

---

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à :*

*A mes très chers parents.*

*Merci, pour tout les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit des sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation.*

*A mon très cher frère.*

*A toute ma famille.*

*A tous mes amis.*

*A tous mes camarades de l'ENSAF avec qui j'ai passé des moments inoubliables.*

---

# Remerciement

Il m'est agréable de m'acquitter d'une dette de reconnaissance auprès de toutes les personnes, dont l'intervention au cours de ce projet, a favorisé son aboutissement.

Mes très chers remerciements vont à **Monsieur Anass MANSOURI**, mon encadrant et professeur à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Fès pour m'avoir encadré et encouragé tout au long de ce projet, et prodigué ses directives précieuses et ses conseils pertinents qui m'ont été d'un appui considérable dans ma démarche. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.

Je tiens à remercier vivement **Monsieur Hicham AMARA**, mon encadrant au sein d'ALTEN pour pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Mes remerciements les plus sincères vont aussi à **Monsieur Mohamed BOUHADDA**, responsable du département Automobile et Aéronautique, de m'avoir accueilli et accepté parmi eux.

Merci aux membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en jugeant ce travail.

Je tiens à remercier tout le personnel d'ALTEN, pour leurs soutiens et pour leurs générosités considérables quant à l'offre de l'information.

Je tiens également à adresser mes plus sincères remerciements à l'ensemble du corps enseignant de l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Fès, pour avoir porté un vif intérêt à ma formation, et pour nous avoir accordés le plus clair de leur temps, leur attention et leur énergie et ce dans un cadre agréable de complicité et de respect.

Enfin, que tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail trouvent l'expression de mes remerciements et de ma considération.

---

# Résumé

Les véhicules électriques sont le transport du futur. La mobilité électrique est devenue une partie essentiel pour la transition énergétique et impliquera des changements considérables pour les constructeurs automobiles, les gouvernements, les entreprises et les particuliers.

De nos jours, nombreux gouvernements promeuvent à l'utilisation des véhicules électrique, dans le but de réduire la pollution de l'air, pollution sonore et la consommation du pétrole. Certaines incitations visent à augmenter les achats de véhicules électriques en compensant le prix d'achat par une subvention. D'autres incitations comprennent la baisse des taux d'imposition ou même l'exonération totales de certaines taxes et des investissements dans des infrastructures de recharge.

L'objectif de ce projet de fin d'études est de réaliser et automatiser les tests systèmes d'un projet de chargement sans fil de véhicules électriques, en réalisant des spécifications de tests à partir des exigences imposées par le client afin de valider le fonctionnement de chaque exigence indépendamment.

---

# Abstract

Electric vehicles are the future of transportation. Electric mobility has become an essential part of the energy transition, and will imply significant changes for vehicle manufacturers, governments, companies and individuals.

Nowadays, many governments offer incentives to promote the use of electric vehicles, with the goals of reducing air and sound pollution and oil consumption. Some incentives intend to increase purchases of electric vehicles by offsetting the purchase price with a grant. Other incentives include lower tax rates or exemption from certain taxes, and investment in charging infrastructure.

The aim of this project is to realize and automate system tests for an automatic wireless charging system, by carrying out test specifications based on the requirements imposed by the client in order to validate each requirement independently.

---

# Abstract

Electric vehicles are the future of transportation. Electric mobility has become an essential part of the energy transition, and will imply significant changes for vehicle manufacturers, governments, companies and individuals.

Nowadays, many governments offer incentives to promote the use of electric vehicles, with the goals of reducing air and sound pollution and oil consumption. Some incentives intend to increase purchases of electric vehicles by offsetting the purchase price with a grant. Other incentives include lower tax rates or exemption from certain taxes, and investment in charging infrastructure.

The aim of this project is to realize and automate system tests for an automatic wireless charging system, by carrying out test specifications based on the requirements imposed by the client in order to validate each requirement independently.

---

# Table des matières

<b>Dédicace</b>	<b>1</b>
<b>Remerciement</b>	<b>2</b>
<b>Résumé</b>	<b>3</b>
<b>Abstract</b>	<b>4</b>
<b>Abstract</b>	<b>5</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>7</b>
<b>1 Contexte général du projet</b>	<b>8</b>
1.1 Présentation de l'organisme d'accueil . . . . .	9
1.2 Présentation du projet . . . . .	11
1.3 Cahier des charges . . . . .	13
1.4 Méthode de travail . . . . .	13
1.5 Planification du projet . . . . .	16
1.6 Conclusion . . . . .	16
<b>2 Environnement du projet</b>	<b>17</b>
2.1 Environnement matériel : Hardware in Loop . . . . .	18
2.1.1 Partie LV-Rack . . . . .	19
2.1.2 HV-Rack . . . . .	20
2.1.3 Banc de test . . . . .	22
2.1.4 Partie logique du HiL . . . . .	23
2.2 Environnement Logiciel . . . . .	23
2.2.1 Rational DOORS . . . . .	23

2.2.2	CANoe . . . . .	24
2.2.3	ASAP2 . . . . .	26
2.2.4	EXAM . . . . .	28
2.2.4.1	Processus de test EXAM . . . . .	31
<b>3</b>	<b>Description détaillée du projet</b>	<b>33</b>
3.1	Système de recharge automatique sans fil AWC . . . . .	34
3.2	Fonction Sécurité . . . . .	39
3.2.1	Couche de sécurité . . . . .	39
3.2.2	Couche sécurité niveau deux . . . . .	40
3.2.2.1	Protocole PIN/PUK . . . . .	40
3.2.2.2	Protocole d'appariement . . . . .	41

---

# Introduction générale

Le projet de fin d'étude marque la fin de ma formation d'ingénieur au sein de l'ENSA. Il représente ma possibilité à mettre en pratique les compétences et connaissances acquises durant mes cinq dernières années d'études. J'ai eu l'opportunité d'effectuer mon stage au sein de la société ALTEN dans le département Automobile à Fès.

Le secteur automobile est en pleine évolution et ne cesse de croître. La croissance du nombre de constructeurs et d'équipementiers en ai la preuve. Les systèmes mécaniques dans l'automobile ont été largement remplacé par des systèmes électroniques. Aujourd'hui, l'industrie automobile intègre des systèmes embarqués dans tout et n'importe quoi, partant des essuie-glaces jusqu'aux airbags et systèmes ABS.

C'est dans ce cadre qu'ALTEN intègre l'industrie de l'automobile, elle vise à renforcer son positionnement dans ce marché qui prend de l'ampleur.

Dans les années 2000, la crise du carburant a été l'une des causes principales de la croissance du développement des véhicules hybrides. Le Roadster de Tesla Motors, qui a été mis en vente en 2008, a révolutionné l'industrie. La conception attrayante et la gamme étendue du Roadster ont attiré un marché plus grand que jamais et ont encouragé des concurrents tels qu'**AUDI** à lancer leurs propres modèles.

Le but de ce projet sera la réalisation et l'automatisation des tests système du projet AWC (Automatic Wireless Charging) de **PRIMOVE BOMBARDIER**. Ce projet permettra aux véhicules électriques de charger leurs batteries avec un niveau d'efficacité très élevé et dans une période assez courte.

Ce rapport se répartira alors sur quatre chapitres :

- Le premier chapitre "*Contexte général du projet*" présentera dans un premier lieu l'organisme d'accueil ainsi que le projet sur lequel on va travailler.
- Le deuxième chapitre "*Environnement de projet*" qui introduira l'environnement matériel ainsi que les outils logiciels utilisés tout au long du projet.
- Le troisième chapitre "*Description détaillée du projet*" présentera en détails les différentes fonctions incorporées dans le système AWC, il expliquera aussi en profondeur la fonction **Sécurité** du système qui m'a été confié lors de ce stage.
- Enfin le dernier chapitre qui est le quatrième "*Test ? ?*" présentera le processus de création des spécifications de tests ainsi que le développement des scripts correspondants.



---

## CHAPITRE 1

---

### Contexte général du projet

# Introduction

Dans ce chapitre on va présenter le contexte général dans lequel s'est déroulé le projet de fin d'études présentant d'une part la société d'accueil qui est ALTEN, son activité, son organigramme et d'une autre part le cahier des charges que m'a été confié.

## 1.1 Présentation de l'organisme d'accueil

Fondée en 1988, ALTEN est une multinationale Française d'ingénierie et conseil en technologies présente dans 24 pays. En 2017, ALTEN a accompli un turnover de 1,975 Millions d'euros, Elle opère dans plusieurs secteurs dont l'aéronautique, automobile, télécom, énergie et bien d'autres.

L'industrie automobile est engagée dans une mutation de son rôle et de sa relation avec le consommateur, l'utilisateur final et la société en général. Elle contribue à l'émergence de nouvelles solutions de mobilité individuelle, parfois disruptives. Elle s'impose aussi comme l'interface de nouvelles logiques partenariales. L'innovation et la technologie sont le levier indispensable à ces mutations : les équipementiers automobiles en sont des acteurs-clés, aux côtés de leurs clients constructeurs, mais également de nouveaux acteurs industriels et de services.

Pour les années à venir, le secteur automobile concentre ses efforts R&D sur trois priorités : accélérer le développement de l'électrique, mettre au point les systèmes d'aide à la conduite et la conduite autonome, et enfin déployer les services de mobilité. D'autre part, les industriels profitent de l'essor du e-commerce pour investir le marché de la distribution.

C'est pour cela que plus de 4,200 consultants ALTEN sont mobilisés dans les filiales en France et à l'international sur les projets des plus grands constructeurs et équipementiers européens. Les interventions d'ALTEN tournent autour de trois axes principaux : la capacité à mobiliser ses ressources, à s'engager sur des projets et à adapter rapidement les modes d'interventions, son expertise dans des domaines pointus tels que le contrôle moteur et l'électronique habitacle, et enfin son approche transversale et internationale du secteur.

L'entreprise ALTEN Maroc Fès est divisée en 3 départements :

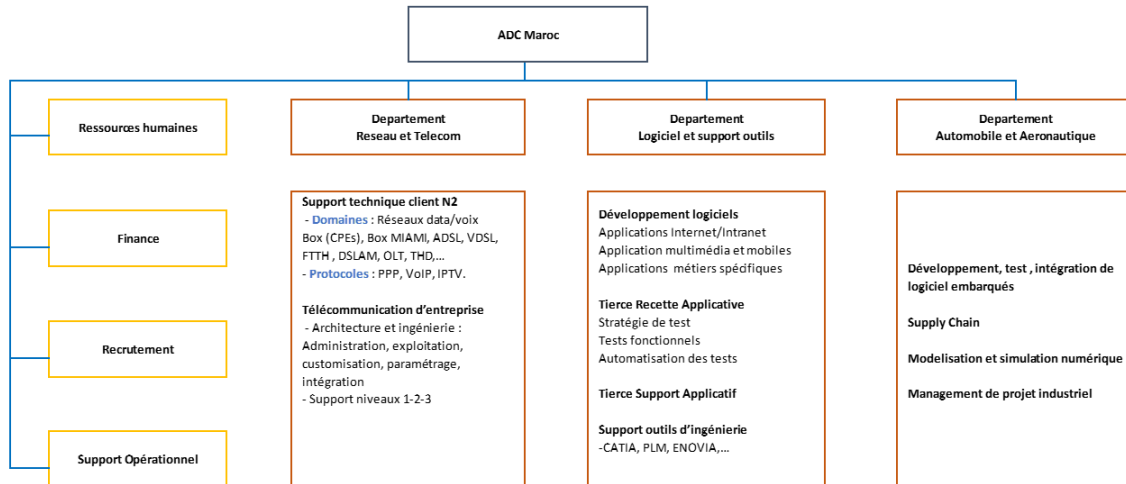


FIGURE 1.1 – Structure Alten

**Département Logiciel ou Software :** Ce département intervient en conseil ou en réalisation de projets complets dans le domaine de développement logiciel et dans l'assistance applicative.

**Département Réseaux et Télécommunication :** Constitué d'environ 150 consultants, ce service a comme but de gérer le support technique pour les clients de l'opérateur Bouygues Telecom sur toutes sortes de technologies.

**Département Automobile et Aéronautique :** constituée d'environ 25 ingénieurs et représente l'équipe où on m'a intégré afin d'accomplir différentes activités et tâches professionnelles. Ce département intervient sur des projets de développement et de test des systèmes embarqués dans le domaine de l'automobile.

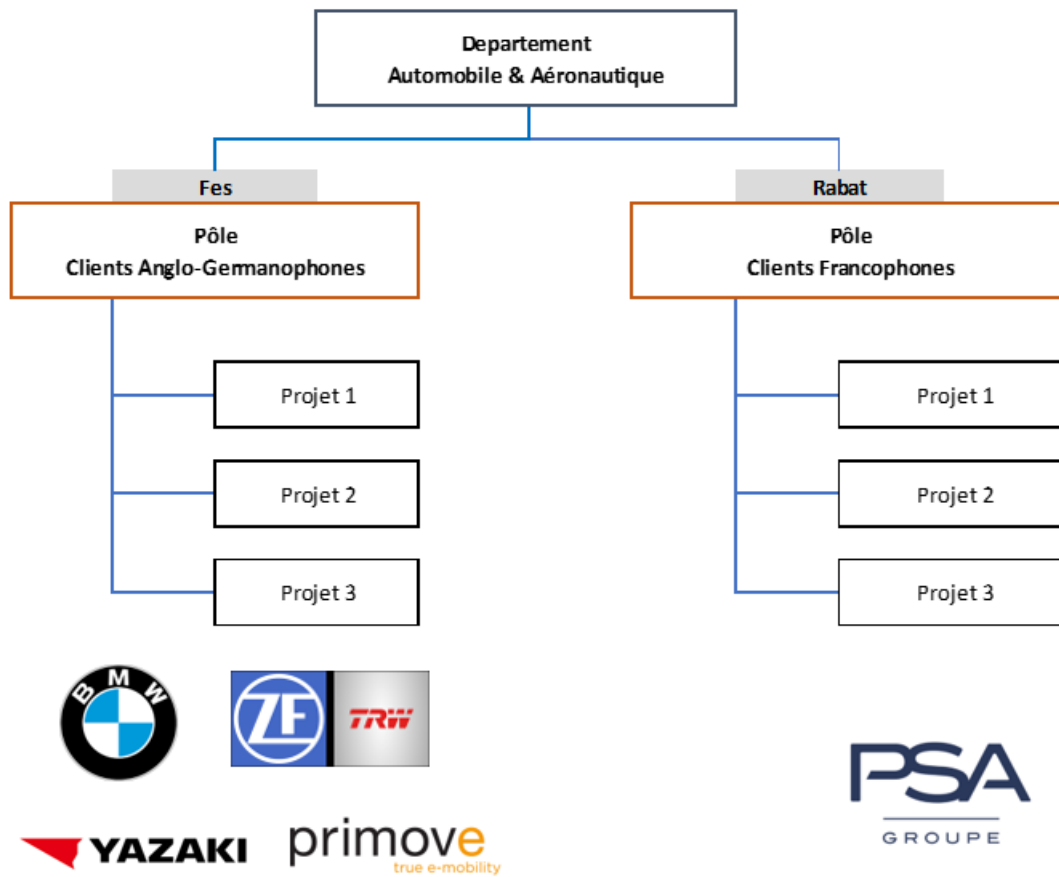


FIGURE 1.2 – Département Automobile et Aéronautique

En ce moment, le département Automobile du nouveau site ALTEN Rabat s'occupe principalement des projets Francophones du groupe PSA, alors que celui du Fès travaille sur des projets différents de clients Anglo-Germanophones tels que BMW, Yazaki et Primove.

## 1.2 Présentation du projet

Le projet où on m'a intégré me permettra de mettre en œuvre le savoir et compétences acquises durant ma formation académique, et de m'habituer à travailler dans un contexte réel du monde professionnel. Il me permettra aussi d'intégrer le milieu professionnel et de développer l'esprit d'initiative et le sens de responsabilité.

PRIMOVE, qui est la gamme électrique complète de BOMBARDIER permet aux villes et à l'industrie du transport d'intégrer facilement la mobilité électrique. Cette gamme inclut la recharge sans fil, le système de batterie compacte ainsi qu'un système de propulsion pour véhicules électriques sur rails et sur routes.

Le projet, que j'ai eu la chance d'intégrer, est le projet de recharge sans fil de PRIMOVE ou bien aussi appelé (Automatic Wireless Charging AWC). Cette technologie de recharge sans fil se base sur le principe de transfert d'énergie par induction, elle permet la transmission électrique sans contact entre les composants enfouis sous la chaussée et le récepteur installé sous le véhicule. Les composants communiquent avec le véhicule afin de s'assurer que les segments de recharge ne soient activés que lorsque le véhicule recouvre entièrement la plateforme de recharge.

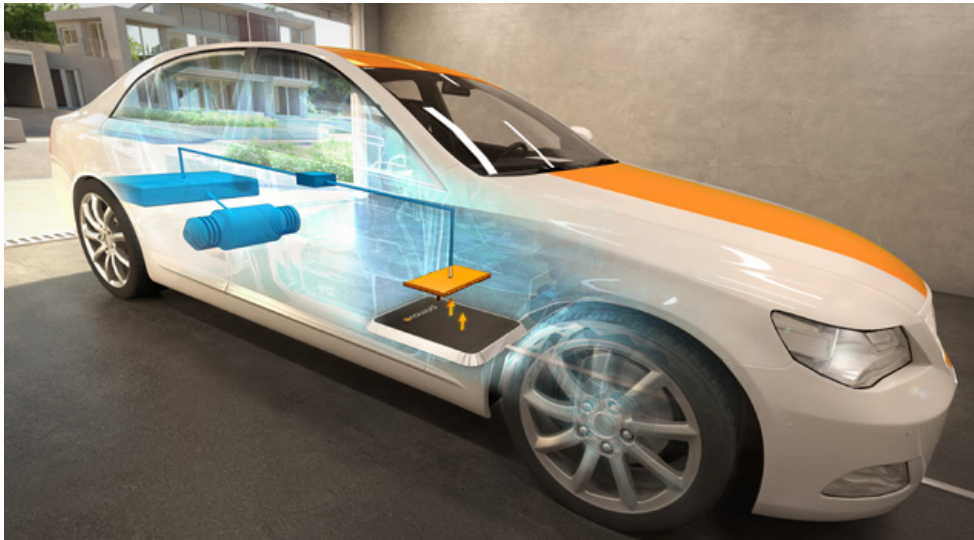


FIGURE 1.3 – Projet AWC

Le système invisible transfère l'énergie sans contact à des niveaux très hauts d'efficacité. Le système permet de charger la batterie du véhicule très rapidement. Une bobine à induction intégrée à la chaussée transporte du courant alternatif à haute fréquence, créant ainsi un champ magnétique. Ce dernier permet d'induire une tension dans le récepteur de puissance à induction du véhicule, qui est alors utilisée pour recharger et alimenter le véhicule.

Le système de recharge PRIMOVE résout les problématiques d'autonomie et de chargement, auxquels font face la mobilité électrique, avec un transfert d'énergie rapide et à haute puissance. Les postes de chargements sont installés dans des endroits stratégiques, là où les véhicules s'arrêtent le plus souvent tels que les aires de repos, les aéroports et les parkings en général.

Le système est conçu afin de respecter la sécurité et la santé des passagers, du chauffeur, des piétons ainsi que du personnel opérationnel. Les postes de recharge sont seulement allumés lorsque le véhicule est entièrement positionné au-dessus. Les champs électromagnétiques sont créés uniquement pendant la recharge et contenue entièrement sous le véhicule.

## 1.3 Cahier des charges

Pendant ce stage, nous étions amenés à contourner plusieurs obstacles, parmi eux :

- Compréhension du système AWC et son fonctionnement.
- Complexité dans l'analyse des exigences.
- Manque d'informations, documentation non claire.
- Rédaction des cas de tests.
- Familiarisation avec l'outil de développement de test.
- Difficulté d'avoir un banc de test au Maroc.

Vu que le système AWC est composé de plusieurs fonctions ou modules, ces derniers ont été distribués sur les ingénieurs travaillant sur ce projet. Pour ma part, j'étais chargé de m'occuper de la fonction « Sécurité » du système AWC, par conséquent j'avais comme objectif de :

- Créer des spécifications de tests système dans DOORS.
- Développer les tests cases correspondants avec EXAM.
- Exécuter les tests cases dans le HIL (Hardware In Loop).
- Analyser les rapports d'exécutions des tests cases.
- Assurer la qualité de ces activités.

## 1.4 Méthode de travail

Le cycle en V est une méthode de gestion de projet conçue pour l'industrie. Il est une évolution du cycle en cascade qui manquait de réactivité. Il évite les retours en cas d'anomalie rencontrées. Il est composé d'une phase descendante puis montante, la phase montante envoie des informations vis-à-vis de la phase descendante.

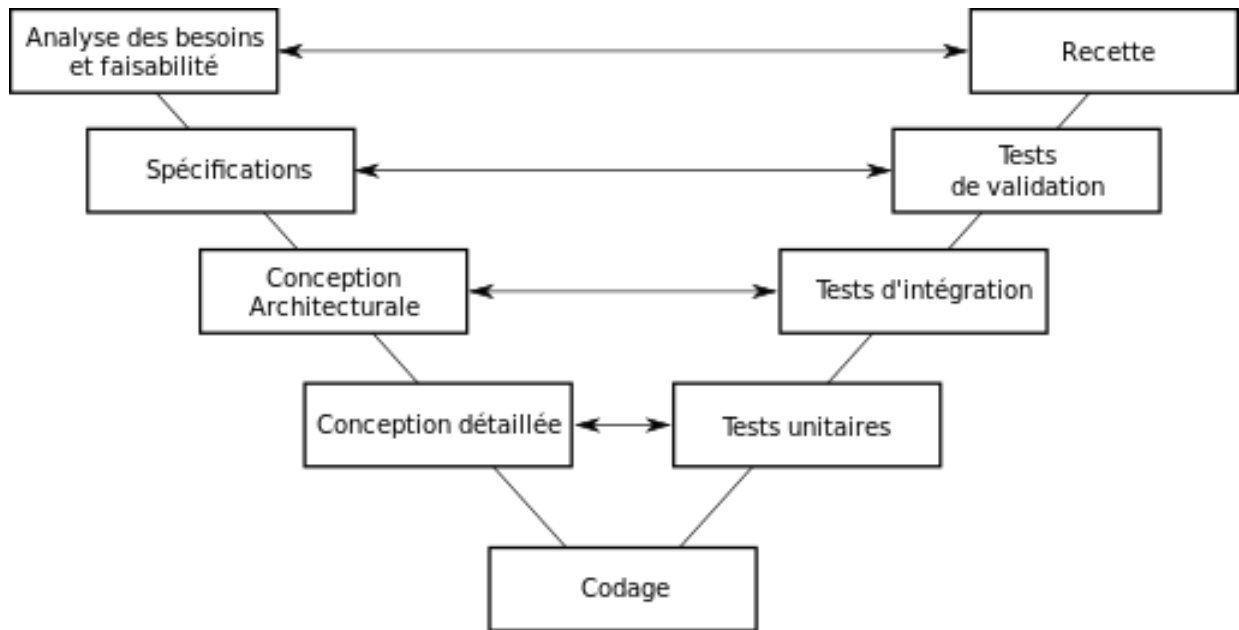


FIGURE 1.4 – Cycle en V

Le cycle en V est un cycle composé de 3 grandes phases contenant 8 étapes de conception d'un produit :

- La phase de conception
  - Analyse des besoins et faisabilité
  - Spécifications
  - Conception Architecturale
  - Conception détaillée
- La phase de réalisation
  - Codage
  - Tests unitaires
- La phase de validation
  - Tests d'intégration
  - Tests de validation
  - Recette

Durant la première phase **Analyse et faisabilité**, une analyse est effectuée afin de déterminer l'ensemble des fonctionnalités et les besoins du client. Ce dernier recherche un produit et il exprime ses besoins à travers ce produit. Il définit un délai final de rendu. Le prestataire effectue alors une étude de faisabilité afin de savoir si la solution peut être conçue et rentable. Le client et le prestataire définissent alors un cahier des charges détaillant toutes les fonctionnalités recherchées dans le produit final avant sa conception. Un autre composant unique et propre au cycle en V est que, lors de chaque étape de la conception, les tests correspondants sont également conçus pour être mis en œuvre plus tard au cours des phases de test.

Après le première phase, une documentation des exigences du client a été créé, celle-ci est utilisée dans la deuxième étape **Spécifications** pour générer les spécifications du système qui définissent tous les composants techniques tels que les couches de données, la logique, etc. Les tests système sont également conçus au cours de cette étape.

Dans la phase **Conception Architecturale**, on précise comment le système interagit avec les différents composants soit internes soit externes. Les tests d'intégration sont également développés pendant cette période.

La phase **Conception détaillée** comprend toute la conception de bas niveau du système, et décrit comment la logique du système sera implémentée en définissant des modèles, composants, interfaces et autres. Les tests unitaires doivent également être créés pendant cette phase.

Dans la phase **Codage**, l'équipe du projet se lance dans le développement du produit sur la base des spécifications techniques. Cette phase du projet consiste à concevoir les différentes fonctionnalités du produit final dans les délais attendus. Cette période devrait durer autant de temps que nécessaire pour convertir tous les documents de conception et de spécifications générés précédemment en un système fonctionnel codé. La phase de test ne devrait commencer qu'une fois l'étape codage est complète.

Maintenant on remonte dans le cycle avec des tests inverses, en commençant par les **tests unitaires** développés pendant la phase *Conception détaillée*. Idéalement, cette phase devrait éliminer la grande majorité des bugs et problèmes potentiels, et sera donc la phase de test la plus longue du projet.

Cela dit, tout comme lors des tests unitaires avec d'autres modèles de développement, les tests unitaires ne peuvent pas ou ne devraient pas couvrir tous les problèmes pouvant survenir dans le système, donc les phases de test moins granulaires doivent combler ces lacunes.

Dans la phase **Tests d'intégration**, Les tests conçus pendant la phase *Conception architecturale* sont exécutés ici, garantissant que le système fonctionne avec tous les composants et intégrations tierces.

De même, dans la phase **Tests de validation** ou **Tests système**, les tests créés lors de l'étape *Spécifications* sont exécutés, en se focalisant principalement sur les tests de performance et de régression. C'est là que l'équipe PRIMOVE d'ALTEN intervient.

Enfin, le **Test d'acceptation** est le processus de mise en œuvre de tous les tests créés au cours de la phase initiale des exigences et doit garantir que le système est fonctionnel dans un environnement avec des données réelles, et prêt pour le déploiement et la production.

Le cycle en V est donc adapté aux projets restreints grâce à sa nature rigoureuse et à ses phases de conception linéaire, de réalisation et de test, il n'est pas étonnant que le cycle en V est fortement utilisé dans l'industrie automobile. Dans les situations où la longueur et la portée du projet sont bien définies, le produit final est stable, les spécifications de



conception et la documentation sont claires.

Il est aussi idéal pour la gestion du temps, en effet, le cycle en V est adapté aux projets qui doivent respecter une date limite stricte et respecter des dates clés tout au long du processus. Avec des étapes assez claires que toute l'équipe peut facilement comprendre et préparer, il est relativement simple de créer une chronologie pour l'ensemble du cycle de développement. Bien évidemment, l'utilisation du cycle V ne pourra en aucun cas garantir que les jalons seront toujours atteints, mais sa nature stricte impose de respecter un calendrier assez serré.

## 1.5 Planification du projet

Pour la bonne gestion et déroulement du projet, on s'est mis d'accord avec le client sur plan de travail. Ce dernier nous permet de définir les travaux à réaliser, fixer des objectifs, coordonner les actions, et rendre compte de l'état d'avancement du projet.

On a pu établir un plan d'action à respecter afin de bien mener et réaliser le projet, ce plan se compose des étapes suivantes :

- Première étape : Se documenter sur le projet AWC et bien comprendre les différentes parties du système.
- Deuxième étape : Rédiger et développer les spécifications de tests
- Troisième étape : Créer les scripts de tests pour chaque spécification de test.
- Quatrième étape : Exécuter les scripts de test sur le HIL et les réadapter selon leurs rapports d'exécution.



FIGURE 1.5 – Diagramme de GANT

## 1.6 Conclusion

Dans ce chapitre introductif, nous avons pu présenter l'organisme d'accueil dans lequel j'ai effectué mon stage ainsi expliquer de façon brève et générale le projet sur lequel notre équipe a travaillé. Le chapitre suivant aura comme objectif d'expliquer plus en détail le système AWC ainsi que de présenter l'environnement matériel et logiciel du projet.

---

## CHAPITRE 2

---

### Environnement du projet

## Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter l'environnement matériel du projet, ainsi que les outils logiciels utilisés à savoir Rational DOORS, CANoe, ASAP2 et EXAM pour la gestion des exigences, lecture des fichiers de mesures de signaux et enfin créer et simuler les scripts de tests sur le Hardware-in-Loop (HiL).

### 2.1 Environnement matériel : Hardware in Loop

Après avoir fait une petite introduction des différentes fonctions du système AWC, on passe à l'environnement où on doit exécuter nos scripts de tests qui le HiL.

La simulation HiL Hardware in Loop est une méthode de simulation caractérisée par l'association de véritables composants, connectés à une partie temps réel simulée. Souvent, les systèmes de contrôles matériel et logiciel sont identiques à ceux retenus pour la production finale.

Le processus à contrôler comme les actionneurs et les capteurs, peut être composé soit d'éléments simulés, soit d'éléments réels. En général, un mixe des deux est réalisé. Habituellement, les actionneurs sont réels cela s'explique par le fait que les actionneurs sont difficilement modélisables.

Dans le domaine de l'automobile, le HiL met à notre disposition un véhicule virtuel afin d'exécuter toutes sortes de tests et vérification. Malheureusement, dans notre cas le HiL se trouvait dans l'Allemagne et développer par dSPACE.



FIGURE 2.1 – Station de test HiL

Sur l'image ci-dessus, on peut distinguer deux parties dans le HiL : la partie LV-Rack (Low Voltage Rack) qui est à gauche et la partie HV-Rack (High Voltage Rack) qui est à droite.

### 2.1.1 Partie LV-Rack

**LV-Rack** contient la partie avec les composants nécessitant une tension faible.



FIGURE 2.2 – Partie LV-Rack

Cette partie contient :

- Interrupteur
- Bande de puissance
- Interrupteur principal pour dSPACE
- Bouton d'urgence
- Bouton marche / arrêt pour le circuit principal
- Les différentes connexion CAN au système
- Une interface pour l'autre partie HV-Rack
- Capteur de champ magnétique
- Capteur de température infrarouge

### 2.1.2 HV-Rack

**HV-Rack** contient les composants nécessitant une haute tension ainsi que les composants responsables du stockage des mesures de l'ORU et le Wayside.



FIGURE 2.3 – Partie HV-Rack

Cette partie contient :

- Interrupteur principale pour le HV-Rack
- Compteur de puissance
- Bouton d'urgence
- Commande de verrouillage de porte
- Bouton d'urgence à clé
- Adaptateur secteur DC HV
- Adaptateur secteur AC
- Prise d'alimentation pour l'ORU
- Interface pour LV-Rack

### 2.1.3 Banc de test

Avant, dans cette partie, on avait le Wayside qui était sur le sol avec l'ORU qu'on pouvait déplacer et tourner au-dessus du Wayside manuellement avec un levier. Mais après on a intégré un robot appelé Kuka qui s'occupe de ces opérations.



FIGURE 2.4 – Banc de test

Le placement du Wayside est mené par un opérateur qui le place dans la position voulu au début du test.

### 2.1.4 Partie logique du HiL

Pour pouvoir simuler les tests, le HiL contient une partie logique qui nous permet d'interfacer et de communiquer avec le système AWC. Cette partie est modélisée à l'aide de MATLAB Simulink, grâce aux différents modèles créés, on peut espionner les communications CAN, SPI, XCP et Bluetooth du système ainsi qu'interagir avec l'ORU et le Wayside.

Le logiciel implémenté dans le HiL peut aussi s'interfacer avec des langages de programmation tel que Python, mais aussi avec des outils graphiques haut niveau de développement de scripts de test comme EXAM qu'on verra plutard.

## 2.2 Environnement Logiciel

### 2.2.1 Rational DOORS

Rational DOORS est un logiciel propriétaire de gestion des exigences pour les systèmes et les applications informatiques avancées qui était initialement édité par **Telelogic** avant d'être racheté par **IBM** en avril 2008.



FIGURE 2.5 – Logo IBM Rational DOORS

Rational DOORS est un outil de gestion d'exigences de premier plan qui facilite la capture, la trace, l'analyse et la gestion des modifications apportées aux informations. Le contrôle des exigences est la clé de la réduction des coûts, l'augmentation de l'efficacité et l'amélioration de la qualité des produits.

DOORS est un acronyme signifiant Dynamic Object-Oriented Requirements System, ou système d'exigences dynamique orienté objet. Par le biais de Rational DOORS, on a pu optimiser la communication, la collaboration et la vérification des exigences au sein de notre équipe ainsi qu'avec l'équipe se trouvant en Allemagne.



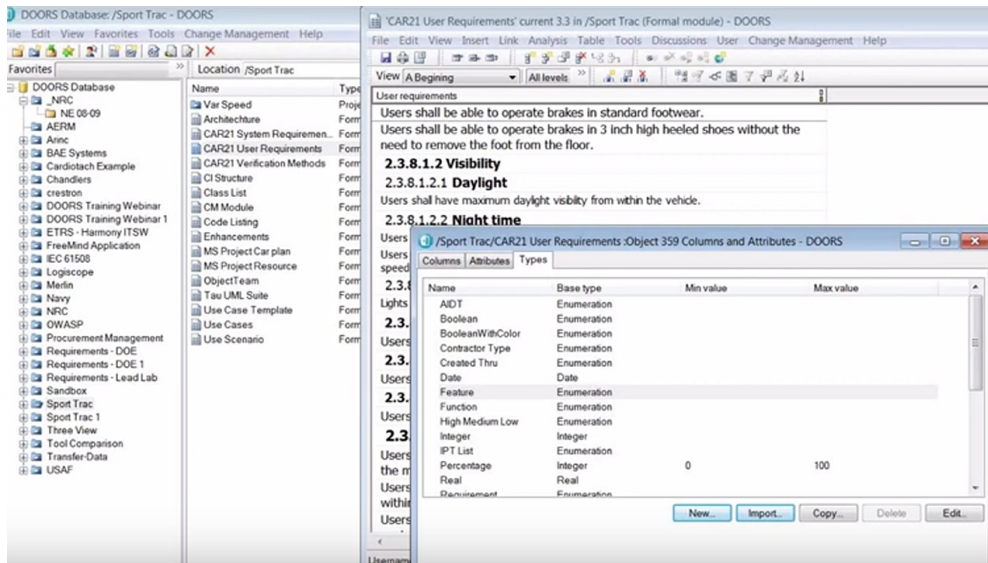


FIGURE 2.6 – Interface utilisateur Rational DOORS

Grâce à sa propre base de données intégrée, Rational DOORS met à notre disposition un large éventail de fonctions qui nous aident à capturer et gérer les exigences. Il permet de réduire les coûts de développement de 57%, d'accélérer les ventes de 20% et de diminuer le coût de la qualité de 69%.

### 2.2.2 CANoe

CANoe est un outils de développement et de tests crée par **Vector Informatik GmbH**. C'est un logiciel complet pour le développement et analyse de réseaux ECU entier et d'ECU individuels. Il est utilisé avec succès par les équipementiers et fournisseurs depuis plus de 20 ans.

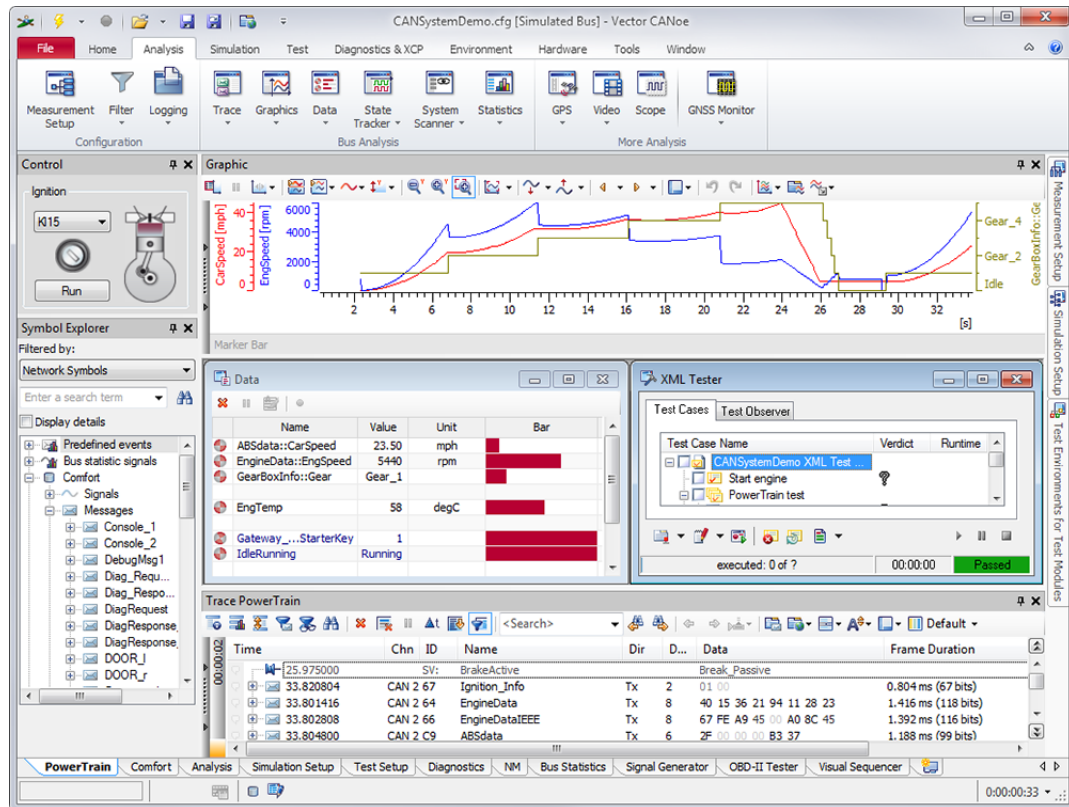


FIGURE 2.7 – Interface utilisateur CANoe

CANoe supporte les systèmes de bus :

- CAN (Controller Area Network)
- LIN (Local Interconnect Network)
- FlexRay
- Ethernet
- MOST (Media Oriented Systems Transport)
- Tout protocole basé sur le CAN.

CANoe contient lui même plusieurs programme :

- Avec **CANdb++ Editor** on peut créer et modifier les bases de données (\*.DBC) qui contiennent des informations symbolique pour CANoe. Cela inclut les nœuds de réseau et les noms symboliques pour les messages et les signaux ainsi que les variable d'environnement.
- Dans **CAPL Browser** on peut créer des programmes pour la configuration des mesures et simulations.
- Le programme principal **CANoe** nous permet de mesurer et simuler les systèmes CAN.
- Dans **Panel Designer** ou **Panel Editor** on peut créer des panneaux de contrôle qui seront chargé par CANoe. Ces panneaux représentent l'interface d'entrée et sortie entre l'utilisateur et les réseaux de nœuds simulés.
- **CAPL Generator** est un outils qui automatise la génération des modèles de réseaux des noeuds. La génération est basée sur les bases de données CAN.
- **Panel Generator** est un outils qui automatise la génération des panneaux.

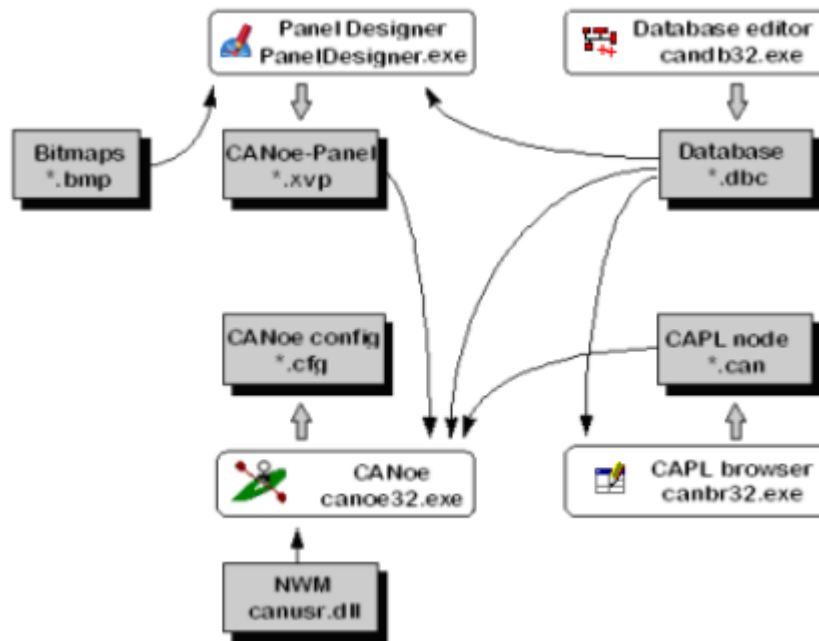


FIGURE 2.8 – Vue globale de CANoe

### 2.2.3 ASAP2

Le XCP ou bien "Protocole Universel de Mesure et de Calibration" est un réseau protocolaire qui permet de connecter les systèmes de calibration à l'ECU. Il nous donne le droit de lecture et d'écriture dans des variables et mémoire du microcontrôleur en cours d'exécution.

Une condition préalable à l'utilisation de l'XCP en tant que protocole de mesure et de calibration est l'existence d'un fichier de description ASAP2. L'outil ASAP2 est utilisé donc pour créer et vérifier ce fichier, il permet de :

- Générer automatiquement des fichiers ASAP2 en fonction des commentaires du code C.
- Mettre à jour l'adresse et les informations sur les types de données.
- Fusionner plusieurs fichiers ASAP2 dans un fichier joint.
- Comparer deux fichiers ASAP2 avec la documentations des résultats dans un fichier journal.
- Vérifier les fichiers ASAP2 pour les erreurs syntaxiques et sémantiques.
- Créer des dialogues et visualisations des fichier A2L.

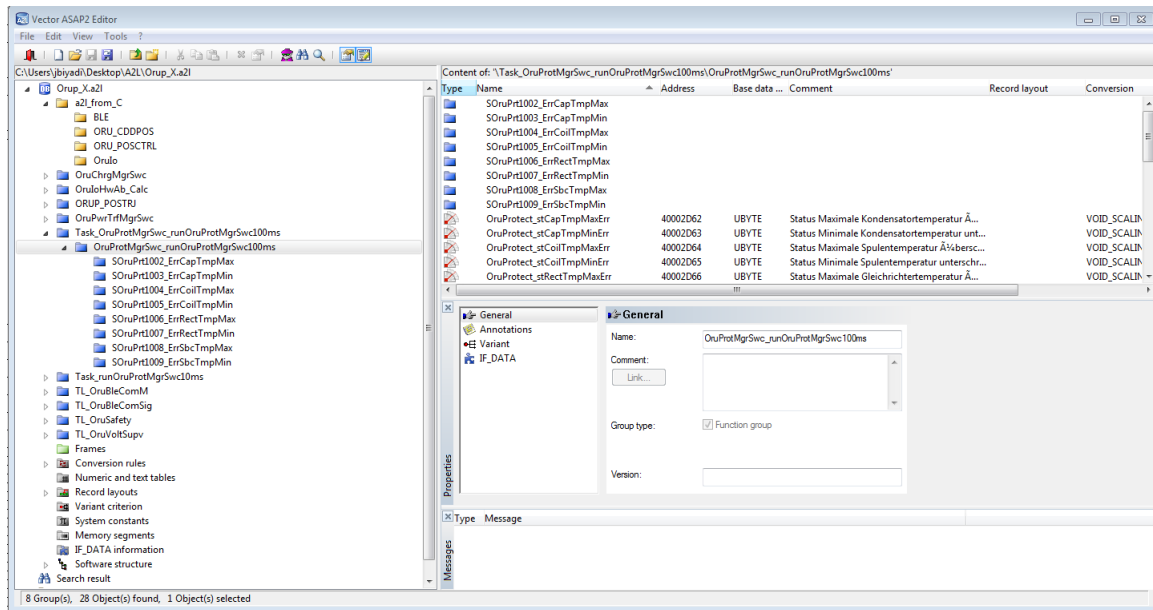


FIGURE 2.9 – Interface utilisateur ASAP2

L'outil ASAP2 contient lui aussi sept programmes incorporés lui permettant d'exécuter les tâches citées ci-dessus :

- ASAP2 Creator
- ASAP2 Updater
- ASAP2 Merger
- ASAP2 Comparer
- ASAP2 Checker
- ASAP2 Modifier
- ASAP2 Studio

La figure suivant représente le processus suivi pour générer un fichier ASAP2 :

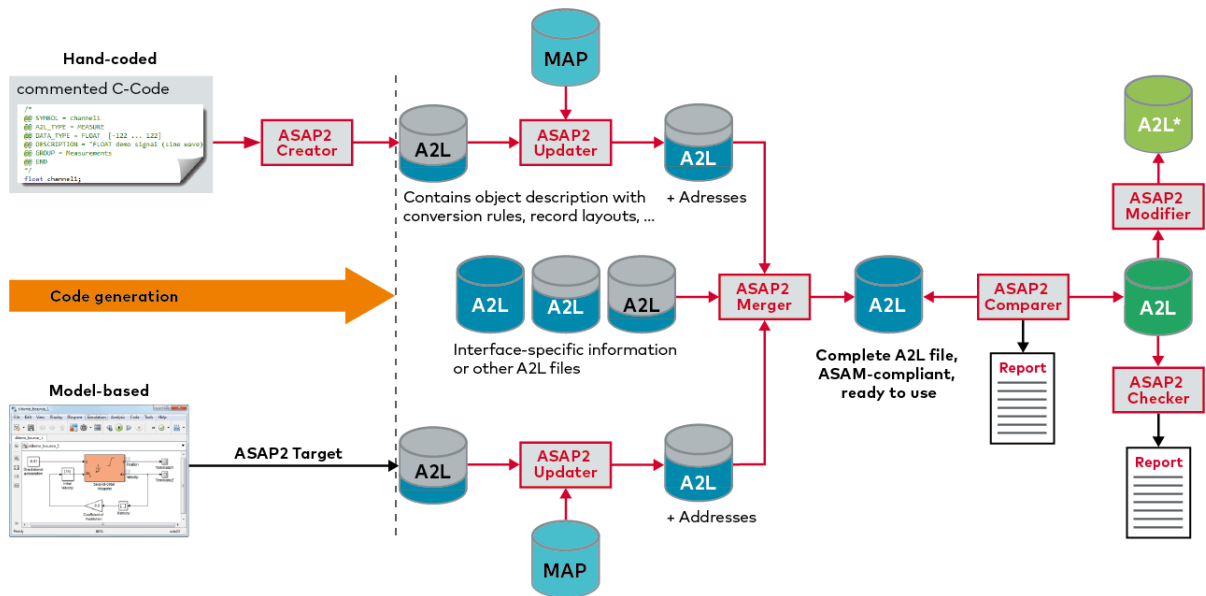


FIGURE 2.10 – Processus de génération A2L

Un fichier A2L peut être généré à partir de CANape à tout moment. Une autre méthode consiste à le générer automatiquement d'un code C écrit avec des commentaires spéciaux. Ce code C est analysé par A2L Creator qui est parmi les outils inclus dans ASAP2. L'algorithme cherche dans le code C des commentaires et génère une partie du A2L qui représente les paramètres de mesures et de calibration.

ASAP2 Editor lit les adresses et les types de données et met à jour le fichier A2L. Il permet aussi de subdiviser un fichier A2L existant en plusieurs sous-fichiers ou les joindre.

## 2.2.4 EXAM

Chez les constructeurs automobiles, pour la validation des systèmes électroniques embarqués, des plans de test sont élaborés. Ils couvrent un certain nombre de cas de test et s'assurent que les spécifications du besoin établies sont validées pour un système donné. Un cas de test est un chemin fonctionnel à mettre en œuvre pour atteindre un objectif de test. Un plan de test décrit également les critères d'arrêt pour la campagne, les tests effectués et surtout les tests non effectués.

Le projet décroché par ALTEN consiste à tester et valider le système AWC, pour cela nous avons eu recours à l'outil de développement graphique de test EXAM (**E**xtended **A**utomation **M**ethod), conçu par **AUDI** et **Volkswagen**, en collaboration avec la société allemande MicroNova.



FIGURE 2.11 – Logo EXAM de MicroNova

EXAM définit une méthodologie complète basée sur UML pour représenter, implémenter et évaluer les cas de test. Il nous permet de modéliser graphiquement des processus de test dans des diagrammes de séquence sans connaissance avancé sur la programmation. EXAM fournit ainsi un langage uniforme pour la représentation des événements de test. Il convient à la simulation Hardware in Loop HiL, à l'automatisation des bancs de test et à l'automatisation industrielle, ainsi qu'au développement intégré et à la simulation de Software in Loop SiL.

Comme dit précédemment, EXAM a été co-développé par AUDI, Volkswagen, et MicroNova en 2006 et a été depuis établi comme un outil d'automatisation de test uniforme pour les simulateurs HiL dans tout le groupe Volkswagen.

EXAM est un outil basé sur le concept ITF (Integrated Testing Framework) : l'idée est de faciliter la collaboration entre tous les composants d'un système de test sur une plate-forme commune et intégrée. La brique EXAM, fondation de ITF, supporte toutes les tâches liées aux tests automatiques : formalisation des cas de test (diagramme séquence UML), traçabilité avec DOORS, implémentation automatique des cas de test au format Python, exécution et évaluation automatique des test sur différentes plates-formes (DSpace, MicroNova, National Instruments, Vector, ETAS, ...), ainsi que le reporting.

Vu que les scripts de test sont définis de façon uniforme avec UML, les scripts développés peuvent être exécutés et transférés automatiquement en programmes de test exécutables. La modélisation elle même est faite à l'aide de l'interface graphique, ce qui permet au développeur du test de se concentrer sur le sujet et le contenu du test sans connaître presque aucune notion de programmation.

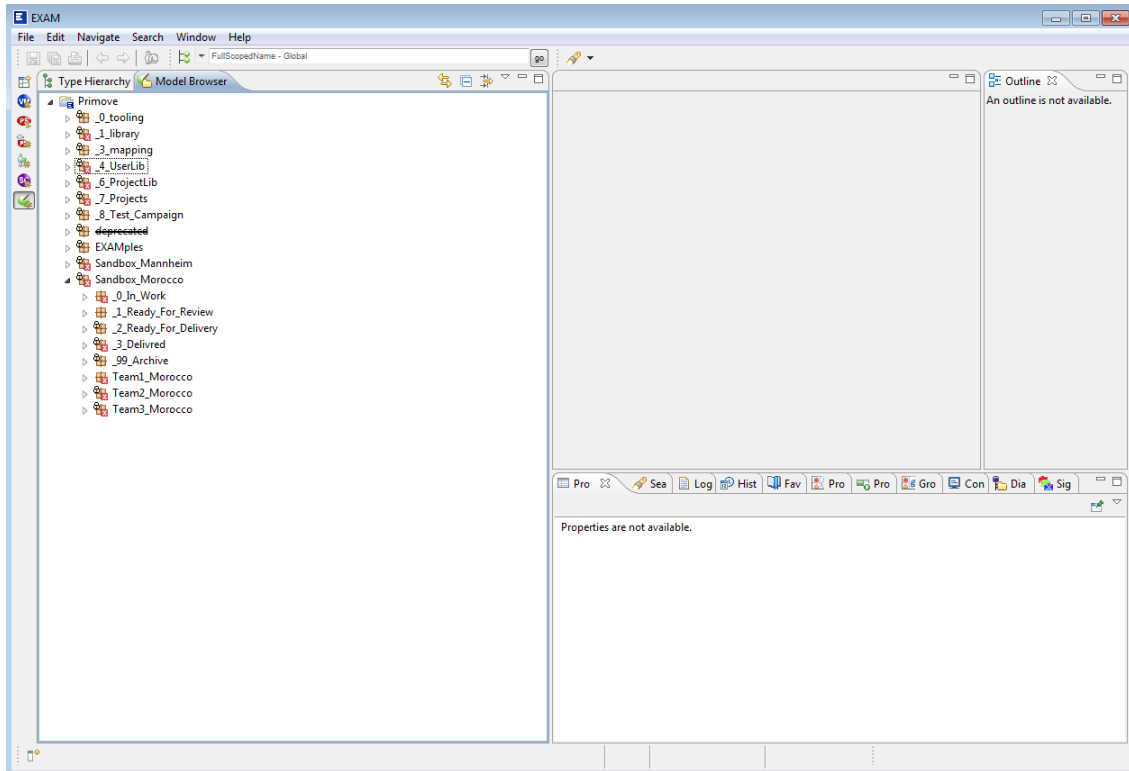


FIGURE 2.12 – Interface utilisateur EXAM

EXAM est une application partagée où plusieurs utilisateurs peuvent travailler simultanément sur la même donnée qui est contenue dans une base de données centrale. Les modifications apportées à cette donnée sont synchronisées de façon automatique. Les utilisateurs sont notifiés quand il détecte un changement dans un modèle et le recharge automatiquement.

EXAM utilise un générateur de code incrémentiel pour générer un script Python exécutable qui est utilisé pour l'exécution du test.

En plus de pouvoir modéliser les scripts de test à l'aide de l'interface graphique, EXAM nous permet de créer des scripts directement en Python. Ceci est utile lors des créations des fonctions et procédures pour faciliter le développement actuel des scripts de test.

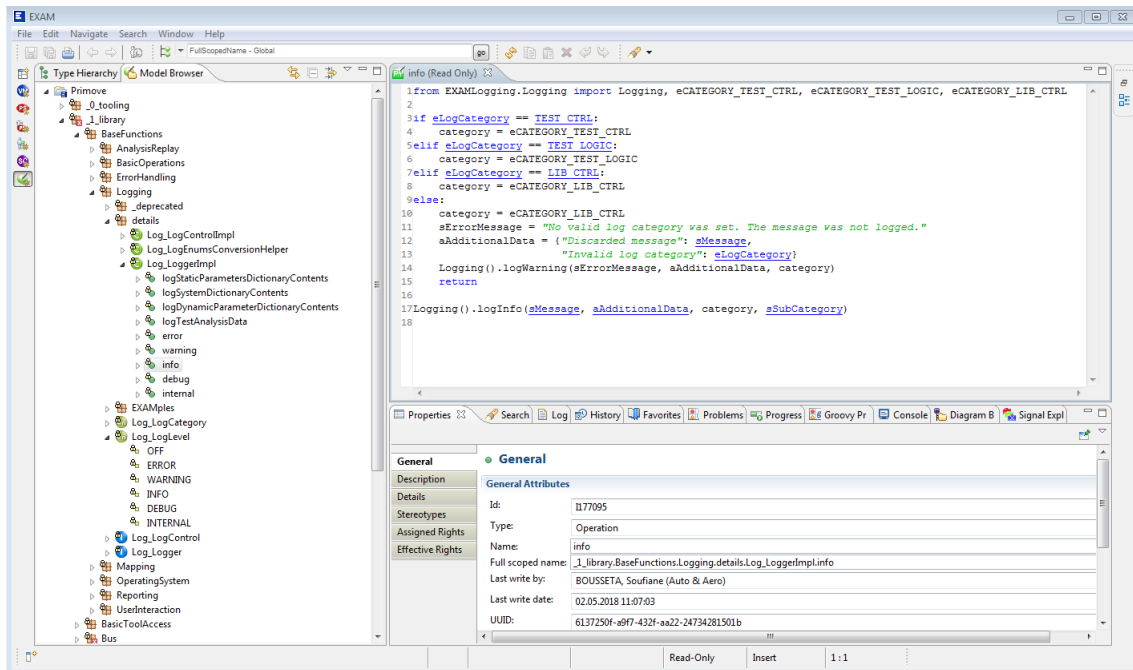


FIGURE 2.13 – Création de script en Python avec EXAM

#### 2.2.4.1 Processus de test EXAM

Le processus de test avec EXAM constitue seulement une partie d'un plus grand processus. Les rôles dans ce processus ne doivent pas nécessairement être remplis par une personne respectivement. Dans des petits projets, une seule personne peut jouer tous les rôles, mais dans notre cas les rôles sont affectés à chaque membre de l'équipe.

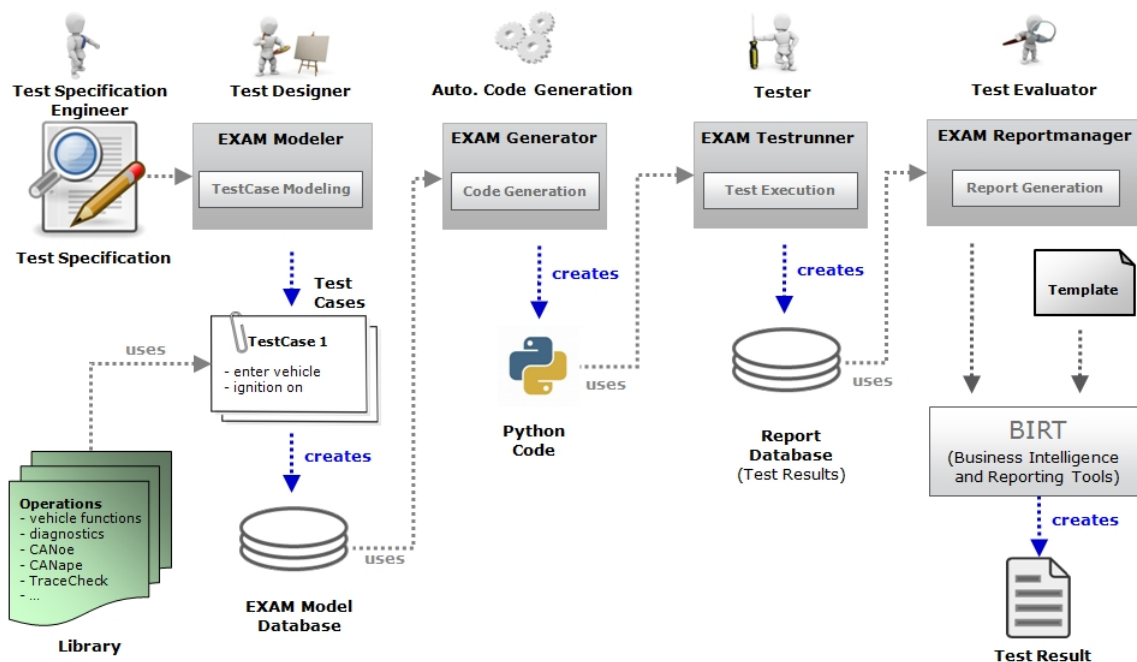


FIGURE 2.14 – Processus de test EXAM



Le Test Manager est le rôle qui assure le suivi global du processus. Il est responsable de la planification du projet et supervise son exécution. Il définit également quelle fonction ou quelle exigence doit être testée. Cette information va être passée à l'ingénieur de test qui va développer la spécification à l'aide de Rational DOORS.

Le Designer de Test reçoit la spécification de chez l'ingénieur de test et les instructions du Test Manager. Avec ces informations il peut modéliser des tests à l'aide d'EXAM.

Le générateur d'EXAM génère automatiquement le code Python depuis le modèle créé dès l'instant où il est enregistré dans la base de donnée.

Enfin, le Testeur commence l'exécution du test sur le simulateur HiL et EXAM génère un rapport qui est sauvegardé dans la base de donnée.

---

## CHAPITRE 3

---

### Description détaillée du projet

## Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter le projet de façon détaillée, nous expliquerons chaque fonction du système dont la fonction qui m'a été confiée lors de mon stage.

### 3.1 Système de recharge automatique sans fil AWC

Comme on a pu voir précédemment, PRIMOVE de BOMBARDIER a décidé de réaliser un système de recharge automatique sans fil se basant sur le principe de transfert d'énergie par induction. Pour mieux appréhender le système, on se propose d'expliquer chaque fonction du système AWC.

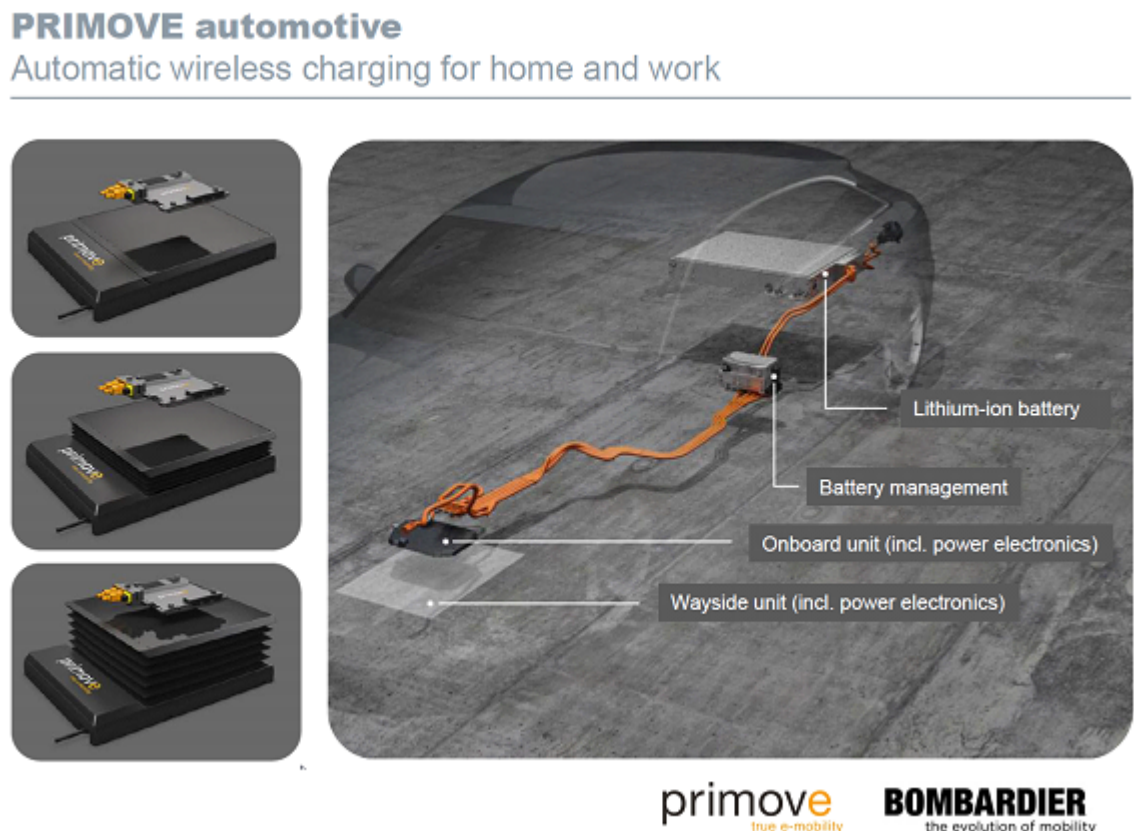


FIGURE 3.1 – Système AWC

Le but du système AWC est de transférer de l'énergie électrique sans fil au véhicule. Ce transfert d'énergie atteint un niveau d'efficacité très haut grâce aux deux composants principaux du système le WSD (Wayside subsystem) qui est la partie statique installé sur la chaussée et connecté au réseau électrique et le deuxième composant le ORU (Onboard Receiving Unit) qui est la partie reliée au véhicule. Le système est équipé d'un logiciel

embarqué basé sur le FrameWork AutoSar pour pouvoir gérer toutes les fonctionnalités du système.

Le système AWC est composé de plusieurs fonctions :

- Les machines à états ORU et Wayside.
- La fonction de Positionnement POS.
- Z-Mover.
- Transfert d'énergie.
- Détecteur de métal (Foreign Objet Detection FOD).
- L'interface Homme-Machine.
- Fonction d'indication d'état LED.
- Protection.
- Communication.
- Diagnostique.
- Sécurité.

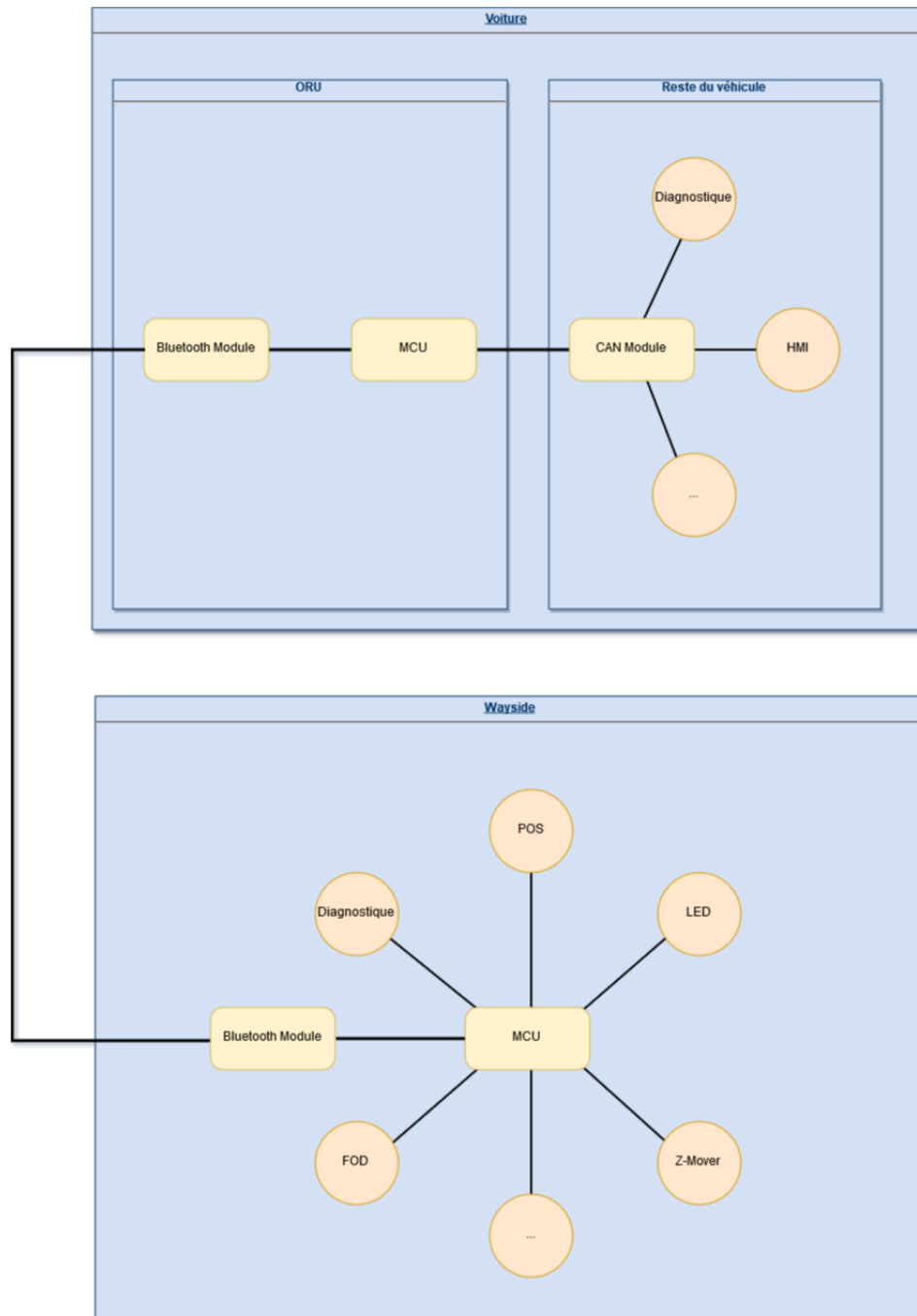


FIGURE 3.2 – Architecture générale AWC

Afin de pouvoir commencer le chargement du véhicule, ce dernier doit être bien positionné au-dessus du Wayside. Un système de positionnement POS est mis à disposition pour aider le conducteur à bien se positionner en affichant la position relative du véhicule au Wayside.

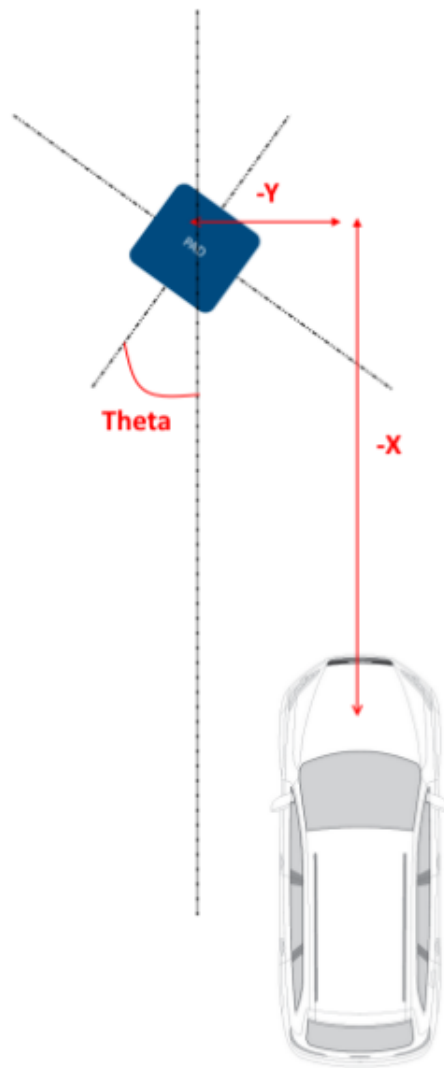


FIGURE 3.3 – Fonction POS

Les objets métalliques atteignent des températures très hautes à cause du champ électromagnétique généré par le système. Donc pour des raisons de sécurité, après avoir bien positionné le véhicule au-dessus du Wayside, le système doit vérifier qu'aucun objet métallique ne se trouve entre l'ORU et le Wayside, pour cela on fait appel au FOD (Foreign Object Detection) ou bien le détecteur d'objet métallique. Ce composant incorporé dans le Wayside permet de détecter les objets métalliques présents au-dessus de lui de distance de 40 millimètres.

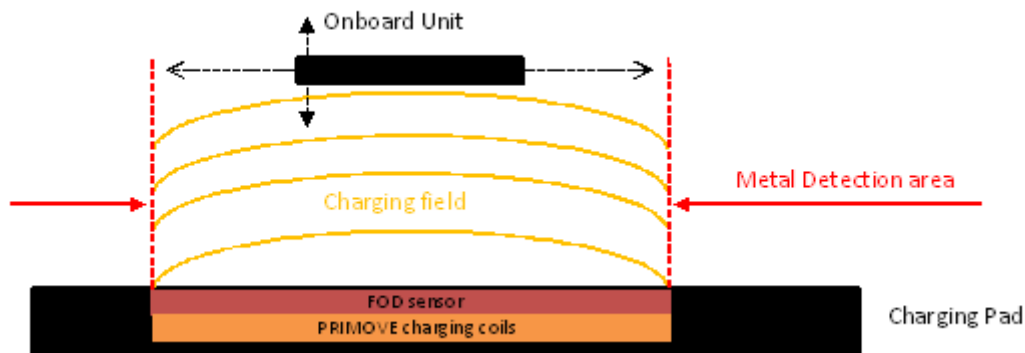


FIGURE 3.4 – Fonction FOD

Quand le système détecte que le champ est clair, il procède à l'étape suivante qui est de soulever la plateforme du Wayside contenant la bobine permettant le chargement du véhicule. Cette étape est primordiale car elle permet au système de réduire la distance entre la bobine principale et secondaire, et par conséquent réduire les pertes du champ magnétique. Le composant responsable de cette action est le Z-Mover, il est à nouveau baissé à la fin du chargement.



FIGURE 3.5 – Fonction Z-Mover

Pendant le chargement du véhicule intervient la fonction « Protection » du système, qui est responsable de désactiver le transfert d'énergie si elle détecte un surplus en tension ou en courant, elle peut aussi diminuer le montant d'énergie transféré quand le système surchauffe.

Pour assurer la communication et la transmission constante d'information entre le Wayside et l'ORU, le système a recours au WCAN (Wireless CAN). Il permet aux deux composants de s'échanger des informations nécessaires pour le bon déroulement du chargement telles que la position du véhicule par rapport au Wayside, la détection d'objet métallique et bien d'autres. La fonction « Sécurité » s'occupe de s'assurer de l'exactitude de l'information transmise via WCAN et de l'identité de l'expéditeur, afin d'éviter toutes mauvaises manipulations et attaques sur le système.

L'interface Homme Machine permet au conducteur de configurer le système AWC tel que se connecter à un Wayside, entrer le code PIN, changer le nom du Wayside. . . . Elle

permet aussi d'assister le conducteur lors du positionnement du véhicule en lui affichant sa position relative au Wayside.

La fonction « LED » indique l'état actuel du système AWC à travers une LED multi couleur placée sur le Wayside.

## 3.2 Fonction Sécurité

Afin de minimiser la probabilité d'une mauvaise utilisation des fonctions du système AWC, la fonction sécurité intervient pour rendre le système robuste.

### 3.2.1 Couche de sécurité

Ce concept de sécurité est réparti en plusieurs couches de mise en œuvre et il est illustré dans la figure suivante :

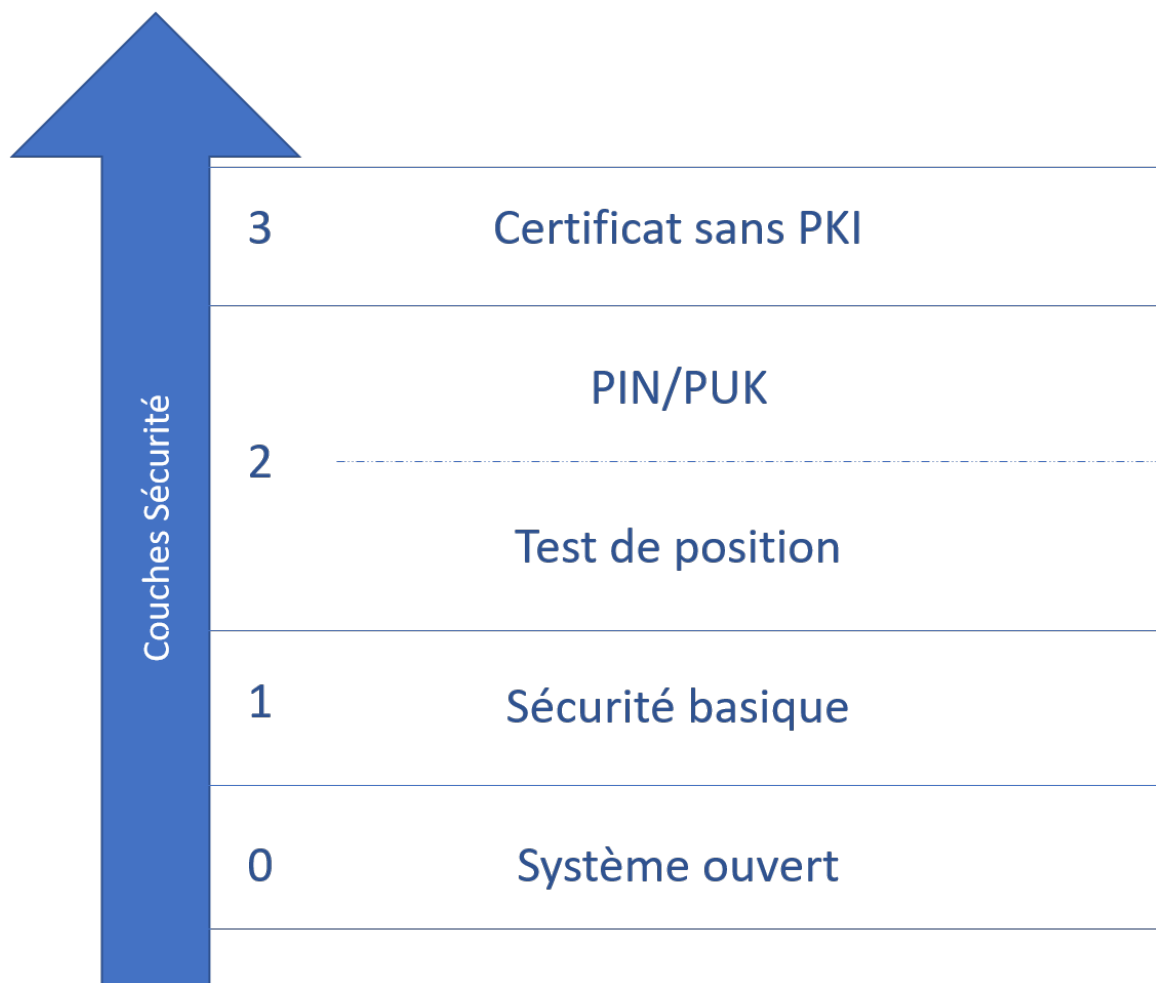


FIGURE 3.6 – Couches concept de sécurité



La couche sécurité niveau zéro définit un système ouvert sans aucune mesure de sécurité, alors que la couche de niveau un implémente un mécanisme de sécurité permettant la connexion au Wayside à travers le Bluetooth Low Energy BLE avec un code qui est fixe.

En plus des mesures de sécurité implémentées dans la couche une, la sécurité du niveau deux nous donne le droit de changer le code utilisé lors de la connexion au Wayside, elle ajoute aussi un mécanisme de sécurité qui ne permet au véhicule de se connecter au Wayside que quand il est bien positionné au-dessus de ce dernier. On peut dire que la couche de sécurité de niveau deux est une extension de celle du niveau un.

La différence la plus frappante entre la dernière couche et l'avant dernière est l'utilisation de la fonctionnalité PIN/PUK. La couche de sécurité de niveau deux utilise le code PIN/PUK pour l'autorisation. Alors que la couche de sécurité de niveau trois doit utiliser le code PIN/PUK pour l'authentification (autorisation spécifique à l'utilisateur). La dernière couche est encore en phase de développement.

Le système Automatic Wireless Charging est donc implémenté avec la couche sécurité de niveau deux.

### **3.2.2 Couche sécurité niveau deux**

Ce concept de sécurité est divisé en plusieurs sous-projets :

- Protocole PIN/PUK.
- Protocole d'appariement.
- Protocole de mise à jour de clé
- Protocole d'établissement d'une connexion sécurisée.
- Protocole de suppression d'appariement.
- Protocole de changement de PIN.

#### **3.2.2.1 Protocole PIN/PUK**

Dans le processus d'authentification des points d'extrémité, les autorisations doivent être obtenues par la méthode SRP (Secure Remote Password), dans laquelle aucune mémoire sécurisée (aucun HSM) n'est disponible pour les points d'extrémité.

Le but de ce protocole PIN/PUK est d'établir un secret partagé commun pour deux partenaires de communication.

En plus de ce protocole, ce secret commun doit être utilisé pour vérifier si les deux partenaires de communication PIN/PUK sont connus ou non, ainsi que pour acheminer les autres messages au bon partenaire ceci prévient les attaques MITM (Man In The Middle).

La méthode SRP (Secure Remote Password) a besoin de plusieurs paramètres<sup>1</sup> :

- N : Nombre premier
- g : Générateur
- s : Salt
- I : Username ou bien Identify
- P : Mot de passe = PIN/PUK
- V : Vérifiant
- k : Multipliant
- B : La clé publique du Wayside
- b : La clé privée du Wayside
- A : La clé publique de l'ORU
- a : La clé privée de l'ORU
- u : Paramètre aléatoire

Pour le fonctionnement, l'utilisateur entre le PIN/PUK à travers l'interface Homme-Machine IHM, (si c'est la première connexion au Wayside, le PIN par défaut est "000000"), si le PIN est correct, l'ORU se connecte au service d'appariement du Wayside et crée une clé de session symétrique commune (SKSRP Common Symmetrical Session Key) selon le protocole SRP en utilisant le PIN comme mot de passe.

Si le système détecte que le code entré par l'utilisateur est bel et bien le PUK, il lui donne accès à l'espace d'administration du Wayside où il peut flasher ce dernier ou bien changer son code PIN.

### 3.2.2.2 Protocole d'appariement

Le véhicule ou bien l'ORU pour être exact, doit initier le processus d'appariement en envoyant une demande au Wayside. Une fois l'orientation et la position du véhicule sont correctes, on utilise l'authentification PIN/PUK pour créer une clé de session SKSRP qui sera utilisée dans le processus d'appariement.

La figure suivante résume ce processus :

---

1. Valeur pour chaque paramètre dans les annexes

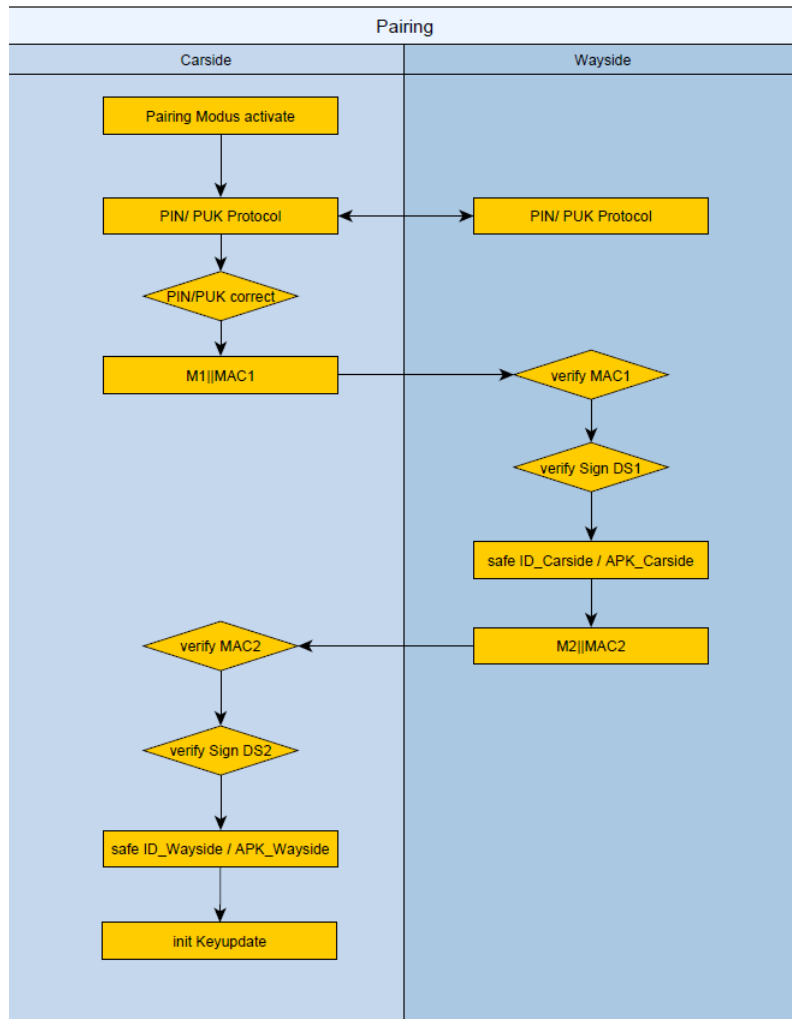


FIGURE 3.7 – Processus d'appariement

Avant de commencer le processus d'appariement, le véhicule doit être bien orienté et positionné :

- La vitesse du véhicule est 0 Km/h.
- Aucun métal détecté entre l'ORU et le Wayside.

Après l'authentification PIN/PUK, l'ORU commence par regrouper son ID, sa clé publique et sa signature dans un message **M1** et le transmet au Wayside sécurisé par MAC (Message Authentication Code).

Lors de la réception de **M1**, le Wayside vérifie la signature du message à l'aide de la clé publique de l'ORU, et stocke de façon permanente son ID dans une liste "Appareil de confiance" TDL (Trusted device).

Même chose mais de façon inverse, le Wayside envoie ses données à l'ORU qui les teste pour stocker l'ID du Wayside dans sa liste à lui.

Une fois le processus d'appariement fini, on commence le processus de mise à jour de

clé.