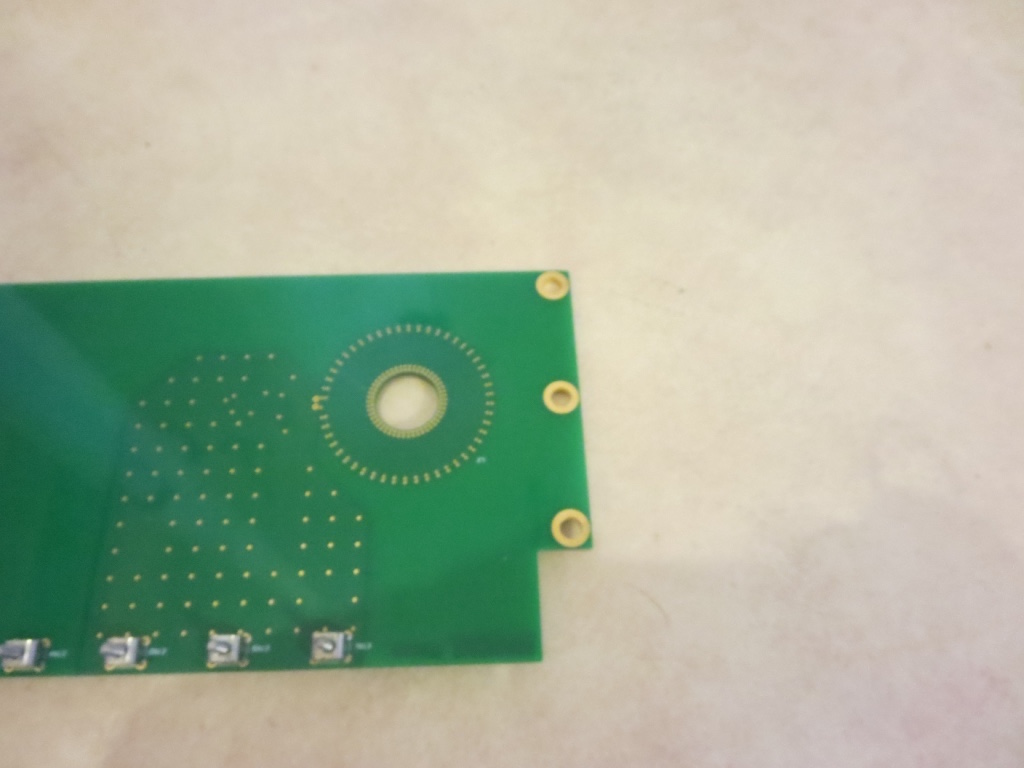
Le système sera composé d’une partie matérielle qui concerne la réalisation d’une carte électronique. Cette dernière comporte des contraintes mécaniques fortes (intégration dans un projet déjà existant de la SNCF). Les briques principales de cette partie matérielle sont le module GPS, le module 3G pour communiquer avec le serveur et les appareils ou les moyens pour mesurer des courants (sondes de Rogowski, …).

Le système sera également composé d’une partie logicielle elle-même séparée en deux parties distinctes. La première partie est la programmation de la carte électronique déployée sur le train. Cette carte sera chargée du traitement des données récupérées par les sondes de courant (conversion analogique/numérique), de l’utilisation du module GPS pour récupérer la position et de l’utilisation du module 3G pour les envoyer. La deuxième partie est la programmation du serveur qui recevra les informations par 3G.

## Existant

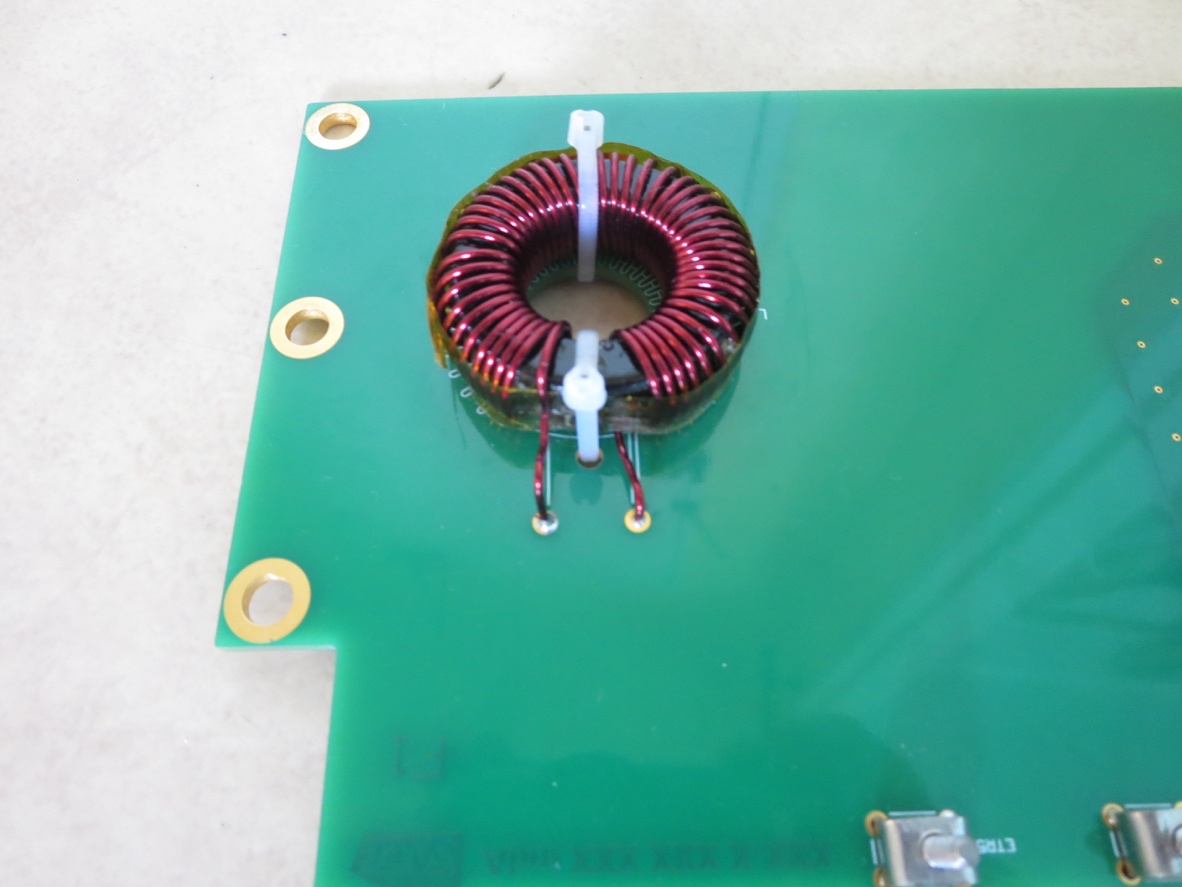
Deux éléments ont été mis à ma disposition pour ce projet :

* Un projet réalisé sous Altium d’une carte électronique mettant en œuvre deux solutions pour mesurer le courant dans la boucle primaire.

La première est l’utilisation d’une sonde de Rogowski directement réalisée sur PCB (cette réalisation a déjà été réalisée et validée par SECTRONIC).

Sur la photo ci-contre, on remarque la sonde directement intégrée au PCB. Cette sonde est conçue pour mesurer des courants qui circuleraient à l’intérieur du cercle évidé. Bien évidemment, il ne faut pas qu’il y ait de contact électrique entre ces éléments. Avec ce système, on peut par exemple savoir le courant circulant dans un câble électrique.

La deuxième manière de réaliser cette mesure est l’utilisation d’une ferrite comme nous pouvons le voir sur l’image ci-dessous.



On peut aussi imaginer réaliser cette mesure d’une autre manière. Par exemple en utilisant un système similaire à la mesure du courant dans le circuit secondaire.

* La boite dans laquelle la carte électronique va devoir s’intégrer.

Sur l’image ci-contre on peut voir qu’une partie de l’espace est déjà occupé par la carte COND. La carte à développer devra s’intégrer entre cette carte COND et le fond de la boite.

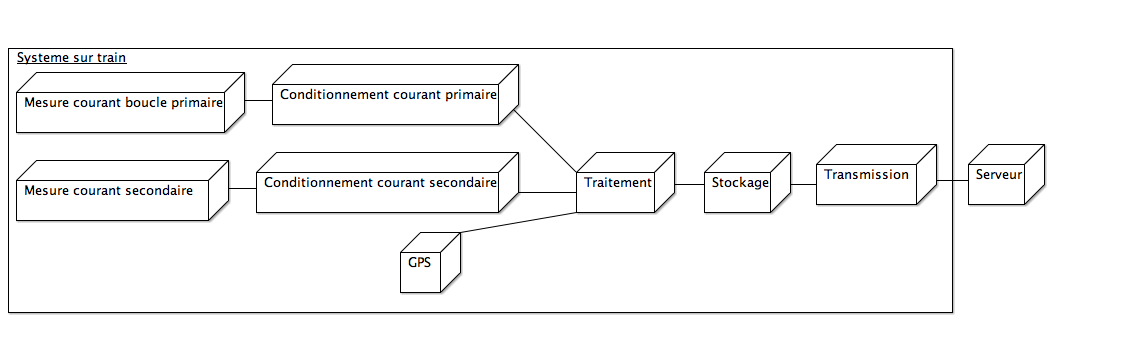
## Utilisateurs

Une fois installé, le système sera autonome. Aucun utilisateur ne sera nécessaire à son fonctionnement. On peut tout de même identifier deux types d’utilisateurs qui devront interagir avec le système à des moments particuliers :

* Technicien de la sncf : c’est celui qui va installer le système sur le train. Plus le système sera facile à installer, moins les éventuels problèmes apparaîtront.
* Administrateur du système : c’est celui qui va paramétrer, adapter et configurer le système pour que ce dernier soit fonctionnel. Il va effectuer les premiers tests pour valider le bon fonctionnement du produit. L’administrateur du système n’est pas encore défini mais devrait être Sectronic.

## Fonctionnalités et structure générale du projet

Voici un diagramme de déploiement de notre système :



Voici les détails des éléments composant le système :

* Mesure courant boucle primaire : Courant qui circule dans la boucle primaire du circuit. Cette boucle est composée de la carte COND et de la boucle inductive fixée sous le train.
* Mesure courant secondaire : Courant qui circule dans l’essieu du train. On détectera un déshuntage des rails si ce courant dépasse un certain seuil.
* Conditionnement courant primaire : Mise en forme du signal du courant pour que ce dernier soit exploitable par le microcontrôleur.
* Conditionnement courant secondaire : Mise en forme du signal du courant pour que ce dernier soit exploitable par le microcontrôleur.
* GPS : module GPS nous fournissant l’information de localisation.
* Traitement : Analyse et traitement des valeurs reçues pour répondre au cahier des charges.
* Stockage : Stockage des données avant l’envoi au serveur.
* Transmission : Envoi des données au serveur.

Serveur : Serveur sur lequel pourra se connecter un technicien de la SNCF pour récupérer les données envoyées par les cartes à bord des trains.

## Contraintes de développement matérielles

* Le système ne doit influencer aucune fonction du train.
* Un capteur doit mesurer le courant dans la boucle primaire.
* Un capteur doit mesurer le courant dans la boucle secondaire.
* Le système fera l’acquisition du signal à 147kHz.
* Le GPS pourra indiquer le lieu et la vitesse.
* L’envoi des données se fera grâce à un module 3G.
* Intégration dans le boitier déjà en place sur les trains. De cette manière, l’installation du système consistera principalement à échanger de boite sur le train. La carte développée doit être placée entre la carte COND et le fond du boitier. La raison est simple : le courant qui nous intéresse circule dans la boucle dont l’entrée et la sortie sont au fond de la boite.
* La carte COND peut être déplacée dans le boitier.
* Modification permise du boitier. Le boitier peut être percé en cas de nécessité.
* L’alimentation sera prise sur la tension 24V de l’engin.
* L’utilisation d’une alimentation qui respecte les normes ferroviaires de type GAIA (<http://gaia-converter.com/)> est préconisée
* L’utilisation d’un capteur de température est conseillée. Ce capteur mesurera la température à l’intérieur du boitier.

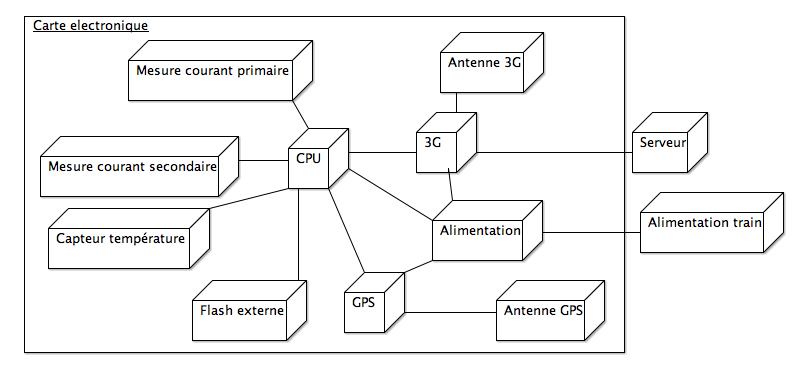
## Contraintes de développement logicielles

* Utilisation du langage C pour la programmation du microcontrôleur
* Parmi les mesures réalisées, seuls dix points par seconde seront conservés et envoyés
* Les informations envoyées seront au moins : le courant primaire, le courant secondaire, la position GPS, la vitesse du train, la date et l’heure, le numéro de l’engin.
* Le déclenchement des enregistrements se fera pour un courant supérieur à un seuil (qui reste à déterminer avec le client) dans le circuit secondaire et un courant primaire supérieur à un autre seuil qui reste à déterminer.
* Les enregistrements s’arrêteront soit au bout de cinq minutes, soit lorsque le courant franchira un nouveau seuil.
* Les informations envoyées seront envoyées chaque jour au serveur.
* Les fichiers seront stockés dans une base de données.
* La base doit pouvoir exploiter les données sous la forme d’un tableau Excel.
* Un logiciel doit pouvoir trier les données par lieu, par date et par engin.
* La base de données doit être consultable par intranet.

Le choix du microcontrôleur déterminera l’environnement de développement. Il n’existe pas d’autres contraintes au niveau du développement logiciel. Les bibliothèques, algorithmes ou protocoles de communication ne sont pas imposés.

## Architecture générale du projet

Voici l’architecture générale de mon système.



Comme on peut le voir sur l’image ci-dessus, la majorité des éléments tournent autour du CPU. Ce dernier récupère les informations de courants et du GPS et utilise le module 3G pour transmettre cela au serveur. Un capteur de température est également mis en place pour contrôler la température à l’intérieur du boitier. De plus l’alimentation de la carte est fournie au CPU, au GPS et au module 3G grâce à l’alimentation du train. Enfin, le module de flash externe est utilisé par le CPU pour stocker les informations récoltées dans l’attente de l’envoi de ces dernières.

# Gestion de projet

## Liste des tâches à réaliser

1. Un bogie est un chariot composé de quatre roues qui est mobile par rapport au châssis du wagon [↑](#footnote-ref-1)