



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Assistance virtuelle pour le démantèlement de batterie de véhicule électrique

Autor:

MORAL HERRÁEZ, Bruno

GIMENEZ OLAVARRÍA, Blanca

**École Nationale Supérieure
des Arts et Métiers**

Valladolid, Agosto 2025.

TFG REALIZADO EN PROGRAMA DE INTERCAMBIO

TÍTULO: Assistance virtuelle pour le démantèlement de batterie de véhicule électrique

ALUMNO: MORAL HERRÁEZ, Bruno

FECHA: 25/08/2025

CENTRO: Bordeaux-Talence

UNIVERSIDAD: École Nationale Supérieure des Arts et Métiers

TUTOR: MAGNIN Fabien, PERRY Nicolas, SCARAVETTI Dominique

Resumen

Para abordar los desafíos de la mejora de procesos en la industria moderna, la realidad aumentada surge como una solución innovadora. Este proyecto ofrece un análisis profundo de las distintas opciones existentes y presenta una propuesta de implementación específica para el Grupo SUEZ, aplicada al proceso de desmontaje de una batería de vehículo eléctrico.

El estudio examina los elementos clave necesarios para una implementación exitosa, considerando los requisitos del entorno laboral, las exigencias del proceso y el papel de los técnicos. El objetivo es desarrollar una herramienta práctica y eficiente que apoye a los equipos en sus tareas diarias, al tiempo que optimiza el rendimiento operativo.

Abstract

To address the challenges of process improvement in modern industry, augmented reality emerges as an innovative solution. This project provides an in-depth analysis of the various existing options and presents a specific implementation proposal for the SUEZ Group, applied to the process of dismantling an electric vehicle battery.

The study examines the key elements necessary for successful implementation, considering the requirements of the work environment, the process demands, and the role of technicians. The goal is to develop a practical and efficient tool to support teams in their daily tasks while optimizing operational performance.

Mots-clés / Keywords :

Realidad aumentada, batería de vehículo eléctrico, DAO, desmontaje, industria 5.0

Augmented reality, electric vehicle battery, CAD, dismantling. Industry 5.0



Assistance virtuelle pour le démantèlement de batterie de véhicule électrique

Projet d'expertise ENSAM en collaboration avec SUEZ Group

Année 2024-2025

Auteurs :

MORAL-HERRÁEZ Bruno

Encadrants :

MAGNIN Fabien

PERRY Nicolas

SCARAVETTI Dominique

Contact de l'entreprise :

FIGUERES Fabien

Résumé

Pour répondre aux défis d'amélioration des processus dans l'industrie moderne, la réalité augmentée s'impose comme une solution innovante. Ce projet propose une analyse approfondie des différentes options existantes et présente une solution d'implantation spécifique pour le Groupe SUEZ, appliquée au processus de démantèlement d'une batterie de véhicule électrique.

L'étude aborde les éléments clés nécessaires à une mise en œuvre réussie, en tenant compte des besoins liés à l'environnement de travail, aux exigences du processus et au rôle des techniciens. L'objectif est de développer un outil pratique et efficace pour accompagner les équipes dans leurs tâches quotidiennes tout en optimisant les performances opérationnelles.

Abstract

To address the challenges of process improvement in modern industry, augmented reality emerges as an innovative solution. This project provides an in-depth analysis of the various existing options and presents a specific implementation proposal for the SUEZ Group, applied to the process of dismantling an electric vehicle battery.

The study examines the key elements necessary for successful implementation, considering the requirements of the work environment, the process demands, and the role of technicians. The goal is to develop a practical and efficient tool to support teams in their daily tasks while optimizing operational performance.

Mots-clés / Keywords :

Réalité augmentée, batterie véhicule électrique, CAO, démantèlement
Augmented reality, electric vehicle battery, CAD, dismantling

Tableau des matières

Résumé.....	5
Abstract	5
Mots-clés / Keywords :.....	5
1. Contexte et objectif du projet.....	8
2. Planification et besoins du client.....	9
3. Choix de la technologie RV/RA.....	10
4. Introduction à DIOTA.....	11
5. Modélisation 3D	14
5.1. Sélection de la méthode de modélisation	14
5.2. Retour sur l'expérience de la modélisation	14
6. Composants de la batterie	18
6.1. Présentation de la batterie	18
6.2. BMS	20
6.3. Esclave	21
6.4. Module	21
6.5. Connecteurs inter modules	22
6.6. Renforts	22
6.7. Fusibles.....	23
6.8. Resistance de précharge	23
6.9. Relais.....	24
6.10. Service plug.....	24
6.11. Ampèremètre	25
6.12. Autres éléments	25
7. Etapes de démantèlement	26
7.1. Préparation de la batterie et ouverture du carter	26
7.2. Décharge électrique	27
7.3. Démontage des composants	27

7.4. Démontage des modules.....	27
8. Risques et solutions RA.....	28
8.1. Des solutions techniques	28
8.2. Les solutions techniques.....	28
9. Conclusion	30
Annexe 1 : Équipement de protection individuel et protocole de sécurité dans le démantèlement d'une batterie.....	31

1. Contexte et objectif du projet

Ce travail se trouve dans le cadre d'une collaboration entre l'Ecole National Supérieure des Arts et Métiers et le LYRE – Centre innovation d'excellence du groupe Suez. L'objectif de ce projet est de tester l'implémentation d'un outil basé sur la réalité virtuelle ou augmentée sur le démantèlement d'une batterie électrique.

Le démantèlement d'une batterie électrique est une opération longue (4-5h avec 2 opérateurs) et dangereuse dû à la présence de composants chimiques et d'un courant de 400V. C'est pourquoi l'utilisation d'une technologie telle que la réalité augmentée peut réduire les risques et augmenter la productivité des opérations.

Initialement, le travail qui nous a été confié devait porter sur une batterie de Renault Zoé. En effet, ce véhicule a été vendu à plus de 268 000 exemplaires, le recyclage de sa batterie est donc un enjeu à venir dans le contexte de neutralité carbone. De plus, la technologie des batteries électriques évolue extrêmement vite, ce qui rend les formations de plus en plus longues et complexes. C'est pourquoi l'utilisation de la réalité augmentée dans le cadre de la formation des opérateurs semble être une solution idéale.

Parallèlement, notre projet a un but éducatif et pédagogique. Il s'agit de notre propre apprentissage et de la découverte d'un nouveau secteur, associé au fait d'être un premier rapport de base pour l'acquisition d'une expertise de la part de l'école. Ce rapport facilitera les notions de base pour comprendre ce monde.

2. Planification et besoins du client

Dans un premier temps, une réunion avec le client et les encadrants a eu lieu pour la mise en contexte du travail à réaliser, une exposition des technologies disponibles et une planification des besoins de chaque partie.

De la part de notre client, notre but est de développer un outil de RV/RA pour le démantèlement, en ayant besoin de tracking. Le client nous a présenté une gamme de démantèlement résumée en exprimant les différents points clés, le besoin de contrôler la sécurité et d'être compatible avec les équipements de protection individuel (EPI) de chaque phase.

De notre part, nous avons demandé un exemple pour pouvoir réaliser la numérisation de la batterie. Premièrement, la propre CAO ou des plans auraient été idéales. En revanche, à cause des mesures de confidentialité de Renault le client n'avait pas la disponibilité de ceci. Postérieurement, nous avons demandé l'accès à une batterie. Néanmoins, cette solution avait un inconvénient, car une batterie ne pouvait pas être dans un espace non conçu pour celle-ci et nous n'avions pas la formation nécessaire pour s'approcher à elle. Finalement, une batterie sans cellules a été demandée pour pouvoir la numériser.

Le client nous avait communiqué que nous aurions la batterie le plus tôt possible. Donc, notre première tâche était de faire une recherche bibliographique, de compréhension de la gamme en attendant à la recevoir.

Finalement, la batterie arriva la première semaine de décembre et la troisième semaine du même mois nous avons eu le permis de l'ouvrir pour travailler dessus.

C'est pour ceci que notre planification a beaucoup changé depuis le début du projet. Nous avons adopté des travaux secondaires sur l'équipement de sécurité et les formations existantes pour cette activité comme une annexe au projet initial afin d'ouvrir un chemin à une nouvelle expertise pour l'ENSAM. Dans un deuxième temps, nous avons dû prendre une décision de réaliser une démo à construire dans les ateliers afin de pouvoir continuer le projet et montrer le fonctionnement aux clients.



Figure 1 : Démo d'une batterie pour un test de RA

3. Choix de la technologie RV/RA

La première tâche à réaliser est le choix de la technologie que nous allons utiliser afin de retranscrire les informations de la gamme de démantèlement.

Avant de sélectionner le matériel, nous devons choisir si nous utiliserons de la réalité virtuelle ou de la réalité augmentée. La réalité virtuelle place l'utilisateur dans un environnement numérique tandis que la réalité augmentée va venir superposer des informations à la vision de l'utilisateur.

Dans notre cas, l'opérateur doit réaliser de nombreuses tâches d'identification de pièces, de prise de mesure et de démontage. L'utilisation d'une réalité virtuelle plongerait l'utilisateur dans un environnement déconnecté des opérations qu'il doit réaliser, ce qui serait un handicap plus qu'une aide. De plus, la réalité virtuelle peut être inconfortable pour certains utilisateurs.

Notre choix se portera donc sur la réalité augmentée car elle permet de superposer des informations à la vision directe de l'utilisateur.

De plus, le support sur lequel est situé la batterie est amovible, ce qui signifie que le positionnement des batteries varie. Cela implique donc que la superposition des informations doit s'adapter, ce qui nécessite un tracking. Une « simple » projection d'information ne suffit pas.

Suite à cette analyse, nous pouvons rajouter les contraintes liées au port des Équipements de Protection Individuelles (EPI). En effet pour le démantèlement des batteries électriques, il est indispensable de porter des chaussures à coque de fibre de carbone (diélectrique), des gants mécaniques et des gants diélectriques ainsi qu'un masque de protection. Le port du masque de protection est incompatible avec le port de lunettes de réalité virtuelle ou augmentée.

Avec ces contraintes, nous pouvons retenir les deux options suivantes : un système projectif (qui va à avoir l'avantage d'avoir une vision directe sur l'objet mais un prix plus élevé) ou un système écran-caméra (tablette type PC inclus).

Une fois que nous avons identifié les contraintes physiques, nous pouvons sélectionner le software que nous allons utiliser. Nous avons à notre disposition 2 logiciels différents : Diota et Arkite. Les deux logiciels sont compatibles avec les deux types d'hardwares que nous envisageons (projection et superposition sur écran). Arkite est plus complexe et il est particulièrement adapté pour réaliser du contrôle, cependant, il est difficile à programmer. Diota, quant à lui, est beaucoup plus simple à prendre en main et il répond à nos exigences à propos de la projection d'information. Donc, nous utiliserons le software Diota.

4. Introduction à DIOTA

DIOTA utilise la technologie de réalité augmentée (RA) et des solutions de tracking pour guider le démontage des pièces avec précision dans des environnements industriels. À l'aide de dispositifs comme des tablettes, des lunettes intelligentes ou des projecteurs, l'outil superpose des instructions en temps réel directement sur l'objet physique. Le tracking garantit que le système identifie la position exacte de l'objet et de l'opérateur, ce qui permet de synchroniser les instructions avec l'environnement. Pour fonctionner, DIOTA nécessite un modèle 3D numérique du produit, une calibration initiale de la zone de travail et un système de caméras ou capteurs pour le suivi des mouvements. C'est pour ceci que notre voie de travail suivante est la reproduction de la batterie du Renault Zoe dans un milieu numérique.

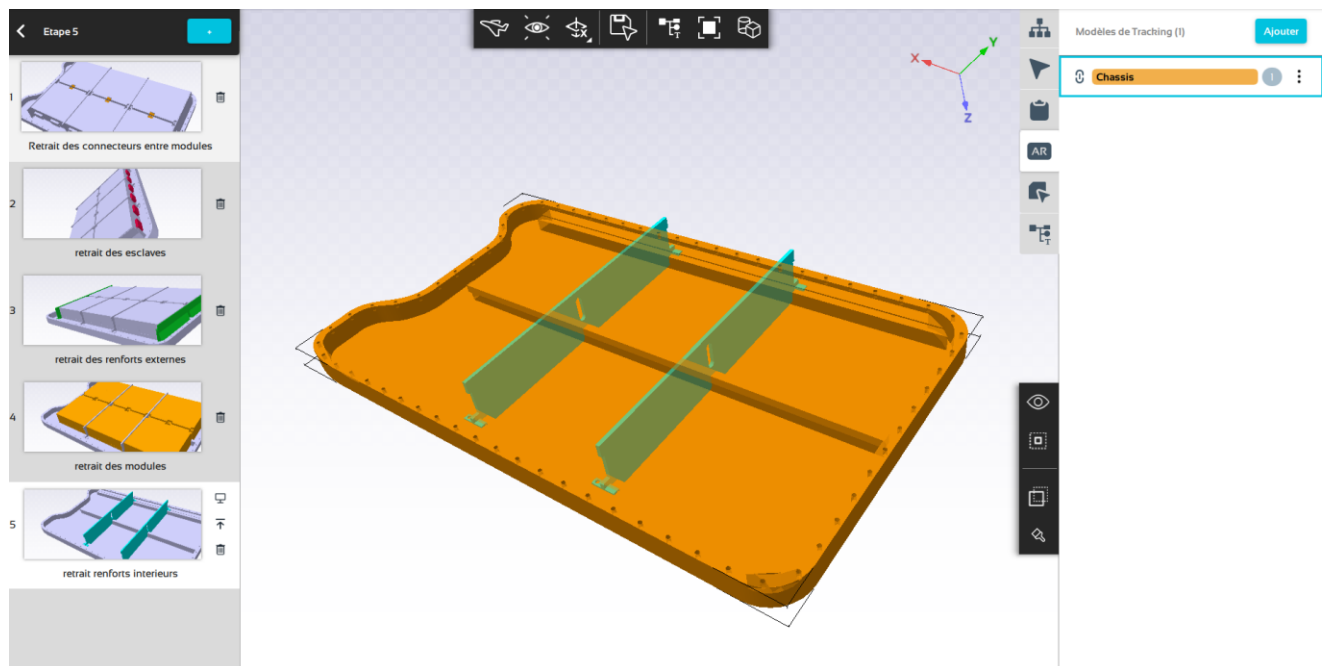


Figure 2 : Exemple du fonctionnement Diota

Sur l'image ci-dessus, nous avons le script de la dernière étape du démantèlement. Nous devons retirer les 2 éléments transparents verts. Le châssis, qui est en jaune, sert d'élément de référence pour le tracking.

Pour chaque étape, nous devons associer sur le logiciel des éléments permettant le tracking et les éléments à retirer. Le logiciel nous permet également d'afficher des informations que ce soit du texte ou des formes.

Nous avons choisi pour chaque étape de rédiger une fiche décrivant les opérations à réaliser. Puis, nous projetons avec une couleur rouge les éléments dangereux : bus bar et connecteurs. D'une autre couleur nous affichons la position des opérations à réaliser. Dans le cas d'une opération de dévissage, nous indiquons la position des vis ainsi que l'embout qu'il faut utiliser.

Afin de tester notre scénario de démantèlement, nous avons réalisé une série de vidéos qui nous servent à entraîner le logiciel Diota à la reconnaissance des différentes pièces.

Pour réaliser ces vidéos, nous avons réalisé un montage en plaçant une caméra zénithale et un ordinateur qui enregistre l'image.



Figure 3 : Montage prévisionnel pour le RA

Puis, nous avons importé ces vidéos dans le logiciel et avons réalisé un entraînement de Diota grâce à ces vidéos. Cet entraînement consiste à superposer les éléments 3D qui servent au tracking à la vidéo que nous avons enregistré.

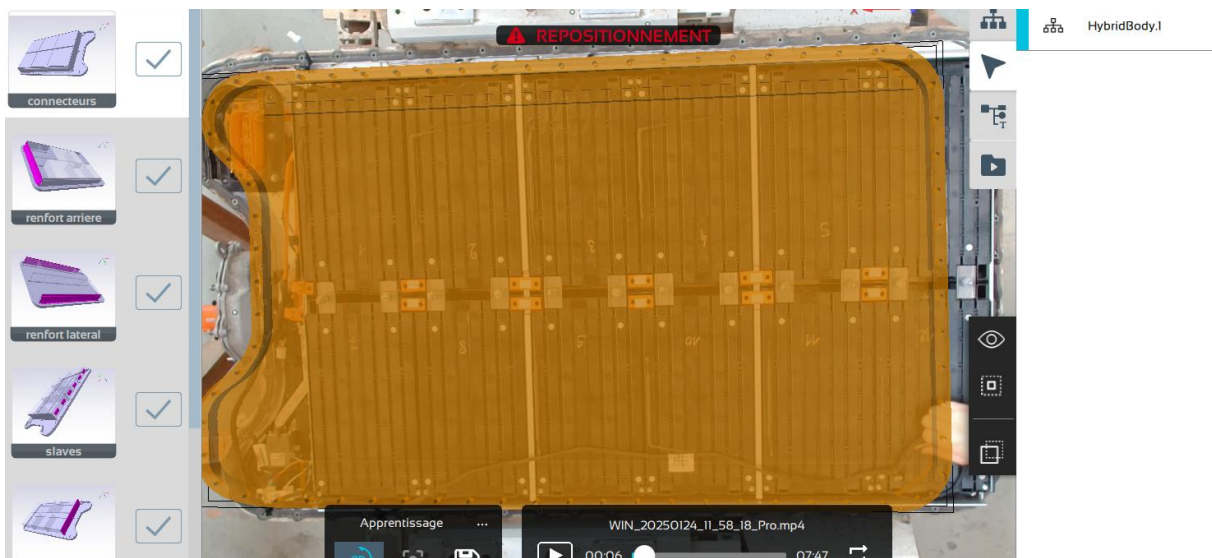


Figure 4 : Image de l'entraînement de DIOTA

Sur l'image ci-dessus, nous voyons en jaune le modèle 3D que nous avons réalisé et en couleur, la vidéo que nous avons pris. Nous venons ajuster la position de l'élément 3D sur la vidéo.

Cet essai nous montre que le choix que nous avons fait d'avoir le châssis comme modèle de tracking ne fonctionne pas car le logiciel ne parvient pas à identifier cette pièce. Pour la suite, nous pouvons penser à utiliser uniquement le contour du châssis comme modèle de tracking.

5. Modélisation 3D

5.1. Sélection de la méthode de modélisation

Afin de reconstruire un modèle 3D capable de :

- Permettre le tracking (« coller » la réalité avec le modèle numérique)
- Permettre suivre chaque phase de la gamme de démantèlement

A partir de ces conditions on va voir les différentes alternatives technologiques pour accomplir ce modèle et puis les restrictions et avantages de chacune. Finalement, nous ferons un choix de stratégie.

- **Scan photo** : Grâce à 300 à 1 000 photos prises d'un objet sous différentes perspectives, l'application parvient à générer un nuage de points représentant la forme de la surface de l'élément.
- **Scan 3D** : À l'aide d'un outil laser calibré, il est possible de balayer la surface d'un objet afin de générer un nuage de points. Cette méthode est plus précise que celle obtenue avec des photos. Cependant, elle est plus coûteuse et nécessite l'utilisation de points de référence sur l'ensemble de la pièce. Cette technologie est particulièrement utile pour les pièces complexes et de grande taille. Le posttraitement de données est un facteur important pour le choix stratégique
- **Mesure et reproduction CAO** : suivi d'un processus de mesure de la cotation plus importante pour définir la forme et la position des éléments fonctionnels d'un point de vue mécanique, la pièce sera reproduite dans un milieu numérique.

Pour chacune des technologies nous avons besoin de soit du modèle CAO fait, soit les plans, soit accès à une batterie pour les deux méthodes de scan.

Après des nombreux problèmes dans l'acquisition d'une batterie vide de cellules notre choix de stratégie sera la suivante :

Pour le casing, qui est une pièce de haute complexité géométrique, notre choix est de faire un scan 3D. Puis, pour le reste de pièces le choix sera de faire une CAO élément par élément.

Notre but dans ce projet est de réussir à modéliser la plus grande quantité d'éléments pour réaliser une modélisation numérique fidèle.

5.2. Retour sur l'expérience de la modélisation

Pour réaliser la modélisation des pièces dans le cadre de notre projet, nous avons adopté différentes approches en fonction de la complexité des géométries. Les composants internes de la batterie, comme les relais, les fusibles ou encore les esclaves, présentent des formes relativement simples, principalement parallélépipédiques. Ces éléments ont donc été modélisés

manuellement. En revanche, pour des pièces plus complexes telles que le châssis ou le casing de la batterie de Renault Zoé, l'utilisation d'un scanner 3D s'est imposée. Cette technologie nous a permis d'extraire un nuage de points pour recréer ces éléments de manière précise.



Figure 5 : Handy Scan utilisé

Malgré son utilité, le scanner 3D a révélé plusieurs limites qui ont nécessité des ajustements dans notre méthode de travail. Tout d'abord, la géométrie particulière de certaines pièces a posé des problèmes d'accessibilité. Par exemple, la boîte creuse formée par le casing, avec ses changements brusques de section, n'a pas permis d'obtenir des scans de qualité uniforme. La taille du scanner limitait également le positionnement des lasers, rendant certaines zones inaccessibles, créant donc des trous dans le modèle numérique.

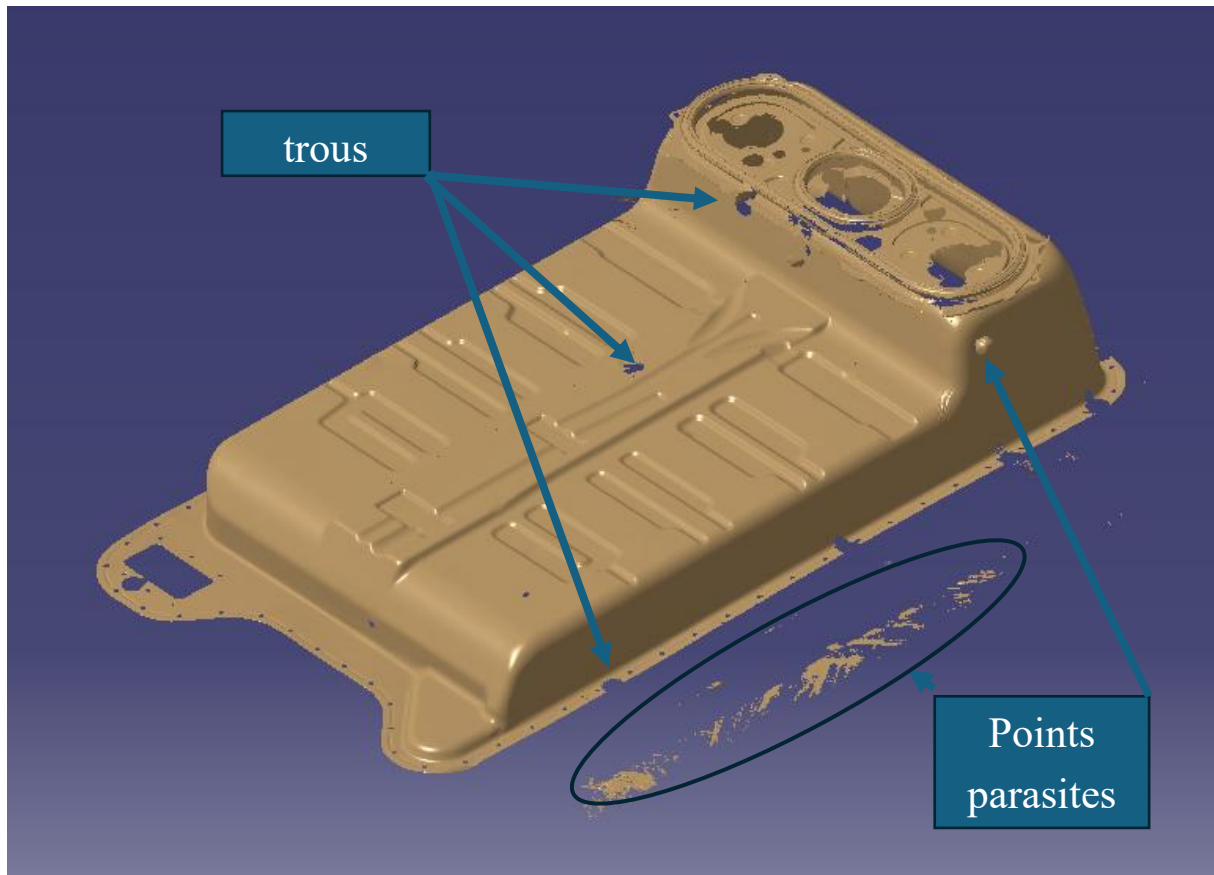


Figure 6 : Résultats du scan du carter

En plus de ces contraintes géométriques, la qualité du nuage de points obtenu n'était pas optimale pour générer directement une surface exploitable. Bien que la pièce soit d'une seule couleur, minimisant ainsi les problèmes liés au réglage des lasers, le nuage présentait des trous et des ruptures dans la géométrie, nécessitant une étape de réparation. Nous avons également dû prendre en compte l'environnement de travail : pour éviter de capturer des points provenant de la table de travail, nous avons surélevé la pièce. Cependant, cette solution n'était pas parfaite et a nécessité un traitement supplémentaire pour isoler la pièce du reste du scan.

Pour résoudre ces problèmes et rendre les scans exploitables, nous avons opté pour une méthode de reconstruction basée sur l'extraction de sections. Ces sections, choisies de manière empirique, ont permis de recréer progressivement la géométrie de la pièce sous forme de surfaces. Les données issues du scanner ont été exportées au format STL et traitées dans Catia V5, un logiciel que nous maîtrisons. Nous avons pu réparer les nuages de points, fermer les trous et générer des surfaces adaptées aux exigences du projet.

Malgré les difficultés rencontrées, nous avons réussi à atteindre, et même à dépasser, notre objectif de précision initial, qui était de l'ordre de 2 à 3 mm. Le niveau de détail obtenu a permis une modélisation fidèle et pleinement utilisable pour les besoins spécifiques du projet.

Cette expérience a également mis en lumière plusieurs points d'amélioration pour nos futurs travaux. Les contraintes du scanner utilisé, notamment sa taille et ses réglages, ont montré leurs limites sur des pièces complexes. À l'avenir, un scanner portable ou un bras articulé pourrait faciliter la capture de zones difficiles d'accès. Le choix des sections à reconstruire, pourrait être optimisé en suivant une méthode plus systématique ou en utilisant des outils d'automatisation.

Enfin, nous avons identifié plusieurs pistes d'amélioration, comme une meilleure préparation des pièces pour éviter les interférences avec l'environnement, ainsi qu'un approfondissement de nos connaissances sur les outils de traitement des nuages de points. L'utilisation d'un scanner plus performant ou mieux adapté pourrait également permettre d'obtenir des résultats plus précis avec moins de post-traitement.

En conclusion, ce retour d'expérience met en évidence les défis que nous avons rencontrés lors de l'utilisation d'un scanner 3D, mais également les solutions que nous avons mises

6. Composants de la batterie

Pour la caractérisation des éléments et la postérieure réalisation de la numérisation il est important de comprendre le système dont on va travailler. C'est pour ceci qu'on va faire une analyse composant par composant pour comprendre son fonctionnement et les différents circuits présents. Connaître l'activité et l'ensemble est très important pour donner des instructions précises de la sécurité et des endroits d'haute tension.

6.1. Présentation de la batterie

La batterie d'un véhicule électrique a, dans son intérieur, deux circuits différenciés :

- **Circuit de puissance (400V) :** ce circuit est composé par tous les éléments qui vont permettre de guider l'énergie des cellules en série jusqu'au connecteur final. Dans ce circuit il y a des éléments de sécurité et le circuit parallèle de démarrage duquel nous parlerons plus tard.

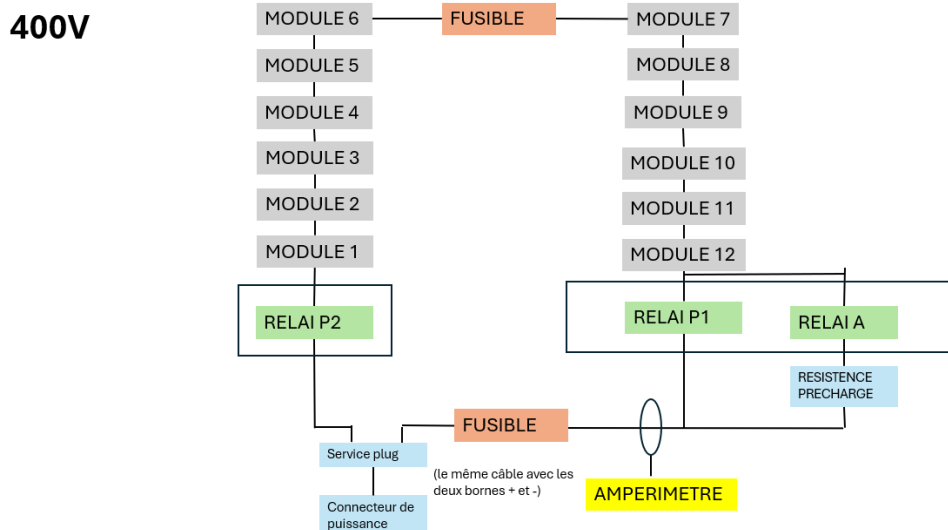


Figure 7 : Schéma circuit d'haute tension de la batterie

- **Circuit de communication CAN :** ce circuit sert à la communication de tous les éléments vers la BMS (Battery Management System). Celle-ci va coordonner toutes les activités de la batterie et va émettre des signaux vers le reste de la voiture. Ce circuit est un bus CAN, dans ce type de circuits l'information est codée en binaire avec des signaux CAN_High (3.5V -1) et CAN_Low (1.5 V - 0). Chaque information de chaque calculateur vient précédé par un identifiant du calculateur que l'envoi et chaque calculateur peut recevoir information d'une série d'identifiants précis.

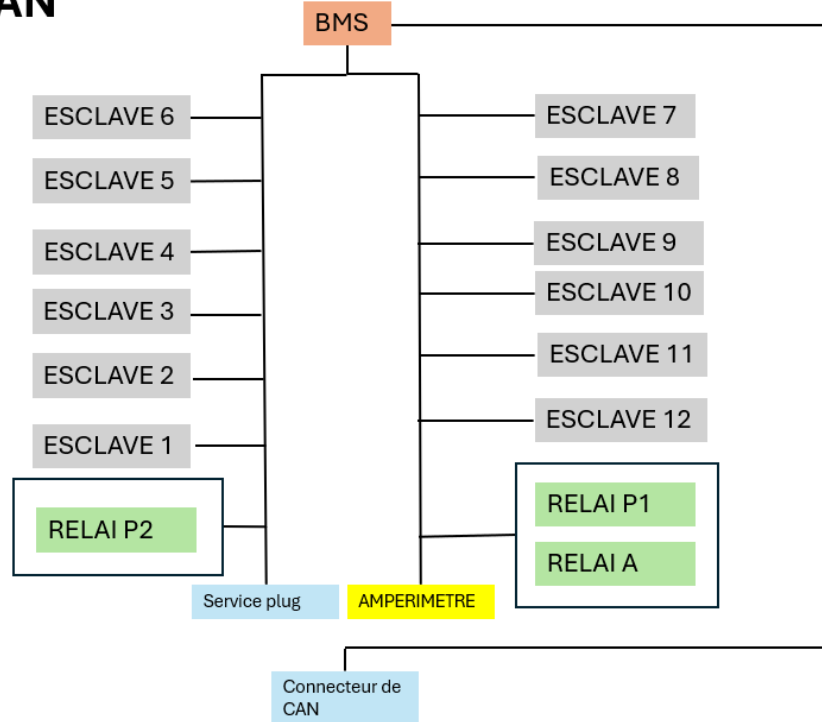
CAN

Figure 8 : Schéma du circuit de communication.

Les figures 9 et 10 sont des captures d'écran de la CAO modélisé sur Catia V5. La CAO comprend l'assemblage des éléments que nous avons eu le temps de modéliser : châssis, les 4 types de renfort, les deux types de connecteur entre modules, les esclaves et les modules.

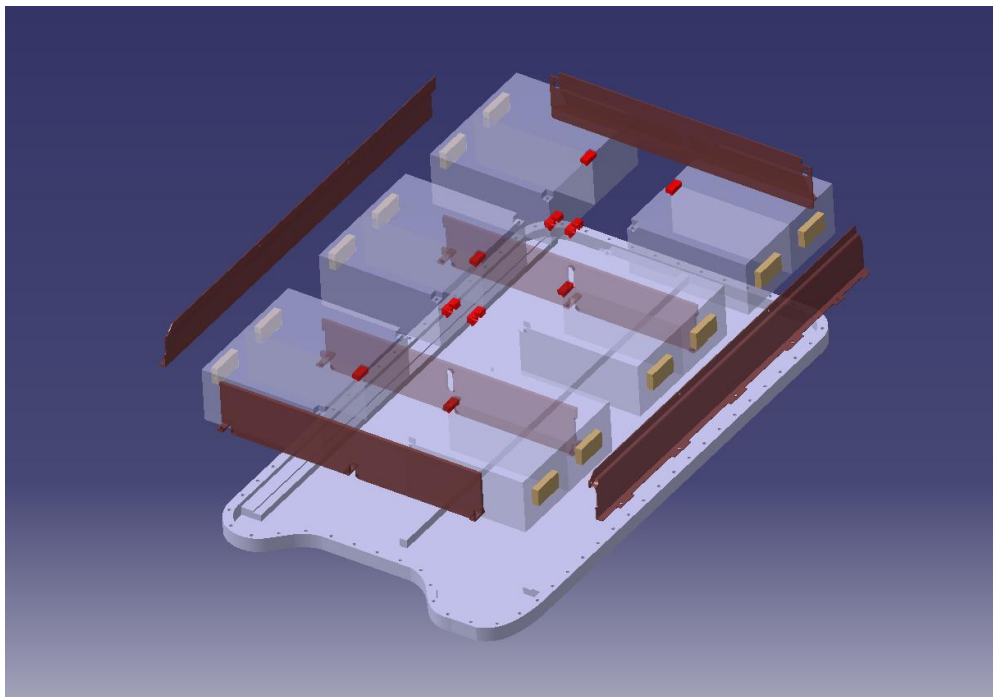


Figure 9 : Modèle CAO, vision des différents éléments reproduites.

Dans l'image 9, les parties en marron correspondent aux éléments structurels, les parties rouges représentent les jonctions entre les modules par lesquels passe le courant de 400V. En jaune, nous voyons les esclaves et en transparent nous voyons les modules.

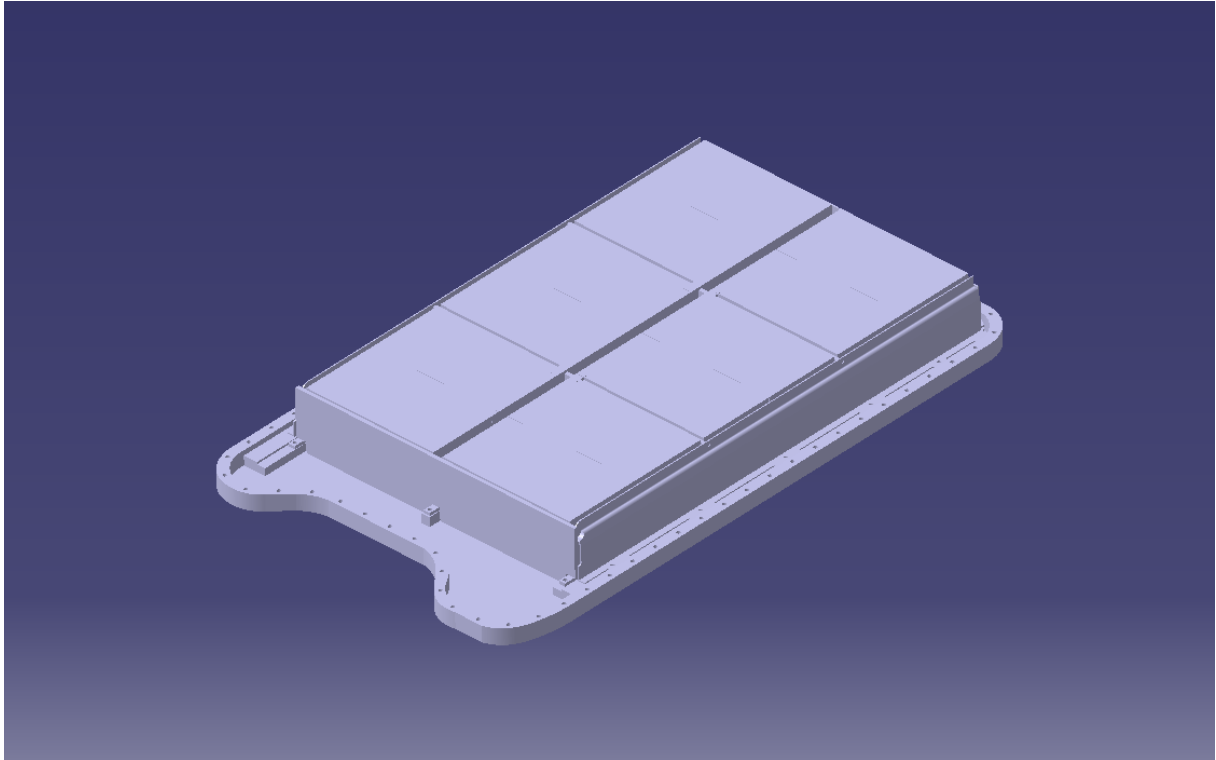


Figure 10 : CAO assemblé des éléments de la batterie

Afin d'approfondir sur les différents éléments de la batterie et comprendre leurs fonctions, nous allons parcourir chaque composant en donnant une explication rapide.

6.2. BMS



Figure 11 : Composant BMS

La BMS est acronyme de Battery Management System. La BMS est chargée de recevoir les données de chacun de esclaves pour, après, pouvoir calculer le SoH (état de santé) et le SoC (état de charge) de la batterie. Elle est aussi chargée de faire l'équilibrage de cellules, les cellules

doivent être à iso voltage. Si une cellule a une tension inférieure au reste provoque une descente de rendement, de capacité d'utilisation et une accélération du vieillissement de la batterie. C'est pour ceci que la BMS va obliger au reste de cellules de se décharger toujours jusqu'au niveau de l'inférieure et puis recharger toutes. Si elle ne réussit pas à se recharger, la voiture sera incapable de redémarrer. Dans ce modèle, la BMS se trouve proche de la cheminée de réfrigération.

6.3. Esclave



Figure 12 : Composant esclave

L'esclave est un sous calculateur qui rassemble les différentes données des capteurs qui équipent les différentes cellules qui vont former un module. Les données ramassées sont les suivantes :

- La température interne de la cellule
- La tension électrique entre bornes

Cette information va être transmise à la BMS via un bus CAN ou CAN/FD

6.4. Module



Figure 13 : Composant casing avec des modules

Le module est un assemblage de cellules qui vont être mises dans une même boîte et contrôlées par un même esclave. Chaque cellule est équipée de capteurs et de résistances pour le contrôle de la charge (équilibre de cellules). Celle-ci va être l'unité plus petite à traiter pendant le démantèlement de la part de SUEZ.

6.5. Connecteurs inter modules

*Figure 14 : Composants, deux types de connecteur entre modules*

Ces connecteurs appartiennent au circuit haute tension et sont chargés de connecter chaque ensemble de cellules. C'est un élément essentiel aussi pendant le démantèlement car ils sont accessibles et ils vont permettre de réduire la tension globale du circuit et comme ça réduire le risque d'arc électrique (même s'il y a des mesures de sécurité et un protocole). Il y a deux types en fonction de s'il y a un renfort qui sépare les modules ou pas.

6.6. Renforts

*Figure 15 : Composants, les quatre types de renforts*

Les renforts sont des éléments présents que dans les premiers modèles de batterie électrique de véhicule. Ce modèle, le Renault Zoe, est avec le Fluence Z.E. et le Twizy (tous sortis au marché en 2011/12) un des premiers voitures Renault électriques. C'est-à-dire, la manque d'expertise en termes de matériaux, de contrôle des déformations des cellules, de résistance vers les vibrations de l'environnement et d'efficacité de refroidissement rendait presque impossible de concevoir une voiture performante sans un système de renforts autour des cellules. Actuellement, l'industrie s'est développée et les nouvelles batteries n'ont plus besoin de ces éléments en construisant des batteries plus compactes et effectives. Il faut mentionner que le système de refroidissement de cette batterie est pneumatique et que les renforts intermédiaires ont un trou pour avoir précisément cette circulation.

6.7. Fusibles

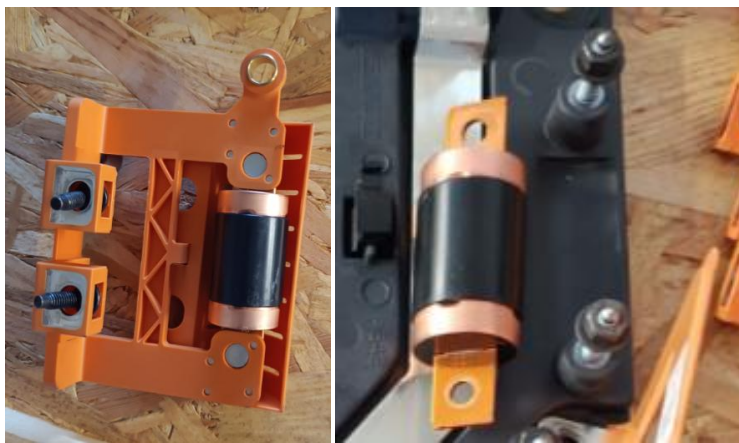


Figure 16 : Composants, deux types de fusibles

Les fusibles sont des éléments purement de sécurité et de contrôle de risques pendant le fonctionnement de la batterie. Ils vont casser avant tout le reste des éléments pour pouvoir conserver les composants plus coûteux sans dommage au cas où il arrive une défaillance. Les deux sont situés dans le circuit de puissance, une entre les deux ensembles de modules, derrière la cheminée de refroidissement (Image 6, gauche) et l'autre entre les éléments d'électronique de puissance.

6.8. Resistance de précharge



Figure 17 : Composants, résistance de précharge

Le circuit où la batterie est placée à une puissance inductive très élevée dû à la présence du moteur électrique. C'est pour ceci qu'en parallèle du moteur un condensateur est mis. Le problème radique dans la présence de ce condensateur lors du démarrage. Un condensateur sans charge à un comportement d'un court-circuit, et ce court-circuit brûlera les composants à chaque démarrage.

L'idée menée est d'inclure une résistance dans le circuit qui permettra lors du démarrage (premiers 300 ms) pour contrôler l'intensité de courant du circuit.

6.9. Relais



Figure 18 : Composants, deux types de relais

Les relais sont essentiels dans la batterie car ils vont permettre de faire le démarrage de la voiture sans court-circuit. Les relais vont permettre de switcher entre les deux circuits, celui de rechargement avec la résistance de précharge et celui qui sert en fonctionnement normal.

6.10. Service plug

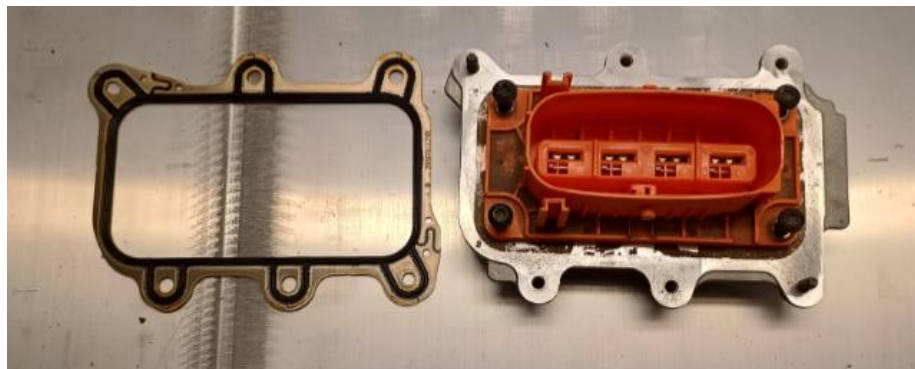


Figure 19 : Composants, service plug

Le service plug est un élément crucial dans le processus de désactivation de la batterie, il fonctionne comme l'interrupteur de la batterie. Les deux bornes de la batterie sont connectées à ce composant avant de sortir de la batterie. Enlever la partie supérieure du service plug va

séparer les connecteurs extérieurs de la batterie en l'isolant et en permettant de cette manière qu'un technicien puisse agir pour la consigner.

6.11. Ampèremètre



Figure 20 : Composants, ampèremètre

L'ampèremètre est connecté à la BMS pour transmettre l'intensité de courant à travers d'une signal CAN ou CAN/FD. Celle-ci va entourer un bus bar (câblage du circuit haute tension).

6.12. Autres éléments

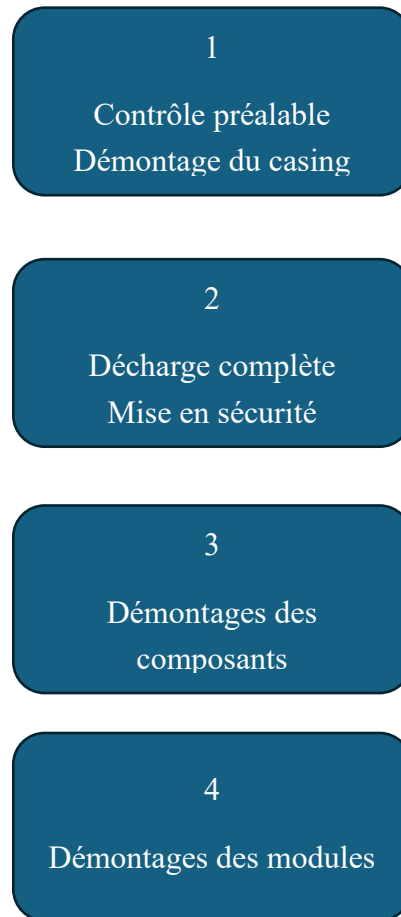
Des autres éléments présents dans une batterie sont :

- La caisse.
- Le châssis (deux pièces avec un grande complexité géométrique et avec le but de réunir tous les éléments et les isoler du reste de la voiture).
- Les bus bar et câblage CAN qui vont permettre d'unir tous les éléments des deux circuits.
- Et finalement les connecteurs extérieurs CAN et puissance.

Dans des nouveaux modèles nous trouverons plus d'éléments de sécurité et de fonctionnement. Ils sont équipés d'un capteur de pression et une valve de décharge. En plus, il y a des nouveaux types de réfrigération, donc pour ceux-ci il y aura un calculateur lié à l'entrée de fluide.

7. Etapes de démantèlement

Dans cette partie, nous allons présenter dans les grandes lignes les différentes étapes du démantèlement de la batterie. Nous présenterons également la différente opération liée a la sécurité.



7.1. Préparation de la batterie et ouverture du carter

Pour garantir la sécurité des opérateurs lors de l'ouverture du carter, il est indispensable de réaliser des prises de tension préliminaires sur la batterie. Ces mesures permettent de vérifier que tous les modules sont prêts à être exposés. L'utilisation de la réalité augmentée offre un avantage dans cette étape, en guidant les opérateurs sur les broches spécifiques où mesurer la tension. Cela permet de réduire les erreurs humaines et d'accélérer le processus.

Concernant le décollement du carter, les vis étant facilement identifiables, l'intérêt d'un guidage avec de la réalité augmentée est moindre.

7.2. Décharge électrique

La batterie doit être complètement déchargée avant toute manipulation. A cette fin, l'opération nécessite l'utilisation d'un appareil de décharge spécifique. Cet appareil doit être connecté à la batterie après déconnexion préalable du réseau électrique interne.

Lors de l'opération de décharge, il faut assurer une surveillance permanente sur la batterie afin de pouvoir déclencher les systèmes de sécurités en cas de besoin. Ce monitorat est assuré à l'aide d'une caméra thermique.

Pour cette opération, le recours à la réalité augmentée pourrait permettre de centraliser les données provenant des équipements (comme la caméra thermique, les multimètres, et l'appareil de décharge), offrant ainsi une vue d'ensemble en temps réel et simplifiant le processus et augmentant la sécurité.

Une fois la décharge achevée, il faut réaliser un court-circuit sur la batterie pour garantir une tension nulle, en connectant un câble pour fermer le circuit électrique.

7.3. Démontage des composants

Les composants internes de la batterie sont ensuite retirés un par un dans un ordre prédéfini pour minimiser les risques de court-circuit, d'endommagement et de blessure des opérateurs. À chaque étape, un système de projection pourrait être utilisé pour optimiser le processus. Cette technologie permettrait d'indiquer précisément les zones à démonter et les outils nécessaires, réduisant ainsi le temps de l'opération et les erreurs.

7.4. Démontage des modules

La dernière étape consiste à retirer les renforts et les modules de la batterie. Cette opération est particulièrement délicate, car chaque module peut peser jusqu'à 18 kg.

8. Risques et solutions RA

8.1. Des solutions techniques

Le démantèlement des batteries est une opération complexe et dangereuse en raison des risques chimiques et électriques qu'elles présentent. Les cellules chimiques contenues dans ces batteries sont susceptibles de provoquer des explosions, des incendies ou des émissions de gaz toxiques en cas de mauvaise manipulation ou de dysfonctionnement.

Les batteries contiennent des électrolytes inflammables et des composés chimiques hautement réactifs. En cas d'endommagement physique même léger, de surchauffe ou de court-circuit, ces composants peuvent mener à une réaction en chaîne et peuvent finir par s'enflammer.

D'autre part, le feu n'est pas le seul risque chimique, car lorsqu'une batterie chauffe ou subit une réaction chimique incontrôlée, elle peut libérer des gaz dangereux. Nous avons notamment la présence d'hydrogène qui est hautement inflammable et explosif, mais également du fluorure d'hydrogène (HF) qui est un gaz toxique issu de la décomposition des électrolytes. Il y aura aussi des dioxines qui sont générées par la combustion de certains plastiques et isolants. Ces gaz, en plus d'être nocifs pour les opérateurs, peuvent entraîner des explosions secondaires en présence d'une source d'inflammation et d'un espace confiné.

De plus, avec l'évolution de la technologie, les batteries tendent à être de plus en plus puissantes donc de plus en plus dangereuses. La question de la sécurité est donc un point central lors du démantèlement des batteries.

8.2. Les solutions techniques

L'utilisation de caméras thermiques peut être envisagée pour surveiller la température des modules pendant le processus de démantèlement. Ce dispositif permettrait de détecter des points chauds avant que la pièce ne soit trop chaude pour être manipulée et donc de permettre mettre une intervention rapide pour isoler la ou les cellules suspectes. Ce processus peut être assez facilement intégré dans le cas de l'utilisation de la réalité augmentée.

Aujourd'hui il n'existe qu'une seule méthode efficace pour contenir cet incendie : submerger les éléments chimiques dans de l'eau. Cela permet d'éviter la propagation de la chaleur et donc de l'incendie mais également de réduire l'émissions des gaz.

Afin de prévenir ces risques, des manipulations et relevés de tension peuvent être effectués. Et c'est dans ce cas que la réalité augmentée peut permettre un meilleur suivi des opérations réalisés par les ouvriers. Nous pouvons imaginer un système d'inspection préliminaire avec les caméras de notre installation afin de constater des dommages externes et visibles. Le système de projection permet de mettre en évidence les zones sensibles, ce qui va améliorer la sécurité pour l'opérateur.

Le port d'EPI adaptés est un premier élément de sécurité qu'il faut respecter. Toutes les normes de sécurités sont détaillées en annexe 1.

9. Conclusion

Ce projet nous a permis d'approfondir notre compréhension des batteries de véhicules électriques et des principaux risques qu'elles présentent, notamment les dangers chimiques et électriques. Nous avons également découvert certaines techniques de rétro-ingénierie pour remodeliser les différents composants d'une batterie.

Par ailleurs, nous avons découvert les avantages de la réalité augmentée liée aux processus industriels, même si le manque de temps ait limité notre travail. Cependant, nous pensons qu'un approfondissement de ce travail peut permettre une meilleure intégration de la réalité augmentée dans le démantèlement des batteries.

Afin d'améliorer la productivité et la sécurité, nous proposons d'envisager l'utilisation de bras robotiques pour certaines étapes spécifiques, comme celle du dévissage du carter. Un bras robot zénithal, par exemple, pourrait réduire le temps de traitement. Cette solution est d'autant plus pertinente que le risque de court-circuit est limité lors de ces opérations, les éléments électriques étant protégés sous le carter.

En conclusion, ce projet a posé les bases d'une démarche innovante et sécurisée pour le démantèlement des batteries, tout en identifiant des perspectives d'amélioration, notamment par l'intégration d'outils robotiques et une exploration plus poussée de la réalité augmentée.

Annexe 1 : Équipement de protection individuel et protocole de sécurité dans le démantèlement d'une batterie

Lors du démantèlement de la batterie de voiture, c'est crucial suivre un protocole de sécurité et avoir les équipements pertinents pour l'activité. En termes d'équipement ce que c'est précisé dans la norme NF C 18-550 du 22 août 2015 sur « Opérations sur véhicules et engins à motorisation thermique, électrique ou hybride ayant une source d'énergie électrique embarquée Prévention du risque électrique » :

« Les conditions de mise en œuvre, le choix et l'utilisation des EQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE (EPI) sont définis par l'EMPLOYEUR après analyse du RISQUE, en suivant les principes généraux de prévention. »

Les éléments disponibles et recommandables selon l'INRS sont les suivantes :

Gants diélectriques : offrent une protection individuelle contre les chocs électriques lors de travaux sous tension ou au voisinage de parties actives. Ils doivent être certifiés selon la norme NF EN 60903. Les gants doivent être adaptés au niveau de tension (classe 00 – 500 V c.a. à classe 4 maximum – 36 KV c.a.).

CLASSE	TENSION ALTERNATIVE EFFICACE (VEFF)	TENSION CONTINUE (V)
00	500	750
0	1 000	1 500
1	7 500	11 250
2	17 000	25 500
3	26 500	39 750
4	36 000	54 000

Il existe des gants isolants en latex sans protection mécanique et des gants composites avec protection mécanique. Ces derniers se reconnaissent à leur symbole spécifique : .

Les gants 100 % latex (avec ou sans surgants) ne sont pas adaptés pour le travail en présence d'un risque d'arc électrique, il faut leur préférer les gants composites.

Il est recommandé de porter des sous-gants en coton pour des raisons d'hygiène et de confort, et des surgants en cuir notamment sur les gants en latex pour protéger des risques mécaniques et chimiques qui pourraient altérer les capacités d'isolation (lacérations, perforations, abrasion...).



Surgants en cuir



Gants isolants

Écran facial/ casque isolant : l'écran facial protège des arcs électriques jusqu'à une certaine valeur d'énergie. Il est certifié selon la norme NF EN 166. Un écran ou porte-écran assurant la protection contre l'arc électrique et ses effets thermiques doit comporter l'indication de sa résistance à l'arc électrique de court-circuit matérialisé par le chiffre 8 (cf. « Exemple de marquage » ci-dessous). Il peut également figurer sur le marquage une valeur dite « ATPV » (qui représente l'énergie thermique maximale pouvant être supportée par l'écran) dont l'unité est donnée en cal/cm². L'écran doit également protéger des effets de la projection de particules solides (symbole complémentaire devant figurer sur le marquage : « F » pour la basse énergie, « B » pour la moyenne énergie ou « A » pour la haute énergie). Des écrans teintés sont recommandés pour une protection supplémentaire contre l'impact de la lumière vive et le rayonnement UV. Le casque isolant (jusqu'à 1 000 V) et antichoc protège en cas de chute d'objet, de choc à la tête ou de projection de particules en fusion (certifié selon les normes NF EN 50365 et NF EN 397).



Ecran de protection ARC Flash



Casque de protection avec écran facial intégré

$V > 1000V$ $V < 1000V$

Les chaussures ou bottes isolantes : elles isolent une personne du sol en cas de contact direct ou indirect de manière que le courant ne puisse la traverser. Elles protègent également le pied contre un contact direct avec une pièce nue sous tension. Elles sont certifiées selon la norme NF EN 50321-1 et doivent être adaptées au niveau de tension (classe 00 – 500V c.a à classe 4 maximum – 36KV c.a) et assurent une protection contre la tension de pas ou la tension nominale. Les chaussures doivent être utilisées exclusivement en milieu sec.



Chaussures



Bottes

Les vêtements isolants : ce sont les vêtements de travail, qui ne sont pas des EPI et qui ont pour objectif de protéger le corps contre les risques généraux. Ces vêtements de travail sont adaptés aux opérations hors tension et hors voisinage. Ils sont en coton ignifugé ou similaire avec manches longues, fermeture éclair en plastique et fermeture totale jusqu'au haut du cou. Ils ont pour but d'empêcher un courant dangereux de traverser les personnes lorsqu'il existe un risque de contact involontaire avec une partie sous tension. Dans le domaine de la basse tension, ces vêtements doivent se conformer à la norme NF EN 50286 et comporter une indication de la classe de niveau de tension (classe 00 – 500 V c.a).



Les documents fournis par Suez nous indiquent que pendant leur activité de démantèlement ils utilisent :

- Casque avec visière ou lunettes de protection.
- Vêtement de travail couvrant l'intégralité du corps.
- Gant de protection mécanique EN388.
- Gant de protection électrique class 00.
- Chaussures de sécurité isolante.

Pour le démantèlement de la batterie les phases sont les suivantes :

Préparation :

- Mesure de la tension
- Retrait des joints d'isolation et protections électromagnétiques

Ouverture du casing supérieur :

- Dévissage des fixations
- Décollement du casing
- Retrait du casing

Décharge électrique :

- Déconnection des liaisons électriques
- Vérification de la polarité des bornes et lancement de la caméra thermique
- Mise en route de l'équipement de décharge
- Paramétrage de la décharge et lancement
- Arrêt de la décharge + contrôle de la tension et de la température
- Court-circuit de la batterie (consignation)

Arrêt de la phase de décharge si :

- Bruit d'éclatement
- Augmentation de la température à plus de 75°C au niveau de la batterie et 100° du câble
- S'il y a de la fumée ou odeur

Finalement faire mention de qui, selon la norme NF C 18-550 du 22 août 2015 peut agir et dans quelles conditions :

« 11.3 Manipulation des batteries (services, servitudes, traction) »

Lorsque les bornes des BATTERIES sont protégées, il n'y a pas de RISQUE électrique.

Lorsque les bornes des BATTERIES ne sont pas protégées, aucune manutention ne peut être entreprise avant d'avoir mis en œuvre les mesures de protection adaptées pour supprimer le RISQUE électrique.

- *Sur une BATTERIE de TENSION $U \leq 60 \text{ V c.c.}$, pour supprimer le RISQUE de court-circuit, la pose de protections adaptées doit être réalisée à minima par une PERSONNE AVERTIE ;*
- *Sur une BATTERIE de TENSION $U > 60 \text{ V c.c.}$, pour supprimer le RISQUE de contact et de court-circuit, la pose de protections adaptées (IP2X ou IPXXB), doit être réalisée par un OPERATEUR habilité à minima symbole B2XL Opération batterie. »*

« Personne avertie »

Personne formée et informée par des PERSONNES QUALIFIEES pour lui permettre d'éviter les dangers que peut présenter l'électricité dans l'exercice de son activité »

Finalement, mentionner les niveaux d'habilitation selon la norme :

Niveaux d'habilitation :

B1XL : Destinée aux exécutants réalisant des travaux d'ordre électrique sur le réseau électrique du véhicule.

B2XL : Conçue pour les chargés de travaux organisant et supervisant des interventions électriques sur ces véhicules.

Ces habilitations s'obtiennent en suivant des formations spécifiques conformes à la norme NF C18-550. Par exemple, le CNFCE propose une formation de deux jours pour l'obtention des habilitations B1XL et B2XL, obligatoire pour tout personnel amené à travailler à proximité de pièces nues sous tension sur un véhicule électrique ou hybride.

Plusieurs centres agréés offrent ces formations, tels que le CNFCE, Purple Campus, DAF Conseil et CEPIM.

À l'issue de la formation, les participants reçoivent une attestation d'habilitation électrique correspondant au niveau suivi (B1XL ou B2XL). Cette certification atteste de leur capacité à intervenir en toute sécurité sur des véhicules électriques ou hybrides, conformément aux exigences réglementaires.

Il est recommandé de contacter directement les organismes de formation pour obtenir des informations détaillées sur les programmes, les modalités d'inscription et les prérequis éventuels.