

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département Génie Mécanique



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Construction Mécanique
Thème

Contribution à l'étude numérique de l'échauffement des batteries des voitures électriques

Présenté Par :

- 1) M. YOUNES SOUFIANE
- 2) M. ELAFIFI ILIES

Devant le jury composé de :

Dr. Belhennini Soufyane	MCA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr. Amirat Mohamed	PR	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Dr. Beloufa Amine	M C A	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant

Année Universitaire 2021/2022

REMERCIEMENT

❖ YOUNES SOUFIANE

Je tiens à remercier mon encadreur **Mr BELOUFA AMINE** pour l'effort qu'il a fait avec nous pour terminer ce travail.

Je remercie également mon père **Mr YOUNES ABDELRAHIM** de m'avoir aidé à faire le stage ainsi qu'à terminer le projet de fin d'études.

Mes sincères remerciements à tous les agents du complexe **GNL1.Z**, qui n'ont pas hésités un instant à m'apporter leurs aides nécessaires, afin de s'intégrer au sein de leur entreprise et à accomplir ma tâche dans les bonnes conditions et qui d'ailleurs ont aussi contribué à la réalisation de ce stage.

Je remercie aussi, le chef service mécanique **Mr FETTOUHLF** et bien sur l'encadreur **Mr FERIHAT ALI** et **Mr KADDID IBRAHIM** pour m'avoir encouragé et soutenu durant toute la durée de ce stage.

Mes remerciements s'adressent aussi aux **DRH Mr SOUABI** pour leurs gentilleses et leurs sympathies.

❖ ELAFIFI ILIES

Je remercie d'abord mes parents et tous les amis qui m'ont soutenu ainsi que mon encadrant et les juristes.

Je remercie également la société Sonelgaz qui m'a donné l'opportunité de passer un stage et d'apprendre.

Je remercie mon binôme de son dévouement.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	9
Chapitre 01	10
Généralités sur les véhicules électriques.....	10
1.1 INTRODUCTION.....	11
1.2 HISTOIRE.....	11
1.3 LES DIFFERENTS TYPES DE VOITURES ELECTRIQUES	12
➤ Les voitures hybrides rechargeables.....	12
Le principe de fonctionnement de la voiture	13
➤ Les voitures à prolongateur d'autonomie	14
Le principe de fonctionnement de la voiture	14
1.4 LES VOITURES TOUT-ELECTRIQUE (LA 100% ELECTRIQUE).....	16
1.4.1 Définition.....	16
1.4.2 Le principe de fonctionnement de la voiture.....	16
1.4.2 Les avantages est les inconvénients.....	19
1.4.3 Exemples des voitures électriques [1.11].....	21
Chapitre 02	24
2.1 DEFINITION D'UNE BATTERIE :	25
2.2 LES PILES NON-RECHARGEABLES.....	26
2.3 LES PILES RECHARGEABLES.....	27
2.4 DIFFERENCE ENTRE LES PILES RECHARGEABLE ET NON RECHARGEABLES.....	28
2.4.1 Utilisation après décharge complète	28
2.4.2Coût	28
2.4.3 Types de batterie	28
2.5 BATTERIES DE VÉHICULES ÉLECTRIQUES.....	28
2.5.1 introduction.....	29
2.5.2 histoires de la batterie des voitures électrique.....	29

2.5.3 types des batteries électriques.....	30
2.5.4 comment choisir la meilleure batterie pour une voiture électrique ?	35
2.6 LE PROCESSUS DE LA FABRIQUATION D'UNE BATTERIE.....	35
2.7 L'ETAPE DE FABRICATION	35
2.8 COMMENT FONCTIONNE LA BATTERIE ?	36
2.9 LES INCONVENIENT DE LA BATTERIE DE VOITURE ELECTRIQUE	36
➤ Autonomie :	36
➤ Recharge :	37
➤ Poids :	37
➤ Sécurité :	37
2.10 LE BILAN ECOLOGIQUE DE LA BATTERIE.....	37
2.10.1 Le Bilan Carbone	37
2.10.2 Le bilan environnemental	37
2.11 QUEL EST LE PRIX D'UNE BATTERIE DE VOITURE ELECTRIQUE	38
2.11.1 À l'achat.....	38
2.11.2 En location	38
2.12 QU'EN EST-IL DE LA DUREE DE VIE DE LA BATTERIE ?.....	38
2.12.1 Quand remplacer sa batterie ?.....	38
2.12.2 Comment sont recyclées les batteries lithium-ion ?	39
2.13 CAPACITÉ DE LA BATTERIE DU VÉHICULE ÉLECTRIQUE [2.4]..	39
2.13.1 La puissance du véhicule – kW	39
2.13.2 La capacité de la batterie – kWh.....	39
2.13.3 La consommation – kWh / 100km.....	39
2.13.4 Autonomie de la batterie – Km.....	40
2.14 LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DES DIFFERENTES BATTERIES	40
2.14.1 Batterie plomb-acide	40

2.14.2 Batterie nickel-hydrogène.....	40
2.14.3 Batterie nickel-cadmium.....	41
2.14.4 Batterie lithium-ion	41
2.15 LES PRIX DES BATTERIES DU VOITURE ELECTRIQUE	41
Chapitre 03	43
3.1 INTRODUCTION.....	44
3.2 DEFINITION DE” SOLIDWORKS “& “ANSYS”	44
3.2.1 SOLIDWORKS.....	44
3.2.2 ANSYS	44
3.3 LA CONCEPTION DE LA BATTERIER	45
3.3.1 La conception des piles	45
3.3.2 La conception des connecteurs	46
3.3.4 Assemblage des piles avec les connecteurs.....	46
3.3.5 La conception du boitier	47
3.3.6 Assemblage des piles avec le boitier	47
3.4 LES DIMENSIONS ET LA GEOMETRIE DE LA BATTERIER.....	47
3.4.1 les dimensions des piles et connecteurs	48
3.4.2 Les dimensions du boitier.....	49
3.4.3 Les dimensions de la batterie.....	50
3.5 PROPRIETES DES MATERIAUX.....	51
3.5.1 Matériaux utiliser pour la simulation	51
3.5.2 Alliage d’aluminium.....	51
3.5.3 Bakélite	51
3.6 CONTACT	51
3.7 MAILLAGE	52
3.7.1 Les éléments utilisés dans ce maillage.....	52
3.8 PROCEDURE DE CALCUL THERMOELECTRIQUE.....	53
3.8.1 convection des piles.....	53
3.8.2 Convection boitier	53

3.8.3 Le courant dans le pôle positive	54
3.8.4 la tension dans le pôle négative	54
Chapitre 04	56
4.1 INTRODUCTION.....	57
4.2 CALCULE DE LA TENSION.....	57
4.3 LA TEMPERATURE DE LA BATTERIE	59
4.4 LES RESULTATS FINAUX.....	72
4.4.1 Commentaire.....	72
4.5 INFLUENCE DE LA TEMPERATURE EXTERNE SUR LA TEMPERATURE MAX DE LA BATTERIE	73
4.5.1 commentaire.....	74
Conclusion générale	75
Résumé :	81

LISTE DES FIGURES

Figure 1:Carriole électrique.....	11
Figure 2:La EV 1 de General Motors	12
Figure 3:le schéma de la voiture hybride rechargeable	14
Figure 4:le schéma de la voiture électrique à prolongateur d'autonomie.....	15
Figure 5:la remorque EP Tender	15
Figure 6:Le schéma de la voiture électrique.....	17
Figure 7:La batterie d'une voiture électrique	18
Figure 8:Le schéma du moteur électrique	19
Figure 9:la différence entre le courant (AC) et (DC)	19
Figure 10:Tesla Model 3	21
Figure 11: Peugeot e-208 électrique.....	22
Figure 12:batterie au plomb	25
Figure 13: A longitudinal section through an alkaline battery	26
Figure 14 : quand une pile se recharge.....	28
Figure 15 : Publicité Automobiles électriques Jenatzy (1899).....	29
Figure 16:Vue de coupe d'une batterie au plomb	30
Figure 17: Batterie Nickel-Cadmium	32
Figure 18: batterie Nickel-Métal Hydrures	33
Figure 19: Batterie lithium-ion.....	33
Figure 20:principe de fonctionnement de batterie lithium	34
Figure 21 : schéma d'une Batterie tout solide	34
Figure 22 : Évaluation comparative des différents coûts du marché des véhicules électriques	42
Figure 23 : présentation de l'interface de SolidWorks	44
Figure 24:l'interface de ansys workbench.....	45
Figure 25 : conception des piles (150 piles).....	46
Figure 26:conception des connecteurs.....	46
Figure 27:assemblage des piles avec les connecteurs	46
Figure 28 : conception du boîtier.....	47
Figure 29: assemblage piles/boîtier.....	47
Figure 30 : dimension de la pile vue dessus.....	48
Figure 31: dimension de la pile vue de face	48
Figure 32: dimension de connecteur.....	49
Figure 33: Vue de face	49
Figure 34 : vue de gauche.....	50
Figure 35: batterie vue de face	50
Figure 36:Le contact entre les surfaces basses des connecteurs et la surface interne du Boîtier	51
Figure 37 : Maillage EF de la batterie	52
Figure 38 : Élément volumique thermoélectrique	53
Figure 39: convection des piles	53
Figure 40 : convection du boîtier.....	54
Figure 41:le courant au pôle positive	54
Figure 42:tension au pôle négative.....	55

Figure 43:tension initiale.....	57
Figure 44 : la nouvelle résistivité obtenue.....	58
Figure 45 : la nouvelle tension	58
Figure 46: températures des piles (convection air naturel (5 W/m ² . K)).....	60
Figure 47: température du boîtier (convection air naturel (5 W/m ² . K)).....	60
Figure 48:le flux de chaleur.....	61
Figure 49 : température des piles (convection air naturel (25 W/m ² . K))	62
Figure 50 : température du boîtier (convection air naturel (25 W/m ² . K)).....	62
Figure 51:le flux de chaleur air naturel MIN.....	63
Figure 52: température des piles (convection air forcée (20 W/m ² . K)).....	64
Figure 53: température du boîtier (convection air forcée (20 W/m ² . K)).....	64
Figure 54 : température des pile (convection air forcée (300 W/m ² . K))	65
Figure 55 : température du boîtier (convection air forcée (300 W/m ² . K))	65
Figure 56 : température des piles (convection huile forcée (60 W/m ² . K)).....	66
Figure 57 : température du boîtier (convection huile forcée (60 W/m ² . K))	67
Figure 58 : température des pile (convection huile forcée (1800 W/m ² . K))	68
Figure 59:température du boîtier (convection huile forcée (1800 W/m ² . K))	68
Figure 60 : température des piles (convection eau forcée (6000 W/m ² . K))	69
Figure 61: température du boîtier (convection eau forcée (6000 W/m ² . K)).....	70
Figure 62: température des piles (convection vapeur en condensation (12000 W/m ² . K))	71
Figure 63: température du boîtier (convection vapeur en condensation (12000 W/m ² . K)).....	71
Figure 64:histogramme des résultats finaux.....	72

Liste des tableaux

Tableau 1:Propriété thermique	51
Tableau 2:Coefficient de transfert thermique.....	59
Tableau 3:nouveau résultat pour un milieu de 50°C	73

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Notre monde assiste à un développement remarquable dans le domaine des voitures électriques et Pour développer les performances des voitures électriques, des experts travaillent au développement de batteries, car elles sont la source d'énergie de ces voitures.

Ce travail a été réalisé l'année précédente par nos collègues et ils ont rencontré des températures très élevés, notre travail consiste à remédier aux problèmes rencontrés par nos collègues.

Effectivement nous avons trouvé des solutions afin de régler le problème de la température élevé on utilisant des fluides adéquat pour refroidir notre batterie, les détails sont sur le chapitre04

Notre travail est le suivant :

Le premier chapitre décrit des généralités sur les voitures électriques :

Dans ce chapitre, on présente un bref historique sur les automobiles électriques, quelques généralités sur les véhicules électriques et sur le principe de leur fonctionnement.

Le deuxième chapitre :

Dans ce chapitre, on donne un aperçu général sur les différents types des batteries électriques et sur leur principe de fonctionnement. Nous avons montré également leurs composantes, leur durée de vie et le temps de leur recharge ainsi les risques qui vont être engendrés durant leur utilisation et leur rechargement.

Le troisième chapitre :

Ce chapitre présente la partie de modélisation et simulation de notre mémoire c'est la partie la plus importante de notre travail.

Donc, on commence par la conception de la batterie à l'aide du logiciel SOLIDWORKS, ensuite nous allons entamer la partie de modélisation numérique par (Workbench Ansys V 18.1), où on va appliquer sur notre batterie les matériaux requises, un maillage fin, le contact thermoélectrique et les conditions aux limites thermiques et électriques.

Le quatrième chapitre :

Sur ce chapitre ont va représenter les résultats de la simulation de la batterie avec l'utilisation des plusieurs fluides pour refroidissement pour obtenir une meilleure solution.

Chapitre 01

Généralités sur les véhicules électriques

1.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous présenterons brièvement l'histoire des véhicules électriques ainsi que ces nombreux types.

On va se focaliser sur véhicule tout électrique pour parler en détail de leur principe de fonctionnement ainsi que leurs points forts et points faibles et quelques exemples disponible sur le marché.

Pour finir on va aborder la dernière technologie dans ce domaine.

1.2 HISTOIRE

Les premiers prototypes de véhicule électrique ont fait leur apparition aux alentours des années 1830 grâce à Robert Anderson, un homme d'affaire écossais a mis au point une sorte de carriole électrique alimentée par des piles non-rechargeables, car il n'y avait pas de batterie rechargeable à cette époque.

Dans cette figure on voit comment ressemble une carriole électrique :

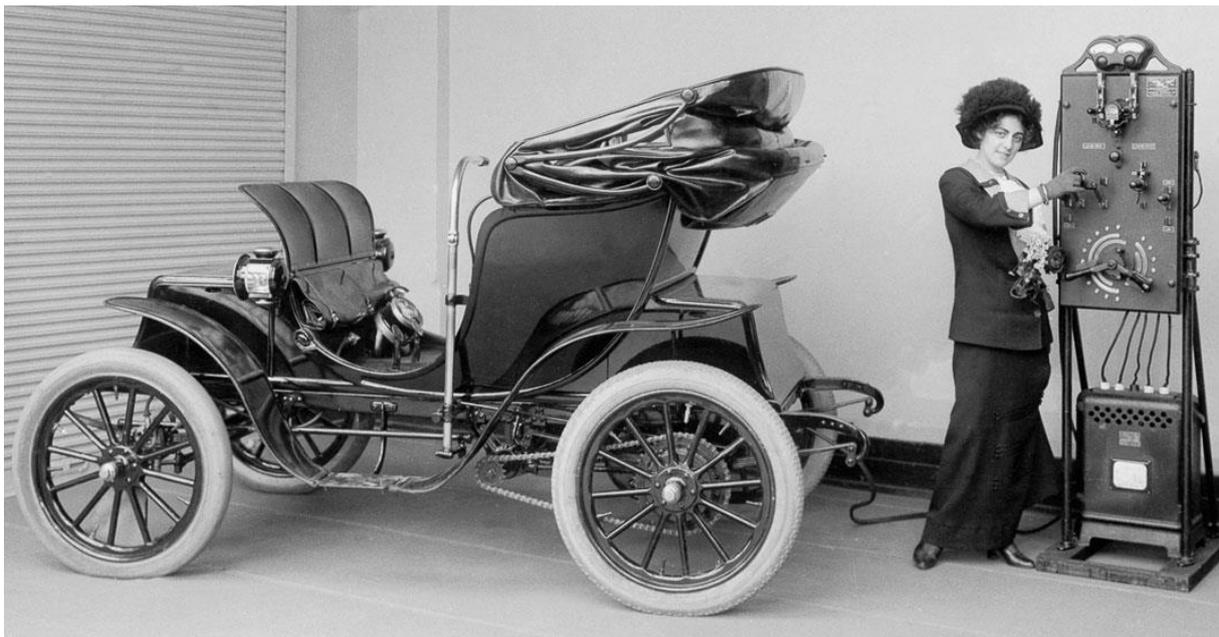


Figure 1:Carriole électrique

En 1851, deux ingénieurs britanniques, William Ayrton et John Perry, ont également fait la démonstration du tricycle électrique, un véhicule plus maniable même équipé d'un phare à des vitesses allant jusqu'à 15 km/h, certains historiens pensent que c'était la première voiture électrique.

Grâce aux réalisations des tricycles, les véhicules électriques vont progressivement s'industrialiser avec un certain succès dans le cadre de l'activité économique, notamment en Europe et aux États-Unis.

En 1891, c'est au tour de l'Américain William Morrison de construire une véritable voiture électrique.

Depuis 1900, le succès a donné aux véhicules électriques un caractère distingué : près de 40 % des voitures en circulation sont électriques, en plus des voitures à essence et à vapeur.

Entre 1900 et 1910, c'était une course de performance et une tentative d'établir des records de vitesse.

Mais bientôt, les véhicules électriques vont décliner, faible autonomie, manque de vitesse et la disponibilité du pétrole feront passer les véhicules électriques au second plan.

En 1966, cependant, l'environnement a commencé à devenir un problème, le congrès américain veut réduire la pollution de l'air et recommande la construction de véhicules électriques, l'opinion publique américaine a endossé cet engagement, d'autant plus que les prix de l'essence ont augmenté après la crise pétrolière de 1973, mais les véhicules électriques ne finiront pas par percer.

En 1988, General Motors lance un fond de recherche pour développer une nouvelle voiture électrique : la EV 1.

Dans cette figure on voit comment ressemble la EV 1 de General Motors :



Figure 2:La EV 1 de General Motors

Après 1990, les véhicules électriques sont devenus un défi pour les constructeurs, le salon de l'auto de Los Angeles a lieu chaque année pour présenter des concept-cars avec un œil sur l'évolution intemporelle des voitures propres.

La voiture la plus connue à cette époque c'est la Toyota Prius la première voiture hybride, mais les véhicules tout électriques ne parviennent pas à fournir une utilisation pratique. [1.1]

1.3 LES DIFFERENTS TYPES DE VOITURES ELECTRIQUES

Avec le temps et la recherche et même le développement, nous avons la possibilité de voir des véhicules électriques dans de nombreux types et versions, tels que :

➤ Les voitures hybrides rechargeables

Les véhicules hybrides associent des moteurs de nature différente thermique d'une part et électriques d'autre part.

Dans la plupart des cas, le moteur thermique (essence) peut être associé à un ou plusieurs blocs électriques situés sur les trains avant et/ou arrière du véhicule. [1.2]

Le principe de fonctionnement de la voiture

Les véhicules hybrides utilisent deux types de motorisation : la motorisation thermique et l'électrification.

Ce type de véhicule est équipé de :

- Moteur thermique (généralement moteur à essence).
- Un ou plusieurs moteurs électriques.
- Batterie de traction.

L'objectif principal d'un véhicule hybride est de tirer le meilleur parti de chaque source d'énergie disponible (électricité et thermique), pour :

- Limiter les émissions de dioxyde de carbone ;
- Réduire la consommation d'énergie du véhicule (réduisant ainsi les coûts liés à l'achat de carburant).

Pour rouler, les véhicules hybrides utilisent alternativement un moteur thermique et un moteur électrique.

Il commence à utiliser la puissance de son moteur électrique pour démarrer ou rouler à des vitesses inférieures à 40 km/h, l'ordinateur ordonne au moteur thermique de s'arrêter pour que la voiture consomme de l'électricité.

Lorsque la charge du moteur électrique est réduite, le moteur thermique reprend son fonctionnement pour que la locomotion continue.

Après le démarrage, la voiture commence à rouler normalement et utilise un moteur adapté à sa vitesse.

- En cas d'accélération, il n'y a plus d'alternance, les deux moteurs utilisent chacun leur énergie pour maintenir la voiture en mouvement à grande vitesse
- En cas de la décélération ou du freinage, le moteur utilise l'énergie cinétique pour ralentir la voiture.

Deux types de motorisations cohabitent :

- Thermique, utilise un réservoir à carburant pour stocker son énergie

Electrique, puise dans une véritable batterie électrique de traction (différente de la batterie dédiée aux accessoires). [1.3]

Dans cette figure on voit le schéma de la voiture hybride rechargeable :

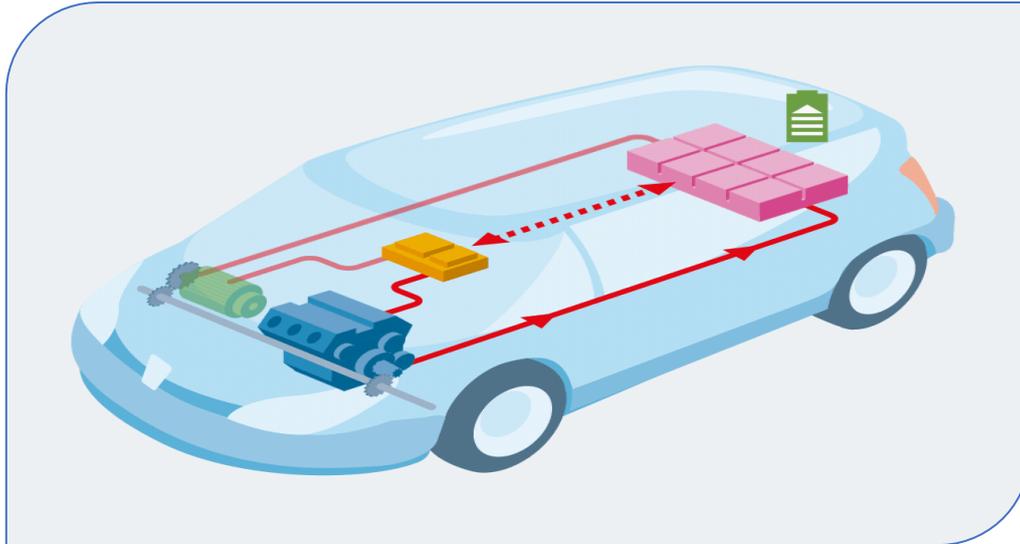


Figure 3:le schéma de la voiture hybride rechargeable

➤ Les voitures à prolongateur d'autonomie

Les voitures à prolongateur d'autonomie sont aussi appelées EREV (pour Extended Range Electric Vehicle).

Un prolongateur d'autonomie pour voiture électrique est une solution technique permettant d'augmenter l'autonomie d'un véhicule électrique.

Il peut à la fois être thermique comme électrique et prendre la forme d'un moteur additionnel ou d'une remorque à tracter. [1.4]

Le principe de fonctionnement de la voiture

La propulsion du véhicule a lieu grâce à l'action d'un moteur électrique dont l'alimentation est assurée par des batteries de grande capacité.

Certains constructeurs automobiles ont prévu en option le prolongateur d'autonomie.

Il peut être proposé sous deux formes :

- Le moteur additionnel thermique

Il s'agit d'un petit moteur qui fonctionne au carburant, installé près du moteur électrique. Contrairement à une voiture hybride, la voiture électrique équipée de ce genre de prolongateur d'autonomie ne va pas être propulsée par ce petit moteur en cas de panne sèche d'énergie électrique.

Le moteur thermique ne va servir que pour aider la batterie à se recharger.

Dans cette figure on voit le schéma de la voiture électrique à prolongateur d'autonomie :

GENERALITES SUR LES VEHICULES ELECTRIQUES

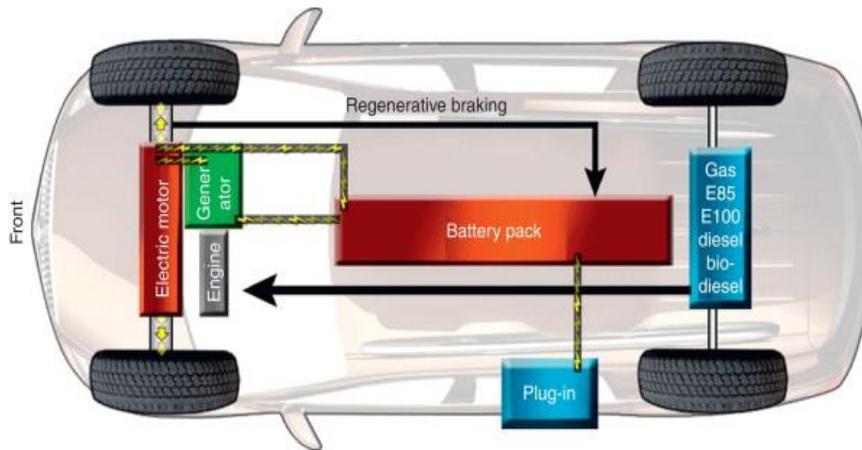


Figure 4:le schéma de la voiture électrique à prolongateur d'autonomie

- La remorque intégrant une batterie

La marque EP Tender est connue pour développer ce type de prolongateur d'autonomie.

L'EP Tender, c'est une petite remorque qui permet à de faire 500 km avec une voiture électrique.

Il est constitué d'une petite remorque d'une longueur d'1m 30 qui vient se fixer à l'aide d'une barre d'attelage. [1.5]

Dans cette figure on voit comment ressemble la remorque EP Tender



Figure 5:la remorque EP Tender

1.4 LES VOITURES TOUT-ELECTRIQUE (LA 100% ELECTRIQUE)

1.4.1 Définition

Les véhicules tout électriques sont également connus sous le nom de BEV (Battery Electric Vehicles), ces voitures fonctionnent grâce à la combinaison des batteries et du moteur électrique.

Ces véhicules sont les rois de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, car ils ne consomment pas une goutte de carburant, en revanche, sa batterie doit être rechargée pendant plusieurs heures, son autonomie est limitée.

Les véhicules électriques conviennent aux déplacements en ville ou au transport sur de courtes distances.

Même si depuis quelques années, leur autonomie permet de **dépasser le simple usage urbain.** [1.6]

1.4.2 Le principe de fonctionnement de la voiture

Les véhicules électriques fonctionnent en se branchant sur une borne de recharge et en tirant de l'électricité du réseau, ils stockent l'électricité dans des batteries rechargeables qui alimentent les moteurs électriques.

Dans un véhicule électrique, la batterie fournit toute l'énergie nécessaire au moteur, lors de la phase de décélération ou de freinage, cette propriété est utilisée pour charger partiellement la batterie de traction pendant la phase de roulage.

On appuie sur la pédale d'accélérateur, la batterie libère un courant continu.

Le convertisseur est chargé de convertir ce courant continu en courant alternatif pour Alimenter le moteur.

Le moteur convertit ensuite cette énergie électrique en énergie mécanique qui peut faire avancer la voiture.

Pour coordonner parfaitement cette partition, l'ordinateur de bord gère, contrôle et régule l'alimentation électrique à développer. [1.7]

GENERALITES SUR LES VEHICULES ELECTRIQUES

Dans cette figure on voit le schéma de la voiture électrique :

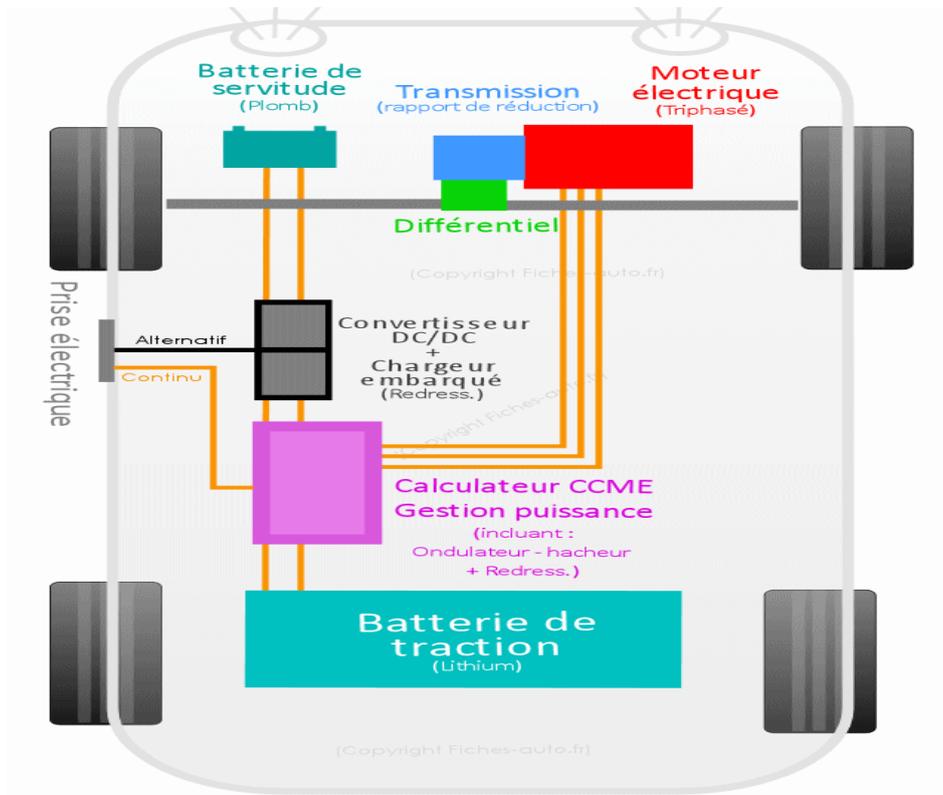


Figure 6:Le schéma de la voiture électrique

➤ Batterie

C'est l'élément qui accumule l'énergie électrique grâce à une solution chimique.

Il s'agit d'avoir une solution chimique à laquelle on peut soutirer des électrons, une fois qu'on lui a tout pris cette solution devient stable

Pour recharger la batterie, on réinjecte des électrons à la borne - pour remettre la solution en déséquilibre

Dans cette figure on voit la batterie d'une voiture électrique :



Figure 7: La batterie d'une voiture électrique

➤ Calculateur / Ondulateur / redresseur (CCME)

C'est le calculateur de puissance et gère beaucoup de choses

- Le courant continu délivré par la batterie est alors "haché" par l'onduleur pour alimenter le moteur en courant alternatif
- Il contrôle les flux d'énergie grâce aux nombreux capteurs qu'il dispose.
- A l'accélération le calculateur gère le flux d'énergie à envoyer vers le moteur.
- A la décélération ou de freinage, le courant alternatif est alors redressé pour recharger la batterie en courant continu.

➤ Le convertisseur DC/DC :

Il en est en charge de convertir la tension de la courante continue haute tension issue de la batterie de traction, en un courant continu 12 V pour recharger la batterie de servitude et alimenter les différents équipements du V.E.

➤ Chargeur embarqué / redresseur

Il transforme le courant alternatif en provenance de la prise vers un courant continu destiné à la batterie de puissance. [1.8]

➤ Le moteur électrique

Le moteur est divisé en deux parties :

- Le stator (partie fixe)
- Le rotor (partie mobile).

Le stator est placé autour du rotor, il se compose de deux paires d'aimants chacune avec deux bobines de fil (généralement en cuivre) disposées sur chaque pôle opposé de l'aimant.

Lorsque le courant traverse le stator, il crée un champ magnétique qui fait tourner le rotor c'est à cause de cette rotation que le moteur démarre.

Le principe est simple bouger un aimant devant du cuivre génère de l'électricité envoyer de l'électricité dans du cuivre va bouger l'aimant

Dans cette figure on voit le schéma du moteur électrique :

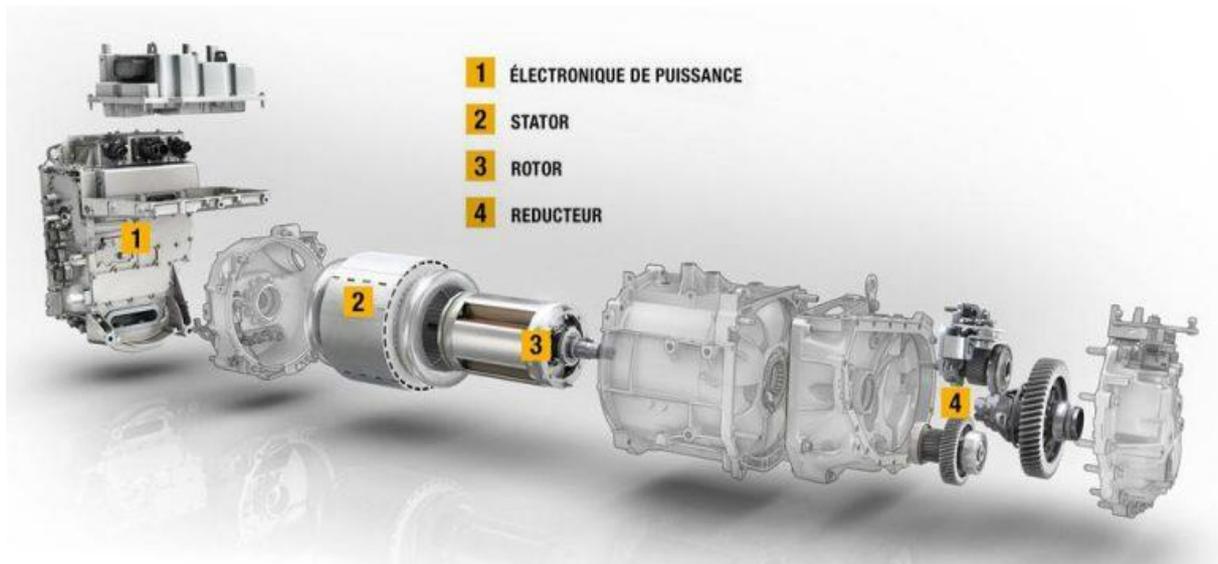


Figure 8:Le schéma du moteur électrique

➤ Alimentation du moteur

Il existe deux façons pour le courant de circuler dans un conducteur.

- Le courant alternatif (AC) est un courant dans lequel les électrons changent périodiquement de direction.
- Le courant continu (DC), comme son nom l'indique, ne circule que dans un seul sens.

Les batteries des véhicules électriques utilisent du courant continu, qui doit être converti en courant alternatif par un onduleur pour que le moteur principal (qui assure la traction du véhicule) fonctionne. [1.9]

Dans cette figure en voit la différence entre le courant (AC) et (DC) :

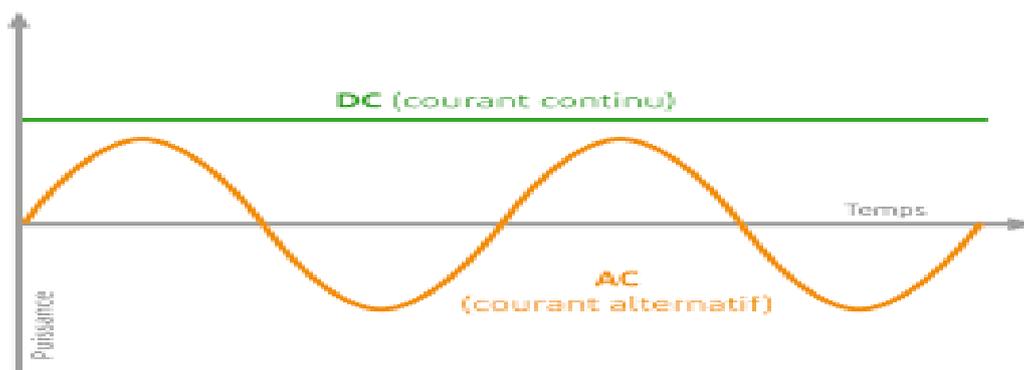


Figure 9:la différence entre le courant (AC) et (DC)

1.4.2 Les avantages est les inconvénients

➤ **Les avantages**

• **Le silence et le confort de conduite**

Les voitures électriques sont presque silencieuses au démarrage ou en roulant.

L'absence de moteur thermique élimine le bruit associé et démarre au quart de tour, il n'y a pas d'embrayage et surtout pas de vibration.

Comme il n'y a pas de boîte de vitesses, il n'est pas nécessaire de faire attention au régime moteur pour savoir quand passer à la vitesse supérieure. [1.10]

• **La fiabilité du véhicule**

À l'exception des pneus et des garnitures de frein, les véhicules électriques ont beaucoup moins de pièces d'usure (courroies de distribution, pistons, tuyaux d'échappement, bougies d'allumage, etc.) que les véhicules à essence ou diesel (c'est-à-dire les pièces chaudes).

Par conséquent, ils sont moins de risques aux pannes, ne nécessitent aucun échauffement et sont faciles à conduire (pas de boîte de vitesses).

Contrairement à un moteur thermique, un moteur électrique n'a pas d'embrayage, il ne cale jamais. [1.10]

• **La facilité d'entretien et de maintenance**

La nécessité de remplacer les plaquettes de frein est également moins fréquente sur les modèles électriques.

C'est en grande partie grâce au système de freinage, qui recycle une partie de l'énergie cinétique générée par le mouvement de la voiture pour générer de l'électricité et gagner en autonomie.

Mais il y a un problème avec la batterie, qui commence généralement à montrer ses premiers signes de faiblesse après huit à dix ans d'utilisation (1 000 à 1 500 cycles de charge) [1.10]

• **La réduction des émissions de gaz à effet de serre**

Les véhicules électriques participent à la nécessaire transition écologique.

Le bilan carbone qu'il utilise est favorable : lorsqu'il est en mouvement, il n'émet pas de gaz carbonique et de vapeurs d'hydrocarbures (CO₂). [1.10]

➤ **Les inconvénients**

• **Le prix à l'achat du véhicule**

Étant donné que leur nouveauté a tendance à faire grimper les coûts de fabrication, les modèles électriques sont actuellement vendus par les constructeurs coûtent toujours plus cher à l'achat que leurs équivalents thermiques.

Pour les acheteurs, la grande majorité des citadines démarrent aux alentours de 30000€. [1.10]

• **L'impact environnemental des batteries**

La batterie a une durée de vie limitée, leur capacité de stockage d'énergie ne cesse de croître.

Mais avec le temps, le niveau de conduite autonome diminue et lorsque la capacité de la batterie descend en dessous de 70 % (généralement après huit ou dix ans d'utilisation), la batterie doit être remplacée. [1.10]

- **La recharge des véhicules**

Il ne faut qu'une minute pour faire un plein d'essence ou de gazole permettant de parcourir plusieurs centaines de kilomètres avec une voiture thermique. [1.10]

Mais il faut attendre beaucoup plus longtemps pour atteindre une autonomie comparable sur la batterie électrique d'une Renault Zoe, par exemple : le temps de charge sera de plusieurs dizaines de minute, sur une borne de recharge rapide. [1.10]

- **La disponibilité des bornes dans l'espace public**

Le réseau d'infrastructures de recharge est insuffisant par rapport à la demande, dans les longs trajets, il est préférable de prévoir une ou deux phases de recharge sur l'itinéraire choisi avant le départ, là où des bornes de recharge sont disponibles.

Il peut être un peu plus long et compliqué de s'équiper d'une borne de recharge individuelle dans une copropriété. [1.10]

- **L'autonomie des véhicules**

Les automobilistes ont toujours peur d'une mobilité réduite, car ils ne peuvent pas facilement et rapidement recharger la batterie en cas de besoin [1.10]

1.4.3 Exemples des voitures électriques [1.11]

On va citer quelques exemples des voitures électriques disponibles sur le marché :



- Performance : 275 ch - 202 kw
- Accélération : 6,1 s (0-100 km/h)
- Vitesse max. : 225 km/h
- Couple : 420 Nm
- Consommation 14,9kWh/100km
- Capacité batterie : 60 kWh
- Batterie utilisable : 57 kWh
- Autonomie : 491 km
- Emission CO₂ : 0 g/km
- Prix : à partir de 46 990 €

Figure 10: Tesla Model 3



- Performance : 136 ch - 100 kw
- Accélération : 8,1 s (0-100 km/h)
- Vitesse max : 150 km/h
- Couple : 260 Nm
- Batterie utilisable : 46 kWh
- Autonomie : 340 km (WLTP)
- Consommation : 16,4 kWh/100km
- Emission CO₂ : 0 g/km
- Prix : à partir de 32 100 €

Figure 11: Peugeot e-208 électrique

1.5 VOITURE ELECTRIQUE DERNIERE TECHNOLOGIE

Et si la batterie d'une voiture électrique pouvait être rechargée en moins de cinq minutes ?

Alors que le temps de charge et la faible autonomie des voitures à batterie peuvent freiner les achats, Ford a peut-être trouvé la solution.

La nouvelle technologie pourrait permettre aux automobilistes de recharger leurs véhicules cinq fois plus rapidement que les chargeurs classiques.

Une équipe de chercheurs a réussi à augmenter la puissance du câble de charge tout en évitant la surchauffe dont souffre souvent l'appareil, ce qui limite la quantité d'énergie qu'il peut transférer à un véhicule électrique.

Les deux partenaires ont donc imaginé un système de refroidissement liquide dont la substance active n'a pas encore été précisée.

Ce liquide se transforme en vapeur, permettant au câble d'évacuer plus de chaleur que les technologies existantes

Voiture électrique : l'espoir d'une autonomie de 2 000 km grâce à une batterie révolutionnaire

Est-il vraiment possible pour une voiture électrique d'avoir une autonomie de 2 000 kilomètres ?

Une équipe de scientifiques allemands et néerlandais a réalisé nos rêves en annonçant le développement d'une nouvelle technologie de fabrication de batteries.

Des chercheurs du monde entier travaillent à améliorer les performances des batteries des véhicules électriques.

Batteries solides, lithium-souffre, lithium-air, graphène..., les annonces de "chimie" innovante ne manquent pas.

Mais cette fois, une équipe de scientifiques allemands et néerlandais ne nous présente pas une nouvelle "recette" chimique, mais un processus innovant pour la fabrication des cellules de batteries.

Appelé « Spatial Atom Layer Deposition », ou SALD, celle-ci devrait fournir une autonomie "bien supérieure à 1 000 kilomètres" pour les voitures qui en sont équipées.

Comme son nom l'indique, SALD est un procédé breveté qui permet l'application sur un support, de revêtements en couches minces, si mince, environ l'épaisseur d'un atome.

La technologie actuellement utilisée par la plupart des fabricants de batteries lithium-ion consiste à mélanger la matière active des électrodes (composée de nickel, de manganèse et de cobalt pour la cathode, et de graphite pour l'anode) avec un solvant puis de déposer les pâtes résultantes sur une pièce métallique conductrice.

Ils sont ensuite passés dans un four pour évaporer le solvant et roulés ou empilés pour former la batterie.

En raison des solvants utilisés, le procédé est relativement coûteux, énergivore, lent et nocif pour l'environnement.

Le nouveau procédé a été développé conjointement par la société néerlandaise SoLayTec, l'Institut Fraunhofer en Allemagne et l'institut de recherche néerlandais TNO.

Des scientifiques de renommée mondiale dans le domaine des nouvelles technologies, notamment des batteries.

Les partenaires créent la société SALD basée à Eindhoven pour l'industrialisation et la commercialisation de leurs innovations. [1.12]

Chapitre 02

**La batterie d'une voiture
électrique**

2.1 DEFINITION D'UNE BATTERIE :

Une batterie est une source d'énergie électrique composée d'une ou plusieurs cellules électrochimiques avec des connexions externes pour alimenter un équipement électrique.

Une batterie stocke de l'électricité pour que celle-ci puisse être utilisée à un moment ultérieur.

Lorsqu'une batterie est alimentée, son pôle positif est la cathode et son pôle négatif est l'anode. La borne marquée négative est la source d'électrons qui circuleront à travers le circuit externe vers la borne positive.

Lorsque la batterie est connectée à une charge électrique externe, une réaction redox convertit les réactifs à haute énergie en produits à faible énergie, et la différence d'énergie libre est transmise au circuit externe sous forme d'énergie électrique. Historiquement, le terme « batterie » faisait spécifiquement référence à un ensemble d'accumulateurs électriques reliés entre eux de façon à créer un générateur électrique de tension et de capacité désirée. Ces accumulateurs sont parfois appelés éléments de la batterie ou cellules.

Les piles primaires « jetables » sont jetées après une seule utilisation car le matériau des électrodes change de manière irréversible pendant la décharge, un exemple courant est les piles alcalines utilisées dans les lampes de poche et un grand nombre d'appareils électroniques portables.

Les batteries secondaires (rechargeables) peuvent être déchargées et chargées plusieurs fois avec un courant appliqué, la composition d'origine des électrodes peut être restaurée avec un courant inverse.



Figure 12:batterie au plomb

Les exemples incluent les batteries au plomb utilisées dans les véhicules et les batteries lithium-ion utilisées dans les appareils électroniques portables tels que les ordinateurs portables et les téléphones mobiles.

Les piles se présentent sous de nombreuses formes et tailles, des minuscules cellules utilisées pour alimenter les appareils auditifs et les montres aux énormes blocs-piles de la

taille d'une pièce de monnaie qui fournissent une alimentation de source ou de secours pour les centraux téléphoniques et les centres de données informatiques. [2.1]

Les batteries ont une énergie spécifique (énergie par unité de masse) bien inférieure à celle des carburants courants tels que l'essence. Dans les voitures, cela est en partie compensé par le fait que les moteurs électriques sont plus efficaces pour convertir l'énergie électrique en travail mécanique que les moteurs à combustion interne.

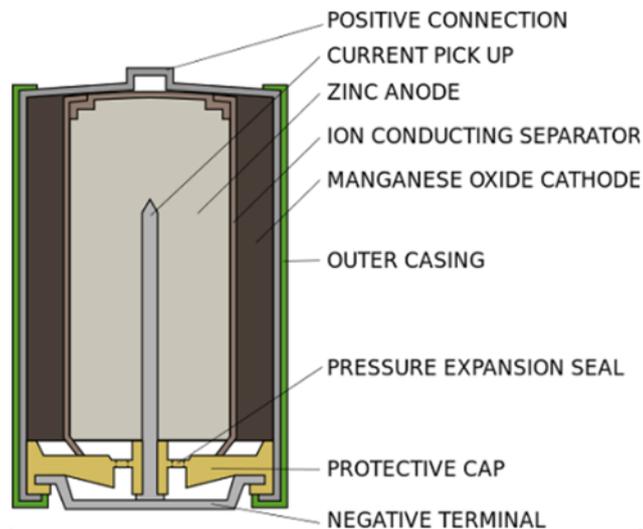
2.2 LES PILES NON-RECHARGEABLES

Les batteries sont constituées de deux électrodes appelées cathode et anode, qui sont placées dans des électrolytes. Lorsque les électrodes sont connectées, des réactions chimiques ont lieu à la cathode et à l'anode, comme nous l'avons vu avec un exemple dans l'article sur les anodes et les cathodes.

Ces réactions chimiques se traduisent par un flux d'électrons de l'anode vers la cathode. Ces électrons ont de l'énergie électrique, et si nous connectons un composant électrique entre le chemin des électrons, les électrons peuvent perdre leur énergie lorsqu'ils traversent le composant.

L'énergie électrique que les électrons perdent peut alors être convertie en une forme qui nous est utile. Par exemple, une ampoule convertit l'énergie électrique en énergie lumineuse (et en énergie thermique) et un moteur convertit l'énergie électrique en énergie cinétique.

Avant de discuter de la différence entre les piles rechargeables et les piles non rechargeables, examinons d'abord une pile alcaline typique pour voir comment elle



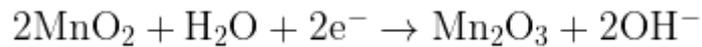
fonctionne

Figure 13: Une coupe longitudinale à travers une pile alcaline

À l'anode, le zinc réagit avec les ions hydroxyde libérés de la cathode, produisant de l'oxyde de zinc et de l'eau et libérant des électrons dans le processus :



A la cathode, les électrons libérés sont combinés avec de l'oxyde de manganèse (IV) et de l'eau pour produire des ions oxyde et hydroxyde de manganèse (III) :



Pour que ces réactions se poursuivent, les ions se déplacent en permanence à travers l'électrolyte tandis que les électrons se déplacent à l'extérieur de l'électrolyte à travers les fils qui relient l'anode et la cathode. Cela crée un courant électrique dans le fil.

Les piles alcalines ne sont pas rechargeables. Cela signifie que ces réactions ne peuvent avoir lieu que dans la direction ci-dessus. Une fois que tout l'oxyde de manganèse (IV) a été converti en oxyde de manganèse (III), les réactions s'arrêtent et la batterie ne peut plus produire de courant électrique. [2.1]

2.3 LES PILES RECHARGEABLES

Une batterie rechargeable est un dispositif de stockage d'énergie qui peut être rechargé après avoir été déchargé en appliquant un courant continu à ses bornes.

Les batteries rechargeables permettent de multiples utilisations à partir d'une cellule, réduisant les déchets et fournissant généralement un meilleur investissement à long terme en termes de coûts dépensés pour le temps d'utilisation de l'appareil. Cela est vrai même en tenant compte du prix d'achat plus élevé des piles rechargeables et de la nécessité d'un chargeur.

Une batterie rechargeable est généralement un remplacement plus judicieux et plus durable des batteries à usage unique, qui génèrent du courant par une réaction chimique dans laquelle une anode réactive est consommée. L'anode d'une batterie rechargeable est également consommée, mais à un rythme plus lent, ce qui permet de nombreuses charges et décharges.

En utilisation, les piles rechargeables sont les mêmes que les piles conventionnelles. Cependant, après décharge, les batteries sont placées dans un chargeur ou, dans le cas de batteries intégrées, un adaptateur AC/DC est connecté.

Bien que les piles rechargeables offrent un meilleur coût à long terme et réduisent les déchets, elles présentent quelques inconvénients. De nombreux types de piles rechargeables créées pour les appareils grand public, y compris les piles AA et AAA, C et D, produisent une tension inférieure de 1,2 V contrairement aux 1,5 V des piles alcalines. Bien que cette tension plus basse n'empêche pas le bon fonctionnement d'une électronique bien conçue, cela peut signifier qu'une seule charge ne dure pas aussi longtemps ou n'offre pas la même puissance au cours d'une session. Ce n'est pas le cas, cependant, avec les batteries lithium-polymère et lithium-ion.

Certains types de batteries telles que le nickel-cadmium et le nickel-hydrure métallique peuvent développer un effet de mémoire de batterie lorsqu'elles ne sont que partiellement déchargées, réduisant les performances des charges ultérieures et donc la durée de vie de la batterie dans un appareil donné.

Les batteries rechargeables sont utilisées dans de nombreuses applications telles que Les voitures, toutes sortes d'appareils électroniques grand public et même le stockage d'énergie hors réseau et d'installations supplémentaires. [2.2]

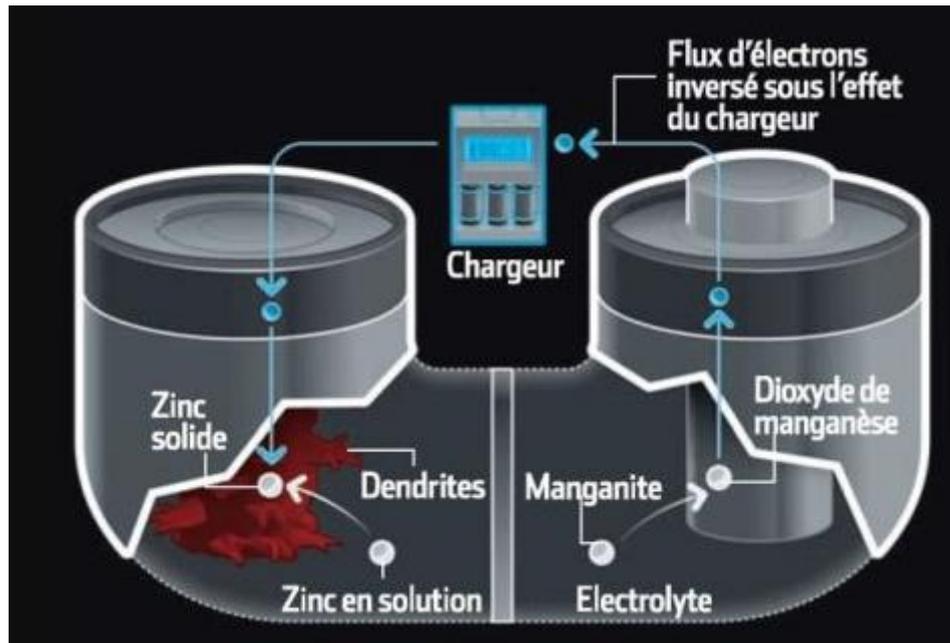


Figure 14 : quand une pile se recharge

2.4 DIFFERENCE ENTRE LES PILES RECHARGEABLE ET NON RECHARGEABLES

2.4.1 Utilisation après décharge complète

Les piles rechargeables peuvent être réutilisées après la charge, une fois qu'elles ont été complètement déchargées.

Les piles non rechargeables ne peuvent être complètement déchargées qu'une seule fois. Après cela, la batterie ne peut pas être chargée et elle ne peut pas être utilisée pour produire un courant électrique.

2.4.2 Coût

Le prix des piles rechargeables est plus élevé que celui des piles non rechargeables. Cependant, à long terme, l'utilisation de piles rechargeables est plus rentable.

Les piles non rechargeables sont moins chères que les piles rechargeables.

2.4.3 Types de batterie

Les batteries rechargeables comprennent les batteries plomb-acide, nickel-cadmium et lithium-ion.

Les piles non rechargeables comprennent les piles Leclanché, zinc-carbone et alcalines.
[2.2]

2.5 BATTERIES DE VÉHICULES ÉLECTRIQUES

2.5.1 introduction

Les véhicules routiers émettent une importante pollution atmosphérique, dont 18 % des particules en suspension, 27 % des composés organiques volatils, 28 % du Pb, 32 % des oxydes d'azote et 62 % du CO. Les véhicules libèrent également 25% du CO₂, le principal gaz à effet de serre. Les chiffres de la pollution mondiale continuent d'augmenter encore plus rapidement.

Les batteries de VE (véhicule électrique) se caractérisent par les éléments chimiques utilisés. Faites principalement la distinction entre les batteries lithium-ion, les batteries nickel-hydrure métallique et les batteries plomb-acide. Il peut être difficile de choisir la meilleure batterie VE car les solutions fonctionnent mais ont des utilisations différentes. [2.3]

2.5.2 histoires de la batterie des voitures électrique

Au début des années 1900, la conception des véhicules électriques ne pouvait pas concurrencer l'invention pour le moteur à combustion interne. La vitesse et la gamme des moteurs à combustion interne ont fait un outil efficace pour le transport. Au milieu des années 1900, des discussions sur les approvisionnements imminents en pétrole, les demandes croissantes de combustibles fossiles ont commencé à raviver les inventions de systèmes énergétiques alternatifs et découverte de sources d'énergie alternatives. Au milieu des années 1970, les pénuries de pétrole conduit au développement agressif des programmes de véhicules électriques. Cependant, un approvisionnement en pétrole temporairement stable par la suite et une progression plutôt lente de technologie d'énergie alternative pour les batteries de traction une fois de plus entravée le développement de VE.

Les inquiétudes à la fois sur la croissance mondiale de la demande pour les combustibles fossiles pour le transport, notamment le pétrole et la réduction des émissions des véhicules ont une fois de plus intensifié le développement des véhicules électriques. Ce à son tour a conduit à des progrès dans la recherche et le développement des batteries pour VE. [2.3]

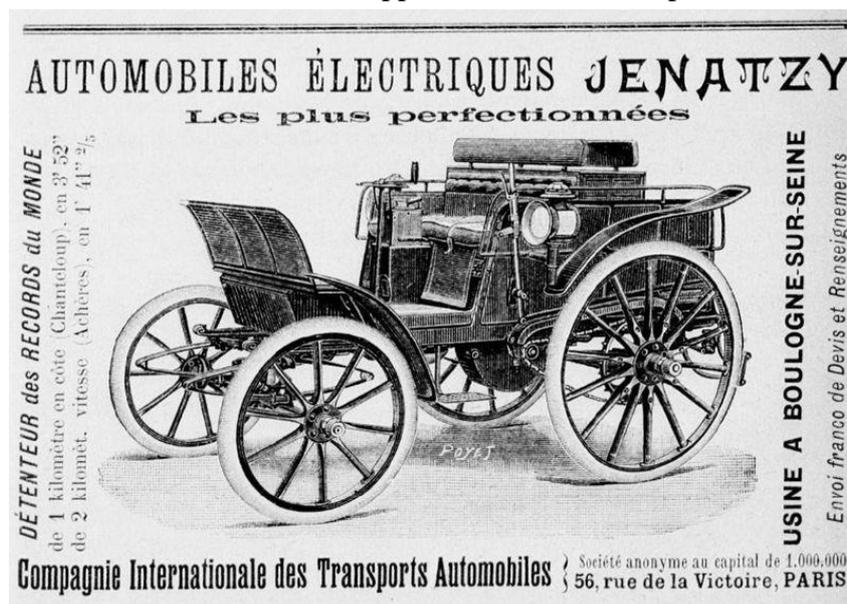


Figure 15 : Publicité Automobiles électriques Jenatzy (1899)

2.5.3 types des batteries électriques

Selon le site Renault group, il existe plusieurs types de batteries utilisées dans les voitures électriques, qui sont :

➤ Batterie au plomb

Inventée en 1859, la batterie au plomb trouve encore sa place dans de nombreux véhicules, thermiques comme électriques. En 1899, le véhicule électrique « La Jamais contente » équipée de cette technologie fut d'ailleurs la première automobile à dépasser les 100 km/h bien avant les véhicules thermiques.

De nos jours, les batteries au plomb ne sont plus utilisées pour la traction : elles alimentent le circuit électrique des accessoires ou des équipements spécifiques au monde thermique comme le démarreur. La batterie au plomb n'offre qu'une capacité limitée malgré un encombrement et un poids élevé, mais elle a le mérite d'être à la fois économique et simple à produire ou à recycler. Utilisée comme dispositif de stockage principal pour des voitures électriques jusqu'à les années 80, elle a rapidement cédé la place à d'autres technologies plus performantes.

• Principe de fonctionnement

Une batterie au plomb est constituée de cellules appelées accumulateurs délivrant une tension de 2,1Volts. Elles comprennent 6 accumulateurs disposés en séries qui délivrent ainsi une tension totale de 12,6 Volts. Un accumulateur est un ensemble de plaques (positives et négatives) immergées dans une substance acide appelée électrolyte (mélange eau acide sulfurique).

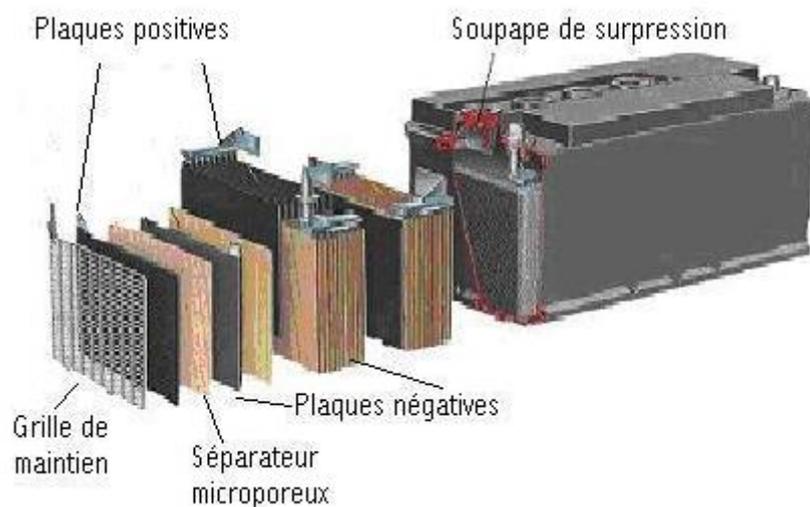


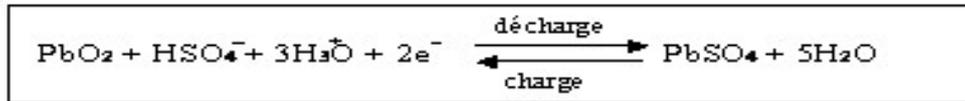
Figure 16: Vue de coupe d'une batterie au plomb

Lorsqu'on applique une source de tension continue aux bornes des plaques (électrodes) un courant s'établit créant une modification chimique des plaques et de l'électrolyte, cette modification produit une différence de potentiel entre les deux plaques. Il est à noter que la circulation des électrons à l'intérieur de l'électrolyte est assurée grâce aux ions.

LA BATTERIE D'UNE VOITURE ELECTRIQUE

Durant la décharge les plaques positives subissent une « réduction » c'est à dire qu'elles consomment des électrons et les plaques négatives libèrent des électrons (réaction d'oxydation). Le phénomène inverse se produit pendant la charge.

Réaction à l'électrode positive



Réaction à l'électrode négative



Il faut aussi noter la présence d'une réaction concurrente (hydrolyse de l'eau) qui conduit à la génération de gaz (oxygène et hydrogène) et qui « assèche l'électrolyte ». Cette réaction est surtout notable en fin de cycle de charge lorsqu'il ne reste plus beaucoup de matière réactive aux électrodes. En fonction de la technologie de la batterie, l'hydrogène et l'oxygène sont plus ou moins recombinaison dans l'électrolyte de la batterie ce qui a une influence sur la durée de vie.

D'autre part, d'autres réactions chimiques (oxydation du plomb) entrent en jeu et sont principalement responsables des phénomènes d'auto décharge.

Il existe d'autres familles de batteries pour les outillages portatifs (batterie au Ni-MH) ou pour les téléphones portables (batterie Lithium), mais dans la suite seules les batteries au plomb sont développées leur coût de revient au W/h étant nettement moins cher. [2.14]

➤ Batterie Nickel-Cadmium

Si vous utilisiez des piles rechargeables dans les années 90, vous connaissez la technologie Nickel-Cadmium. Les accumulateurs « Ni – Cd » ne manquaient pas d'avantages, avec une densité de stockage importante et une durée de vie de l'ordre de 500 à 1 000 cycles de recharge.

Ils souffraient en revanche de l'effet mémoire, un phénomène physique qui altère les performances de la batterie en cas de cycles de « charge-décharge » partiels. Utilisées pour la production de véhicules électriques dans les années 90, les batteries Ni-Cd sont aujourd'hui interdites, du fait de la toxicité du cadmium. [2.4]



Figure 17: Batterie Nickel-Cadmium

Principe de fonctionnement :

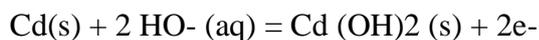
Décharge :

Les couples en présence sont $\text{NiO(OH)} / \text{Ni(OH)}_2$ et $\text{Cd(OH)}_2 / \text{Cd}$.

A l'électrode positive, l'oxyhydroxyde de nickel NiO(OH) est réduit en hydroxyde de nickel Ni(OH)_2 :

$\text{NiO(OH)} (s) + \text{H}_2\text{O} (l) + e^- = \text{Ni(OH)}_2 (s) + \text{HO}^- (aq)$ C'est une réaction simplifiée, car en réalité la réaction fait intervenir plusieurs oxydes et hydroxydes de nickel.

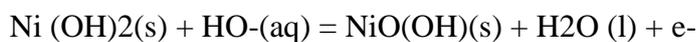
A l'électrode négative, le cadmium Cd est oxydé en hydroxyde de cadmium Cd(OH)_2 :



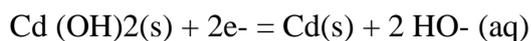
Charge :

Les réactions aux électrodes lors de la charge sont les inverses de celles qui apparaissent lors de la décharge :

L'hydroxyde de nickel Ni(OH)_2 est oxydé à l'électrode positive qui constitue maintenant l'anode :



L'hydroxyde de cadmium est réduit à l'électrode négative qui constitue alors la cathode :



[2.15]

➤ **Batterie Nickel-Métal Hydrures**

Avec leurs performances comparables à celles de la technologie Ni-Cd, les accumulateurs Nickel-Métal Hydrures ou « Ni-MH » ont connu un succès plus durable du fait de l'absence de métaux lourds. Cette technologie de batterie rechargeable portable était la plus

économique au début des années 2000 : c'est pourquoi elle a largement dominé le marché du véhicule hybride jusqu'à l'avènement de la technologie lithium-ion. [2.4]



Figure 18: batterie Nickel-Métal Hydrures

➤ Batterie lithium-ion

Élaborée au début des années 90, la batterie lithium-ion s'est progressivement imposée comme la technologie de référence, dans le monde du transport comme dans celui de l'électronique grand public. Dotée d'une importante durée de vie, elle offre une densité d'énergie bien supérieure à celle de toutes les technologies concurrentes et ne présente pas d'effet mémoire.

Elle exige en revanche un conditionnement adapté ainsi qu'un pilotage précis de la recharge, généralement assuré par un circuit électronique dédié. Renault utilise la technologie lithium-ion pour ZOE et les autres véhicules électriques de sa gamme. Le Groupe travaille par ailleurs à l'intégration de ses batteries dans un schéma d'économie circulaire visant à prolonger au maximum leur durée de vie. [2.4]



Figure 19: Batterie lithium-ion

Principe de fonctionnement : [2.16]

L'élément de base est une cellule qui se présente un peu comme un feuilleté : une plaque d'aluminium servant à collecter le courant, puis la cathode, l'électrolyte, puis l'anode, enfin une plaque de cuivre.

LA BATTERIE D'UNE VOITURE ELECTRIQUE

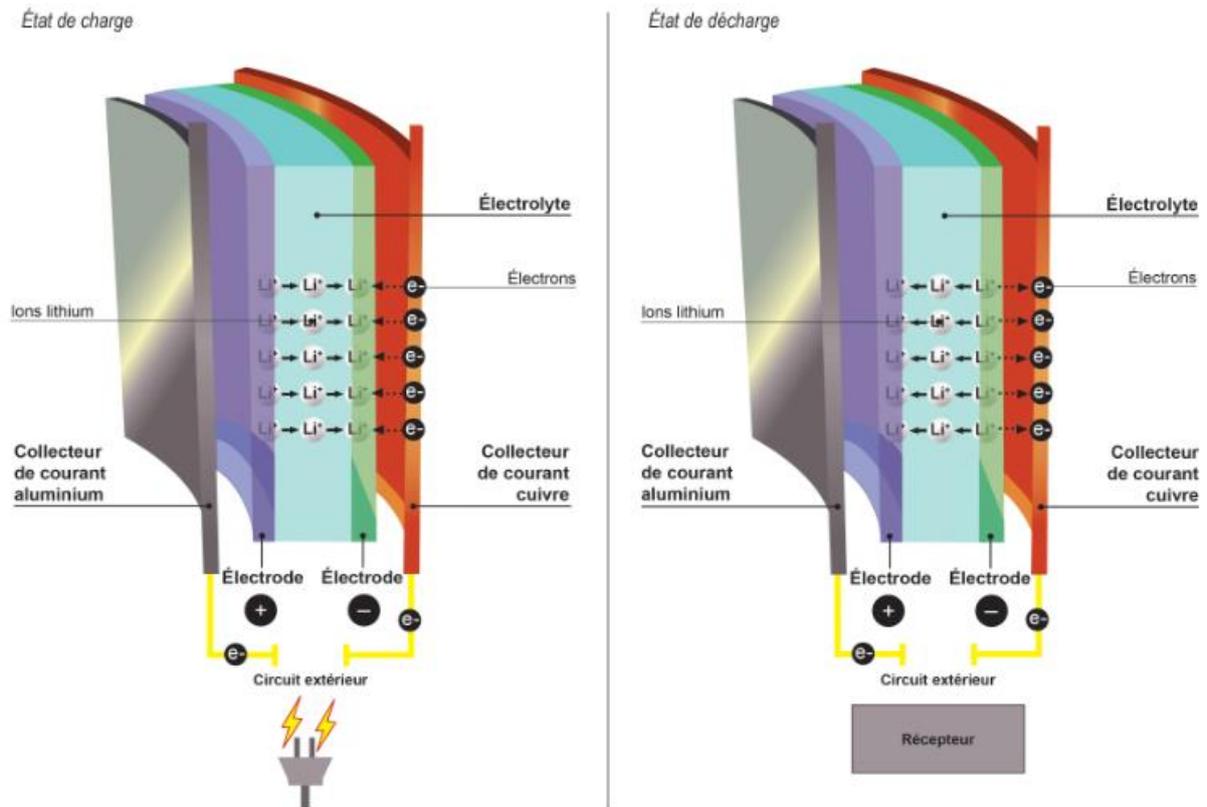


Figure 20: principe de fonctionnement de batterie lithium

Quand la batterie se charge, les ions de lithium Li^+ quittent l'électrode positive (la cathode) et sont stockés dans l'électrode négative (l'anode). Quand elle se décharge, c'est-à-dire quand elle produit le courant électrique, les ions Li^+ font le mouvement inverse.

Ces cellules, de quelques volts chacune, sont regroupées en plus ou moins grand nombre selon la puissance recherchée pour alimenter un téléphone portable ou une batterie de voiture.

➤ Batterie tout solide

La recherche scientifique s'intéresse depuis toujours au concept de batterie tout solide, mais ce n'est que depuis 10 ans que ses avancées permettent d'imaginer, dans un futur lointain, son adoption au monde automobile.

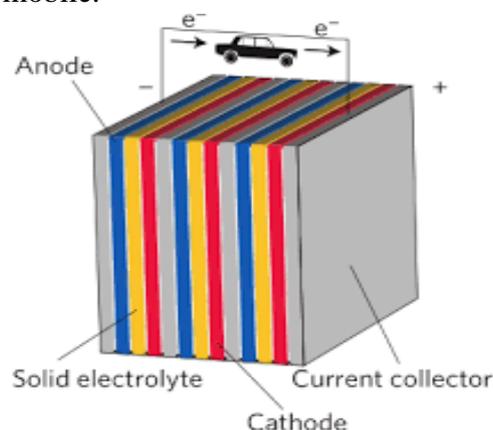


Figure 21 : schéma d'une Batterie tout solide

Son principe consiste à remplacer l'électrolyte liquide des batteries par un matériau solide qui pourrait prendre la forme d'un polymère plastique, de poudres inorganiques compactées ou d'un mélange des deux. En théorie, la technologie n'a que des avantages : elle permet d'augmenter la densité d'énergie et la stabilité tout en simplifiant la gestion thermique. La batterie solide n'en est cependant qu'au stade du prototype de laboratoire. La batterie lithium-ion a donc encore de beaux jours devant elle. [2.4]

2.5.4 comment choisir la meilleure batterie pour une voiture électrique ?

En raison des paramètres décrits ci-dessus, la batterie lithium-ion est le plus souvent utilisée. De plus, la technologie associée à ces cellules est encore en progrès. Les principaux fournisseurs s'efforcent de trouver des alternatives qui utilisent ce type de batterie comme source d'énergie.

Les batteries nickel-hydrure métallique sont utilisées dans les véhicules hybrides, le secteur des VE utilise rarement des batteries au plomb, bien qu'elles complètent parfois une batterie lithium-ion. Au stade actuel de son développement, cette technologie n'est pas encore prête à être utilisée à plus grande échelle.

Les supercondensateurs trouvent également leur place dans les voitures électriques, leur permettant d'augmenter la puissance du véhicule en cas de forte charge. Grâce à cela, une batterie standard peut être prise en charge lors de l'accélération. Les supercondensateurs sont également très importants pour le freinage par récupération, qui permet de convertir l'énergie thermique en électricité. [2.14]

2.6 LE PROCESSUS DE LA FABRIQUATION D'UNE BATTERIE

La batterie pour voiture électrique est bien évidemment différente de celle utilisée pour les voitures thermiques. Dans le cadre de leurs recherches, les constructeurs automobiles ont essayé plusieurs types de batteries pour démontrer le potentiel de la voiture électrique. Finalement, la plupart d'entre eux ont fini par trouver la technologie idéale pour alimenter les moteurs électriques.

Sortant du lot, la batterie lithium-ion a été choisie pour sa forte énergie volumique et massique, rendant une autonomie prolongée. Il convient de rappeler que cette technologie a déjà été développée, puis commercialisée pour la première fois par Sony en 1991. Si elle a remporté un franc succès auprès de l'électronique portable, elle trouve une place considérable au sein de plusieurs domaines comme l'aéronautique et bien sûr la mobilité. [2.18]

2.7 L'ETAPE DE FABRICATION

Nous aimerions souligner que ce ne sont pas directement les constructeurs automobiles qui fabriquent les batteries lithium, mais les grandes industries partenaires se situant particulièrement en Asie. Parmi les géants du secteur se trouvent LG Chem, Panasonic et Samsung SDI. Ces firmes réalisent les cellules qui sont assemblées pour former les batteries de véhicules électriques. Cependant, certains constructeurs automobiles préfèrent acheter les

cellules auprès des fournisseurs et les rassembler eux-mêmes au sein de leurs propres usines. C'est le cas du modèle Renault Zoe.

Dans le processus de fabrication de la batterie pour un véhicule tout électrique, des métaux rares y sont intégrés. Si le lithium (carbonate de lithium) s'avère le principal composant, on peut aussi trouver :

- Du manganèse
- Du cobalt
- Du nickel
- Du cuivre
- De l'aluminium

D'autres matériaux comme le graphite et les solvants sont également utiles.

Pour avoir un aperçu de la quantité de matériaux utilisés pour la fabrication des batteries pour voitures électriques, une usine d'une capacité de production de 5 GWh réclame 4 000 tonnes de carbonate de lithium et 8 300 tonnes de métaux rares. Or, selon une étude, la capacité de production de ce type de batterie va augmenter pour atteindre 1,3 TWh d'ici 2030.

De leur côté, les défenseurs de l'environnement pointent du doigt le mode d'exploitation des minéraux qui possède un impact environnemental. Ces derniers sont notamment extraits et traités en Amérique du Sud et au Congo. [2.18]

2.8 COMMENT FONCTIONNE LA BATTERIE ?

Le principe de fonctionnement de la batterie d'un véhicule électrique se repose sur la transformation de l'énergie chimique en énergie électrique.

Ainsi, lorsque l'automobile se met en marche (décharge), un phénomène se produit au niveau des électrodes. Les électrons de la cathode seront libérés pour rejoindre les électrodes de l'anode. Cette migration d'électrons va donc créer un courant électrique.

Lorsque la voiture électrique a besoin de renouveler son énergie (recharge), le phénomène inverse se produit. L'énergie transmise par le chargeur va faire revenir les électrons de l'anode vers la cathode. Attention, ce fonctionnement peut être altéré à cause du froid, ainsi l'autonomie de votre véhicule électrique baissera en hiver. [2.18]

2.9 LES INCONVENIENT DE LA BATTERIE DE VOITURE ELECTRIQUE

La batterie de la voiture électrique peut comporter certains inconvénients en matière d'autonomie, de temps de recharge et de coût.

➤ **Autonomie :**

Selon les mesures prises par le cycle d'homologation NDEC (New European Driving Cycle), une batterie de voiture électrique peut tenir de 160 à 200 km. Pourtant, en utilisation réelle, la batterie d'un VE tient rarement plus de 100 km. [2.17]

Quelques astuces simples de conduite ou d'utilisation du chauffage ou de la climatisation par exemple permettent de préserver l'autonomie de la batterie.

➤ **Recharge :**

- La recharge de la batterie est souvent longue et tributaire des types de prises utilisées :
- La prise domestique 220 V, disponible partout, mais nécessitant une recharge de 10 à 13 heures.
- La prise de recharge rapide « wallbox », permet une recharge de 8 à 10 heures en version 16A et 4 à heures en version 32A. Le coût de cette borne est de 600 €
- La station de recharge rapide (parkings souterrains, grandes surfaces, etc.) permet une recharge en 30 minutes 900 €.

➤ **Poids :**

Actuellement, le poids des batteries des VE est de 250 kg : pour avoir aujourd'hui l'autonomie d'un véhicule thermique, le poids des batteries devrait s'élever à 1 250 kg. [2.17]

➤ **Sécurité :**

Certaines batteries lithium-ion peuvent court-circuiter avec le vieillissement et provoquer une explosion. [2.17]

2.10 LE BILAN ECOLOGIQUE DE LA BATTERIE

Pour établir une photographie la plus juste possible de l'impact environnemental du VE et de ses batteries, il faut connaître quelques chiffres.

2.10.1 Le Bilan Carbone

Le bilan carbone moyen du véhicule thermique est de 142 g/km équivalent CO². Celui du VE, quant à lui, oscille (grandement à cause de la batterie) entre 1 g/km et 150 g/km. Cela dépend si les cycles de recharge sont exclusivement assurés en production d'électricité par les centrales nucléaires (ce qui est le cas en France) ou si cette énergie est fournie par des centrales charbon, gaz ou fuel (beaucoup de pays européens le font). [2.17]

2.10.2 Le bilan environnemental

Il est très réducteur de se limiter au bilan carbone (comme le font beaucoup de lobbies). Le bilan environnemental couvrant le cycle de vie complet du véhicule (production, utilisation et recyclage) est beaucoup plus représentatif.

Une analyse du cycle de vie du VE initiée par l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) est parvenue aux conclusions suivantes :

- Le fossé entre véhicule thermique et VE est faible (impact inférieur de 9 à 14 % pour 100 000 km parcourus au bénéfice du VE).
- La batterie a un impact important sur ces résultats, à cause de sa production (extraction de métaux comme le lithium), son utilisation (consommation d'énergie à la recharge) et son recyclage, difficile et consommateur d'énergie. [2.17]

2.11 QUEL EST LE PRIX D'UNE BATTERIE DE VOITURE ELECTRIQUE

2.11.1 À l'achat

Certains constructeurs automobiles comme Volkswagen, BMW ou encore Mercedes, imposent l'achat intégral (voiture et batterie) à leurs clients. D'autres, comme Renault, Nissan, Citroën ou Peugeot offrent la possibilité de faire un choix.

Cette option suppose que vous devez disposer d'un fond suffisant et même plus important qu'à la location pour posséder un modèle électrique. En contrepartie, vous serez le propriétaire de votre véhicule et vous n'aurez plus à verser quoi que ce soit, hormis le prix de la voiture électrique avec batterie.

Le souci reste cependant le remplacement de la batterie une fois que celle-ci a fait son temps et que la garantie constructeur est expirée. Vous devez acheter une nouvelle batterie à vos frais. Le coût se situe sur une tranche de 4 000 à 9 000 euros selon le constructeur. Pour la Zoe finition R110 Life de Renault, l'achat intégral est de 25 000 euros, bonus écologique inclus. [2.18]

2.11.2 En location

Ainsi, pour la location, l'option vous ouvre droit à une garantie de remplacement, un filet de sécurité bénéfique lorsque la batterie commence à perdre sa performance. D'autres services spécifiques comme l'entretien ou encore l'assistance en cas de panne peuvent s'ajouter à cette option.

Seulement, la location a un coût, car vous êtes obligé de payer un loyer mensuel. En moyenne, le tarif mensuel est compris entre 60 et 150 euros. Et puis, si vous songez à revendre la voiture électrique avec option de location de batterie, les acheteurs pourront se rétracter à l'idée de devoir reprendre ou de renouveler le contrat de location. Chez Renault, la Zoe finition R110 Life est proposée à 16 900 euros sans batterie. Il faudra ensuite louer la batterie en fonction des besoins en kilométrage et de la durée du contrat. Pour un contrat de 37 mois et 7 500 km/an, le loyer est de 74 euros/mois. (Prix juin 2020)

Avant de choisir une option, pesez le pour et le contre et faites vos calculs. Et n'oubliez pas qu'il existe une autre solution d'achat d'un véhicule électrique, la LLD. Vous pouvez comparer des offres et décider ensuite si la location même du véhicule électrique s'avère plus rentable que les deux options précédentes. [2.18]

2.12 QU'EN EST-IL DE LA DUREE DE VIE DE LA BATTERIE ?

La durée de vie de la batterie de la voiture électrique diffère selon le fabricant. Si certains estiment que leurs produits peuvent durer jusqu'à 15 ans, d'autres relativisent en avançant une moyenne de 8 ans. D'autres constructeurs évaluent la durée de vie de la batterie en fonction du nombre de kilomètres parcourus par la voiture. Mais le repère le plus fiable demeure le nombre de cycles de charge maximum. Savez-vous que l'écoconduite permet de faire des économies d'électricité mais aussi de prolonger le bon état de votre batterie ? [2.18]

2.12.1 Quand remplacer sa batterie ?

Au fur et à mesure des cycles, la batterie va perdre en capacité. Il convient donc de remplacer sa batterie lorsque le nombre de cycles de charge est dépassé. Ce nombre se situe généralement entre 1 000 et 1 500. Et puis, un cycle de charge correspond non pas à la recharge du véhicule (branchement et débranchement sur une prise de recharge pour voiture électrique), mais plutôt au passage de 0 à 100 % de la batterie. Ainsi, si vous souhaitez recharger votre voiture de 35 % à 80 % lors de votre passage dans une station de recharge, il s'agira d'un demi-cycle de charge. [2.18]

2.12.2 Comment sont recyclées les batteries lithium-ion ?

Afin d'éviter que les composants des batteries des voitures électriques se retrouvent dans la nature, des solutions ont été avancées. En France, la société de recyclage des batteries SNAM opère auprès de nombreux constructeurs auto pour récupérer et recycler les batteries des véhicules électriques en fin de vie de ces derniers.

De plus en plus de solutions tendent vers une seconde de vie des batteries de voitures électriques. Parmi celles-ci, on notera l'initiative du groupe Renault-Nissan, en utilisant les batteries usagées de leurs véhicules électriques pour stocker de l'électricité stationnaire. [2.18]

2.13 CAPACITÉ DE LA BATTERIE DU VÉHICULE ÉLECTRIQUE [2.4]

2.13.1 La puissance du véhicule – kW

Pour une voiture thermique, vous allez vous intéresser à la puissance du moteur. Elle est exprimée en chevaux vapeurs (cv). Selon votre usage vous allez opter pour un véhicule ayant plus ou moins de puissance. Si vous effectuez la plupart de vos trajets en autoroutes, vous allez privilégier une puissance supérieure à un usage exclusivement citadin.

Bonne nouvelle Pour la voiture électrique, le principe est le même. La puissance du moteur électrique est exprimée en kilowatts (kW) avec $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$. Selon la distance à parcourir et la vitesse auxquelles vous effectuez vos trajets vous allez privilégier une puissance de moteur plus ou moins importante.

L'équivalence entre la puissance moteur entre une voiture électrique et thermique, est calculée selon la formule suivante : $1 \text{ kilowatt (kW)} = 1.341 \text{ chevaux vapeurs (cv)}$

Ex : Je possède une voiture électrique ayant une puissance de 68 kW. Equivalence puissance cheval-vapeur = $68 \times 1.341 = 91 \text{ cv}$

2.13.2 La capacité de la batterie – kWh

La principale notion qui diffère du véhicule thermique est la batterie. C'est un élément central dans le choix de son véhicule électrique. La capacité de la batterie est la quantité d'énergie que peut restituer la batterie du véhicule après avoir reçu une charge complète. Elle est exprimée en kilowattheure (kWh). Cette notion va nous servir sur la consommation énergétique juste en dessous.

2.13.3 La consommation – kWh / 100km

Contrairement à un véhicule thermique, une voiture électrique "consomme" beaucoup moins en ville.

Lorsqu'un véhicule diesel consomme en moyenne 6 L/100 km et qu'un véhicule essence consomme 7.3 L /100 km, une voiture électrique consomme en moyenne 15 kW /100 km.

L'équivalence entre la consommation d'une voiture électrique et celle d'une voiture thermique essence est :

1 L/100 km = 9.85 kWh/100 km

Exemple : Je possède un véhicule ayant une consommation de 15 kW/100 km.

Equivalence consommation voiture électrique = $15 / 9.85 = 1.5$ L/ 100 km

2.13.4 Autonomie de la batterie – Km

L'autonomie est la distance que la batterie permet à la voiture de parcourir. Elle est exprimée en km. Elle est fonction de différents facteurs : température extérieure, utilisation du chauffage, profil de conduite, profil du parcours. Pour une voiture électrique l'autonomie est :

Autonomie = Capacité de la batterie / Consommation

Exemple : Prenons un véhicule ayant une batterie de 41 kWh et une consommation de 15 kW/100 km. Autonomie = $(41 \times 100) / 15 = 273$ km

2.14 LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DES DIFFERENTES BATTERIES

2.14.1 Batterie plomb-acide

- Avantages : Les batteries au plomb-acide sont les plus grandes. Les batteries au plomb-acide sont les plus faibles et les plus couramment utilisées, et la Chine est le plus grand producteur mondial de batteries au plomb-acide. Il contient moins de composants contaminés et est recyclable.
- Inconvénients : petit volume spécifique et courte durée de vie. C'est-à-dire que sous la même capacité, la batterie est lourde et encombrante. Les batteries plomb-acide actuelles sont essentiellement développées à partir de batteries de type flotteur. La batterie flottante ne convient pas à la charge rapide et à la décharge de courant élevée. Bien que le technicien ait consacré beaucoup d'efforts à améliorer le produit, il peut être mis en pratique, mais sa durée de vie en tant que batterie de véhicule électrique est encore très insatisfaisante. [2.5]

2.14.2 Batterie nickel-hydrogène

- Avantages : Le volume spécifique des batteries nickel-hydrure métallique est bien meilleur que celui des batteries plomb-acide. La durée de vie des batteries monocellulaires est également bonne, et les caractéristiques de charge-décharge à courant élevé sont meilleures que les batteries au plomb-acide.
- Inconvénients : Il existe de nombreux problèmes de gestion dans la série de batteries nickel-hydrogène. Une fois la charge effectuée, le problème de fusion du séparateur à cellule unique se forme, entraînant une défaillance rapide de l'ensemble de la batterie. Par conséquent, le principal problème technique de la batterie domestique nickel-hydrure métallique est le problème du chargeur et du système de gestion de la batterie, et ce problème n'a pas suscité suffisamment d'attention de la part des fabricants de

batteries et des fabricants. Par conséquent, le développement de batteries nickel-hydrogène a reçu de grandes contraintes. [2.5]

2.14.3 Batterie nickel-cadmium

- Avantages : Les caractéristiques de courant élevé des batteries nickel-cadmium sont meilleures que celles des batteries nickel-hydrure métallique, et leurs caractéristiques de surcharge sont meilleures que celles des batteries nickel-hydrure métallique. La Chine est également le plus grand producteur mondial de piles au nickel-cadmium. Certaines personnes ont soulevé la question de la pollution par le cadmium. La Chine exporte encore un grand nombre de batteries nickel-cadmium et leurs applications vers l'Europe. L'Europe a commencé à le limiter en 2006. Selon les informations diffusées par CCTV, Shenzhen V utilise toujours des piles au nickel-cadmium. C'est l'avantage de sa fiabilité relativement élevée qui rend ce type de batterie encore utilisé dans les équipements aérospatiaux. De cette façon, y a-t-il une surexcitation dans le vélo électrique pour retirer prématurément la batterie nickel-cadmium ? Le coût de la batterie nickel-cadmium et le coût du chargeur sont nettement inférieurs à ceux de la batterie nickel-hydrogène. [2.5]

2.14.4 Batterie lithium-ion

- Avantages : Le volume spécifique des batteries lithium-ion est meilleur que celui des batteries nickel-hydrure métallique. Pour la même capacité des batteries plomb-acide, le poids des batteries lithium-ion est équivalent à celui d'un ordinateur portable, de sorte que les femmes et les femmes âgées et faibles peuvent être utilisées. Sa durée de vie peut également être meilleure que celle des batteries nickel-hydrure métallique. La batterie actuelle du téléphone mobile utilise essentiellement cette batterie.
- Inconvénients : La résistance interne de la batterie au lithium est relativement grande. Lorsqu'elle est utilisée sur un vélo électrique, la batterie ne sera pas suffisamment alimentée lorsque la batterie est sur le point d'être complètement déchargée. Le principal problème des batteries lithium-ion pour véhicules électriques est que la batterie va exploser dans un état surchargé et surchargé. La batterie du téléphone portable est utilisée comme une seule batterie, et lorsqu'elle est utilisée avec un bon circuit de protection pour éliminer fondamentalement le problème de l'explosion de la batterie. Dans l'utilisation de vélos électriques, il est nécessaire d'utiliser une pâte en série. [2.5]

2.15 LES PRIX DES BATTERIES DU VOITURE ELECTRIQUE

En raison de la forte demande de combustibles fossiles sur les marchés internationaux ainsi que de l'aggravation des problèmes environnementaux causés par un nombre accru de véhicules à moteur à combustion interne, il y a un intérêt accru pour la recherche et le développement de batteries utilisées dans les véhicules électriques et hybrides.

Ces véhicules représentent une solution pour l'avenir dans le domaine du transport routier, en tenant compte l'intérêt de réduire les émissions de gaz à effet de serre, ainsi que la pollution atmosphérique et sonore [2.6, 2.7].

Selon [2.8], le secteur des transports représente l'un des principaux facteurs déterminants du changement climatique. Changements, 23 % des gaz à effet de serre de l'atmosphère provenant de ce secteur, étant le deuxième dans ce classement après le secteur industriel. Pour cette raison, en 2015, la "Déclaration de Paris sur l'électromobilité et le changement climatique

LA BATTERIE D'UNE VOITURE ELECTRIQUE

et l'appel à l'action" ont été adoptées. Cette déclaration a pour principal objectif de réduire le réchauffement climatique de plus de 2 degrés.

Cet objectif est réalisable si les véhicules électriques représentent 35 % du nombre total de véhicules vendus jusqu'en 2030.

Pour atteindre cet objectif, une baisse du prix d'acquisition des véhicules électriques est obligatoire jusqu'à ce qu'il atteigne un niveau plus proche de celui des véhicules à moteur à combustion interne. De nos jours, la plus grande partie chère d'un véhicule électrique est la batterie, qui représente 25 ... 50 % du prix du véhicule électrique, selon la technologie utilisée [2.9,2.10, 2.11].

Comme présenté par [2.10, 2.12, 2.13], une diminution du coût de la batterie est anticipée d'ici 2025, atteignant un prix de 225 Euros/kWh, qui déterminera une baisse significative du prix d'acquisition des véhicules électriques, les aidant à atteindre une valeur plus proche du prix des véhicules à moteur à combustion interne. Tel que présenté par [9], les coûts de production des batteries Li-Ion ont diminué de plus de 50 % entre 2007 et 2014.

La figure 28 présente une évaluation comparative des prix de marché de différents véhicules électriques, en fonction de capacité de la batterie :

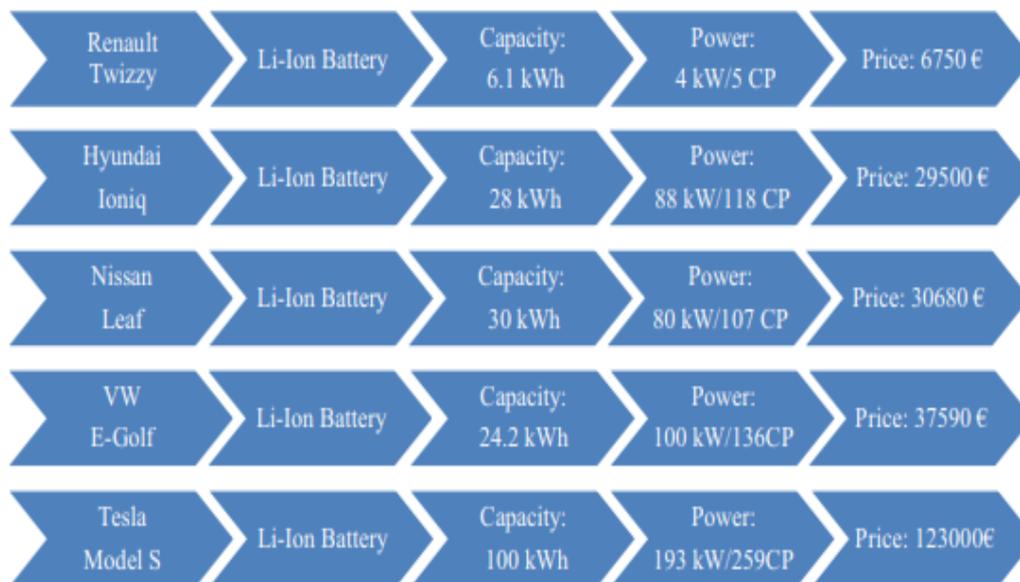


Figure 22 : Évaluation comparative des différents coûts du marché des véhicules électriques

Chapitre 03

Modélisation

**thermoélectrique de la
batterie par la méthode des
éléments finis**

3.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous présentons la partie de modélisation et simulation de notre mémoire c'est la partie la plus importante de notre travail.

Nous avons d'abord conçu une batterie par logiciel « SOLIDWORKS 2018 » en suite nous allons entamer la partie de simulation numérique par « Workbench ANSYS 18.1 », où on va faire le maillage fin avec l'application des conditions aux limites thermiques et électriques sur notre batterie.

3.2 DEFINITION DE” SOLIDWORKS “& “ANSYS”

3.2.1 SOLIDWORKS

Le logiciel SOLIDWORKS est un modéleur volumique permettant de créer des pièces complexes en 3 dimensions. Ces pièces peuvent être ensuite utilisées pour créer des mises en plan en 2D et des assemblages de plusieurs pièces entre elles.

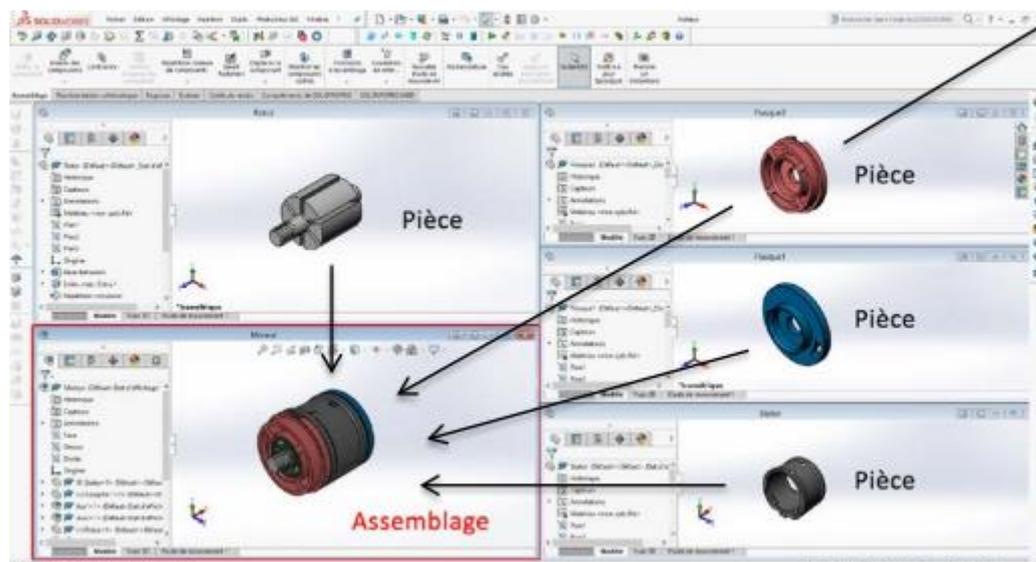


Figure 23 : présentation de l'interface de SolidWorks

3.2.2 ANSYS

ANSYS est un logiciel de simulation numérique FEM leader de son marché utilisé dans le développement de produits industriels. Il couvre toutes les étapes nécessaires à une simulation : le traitement géométrique, le maillage, la résolution, le traitement de résultats et l'optimisation.

ANSYS offre une plateforme de calcul multi-physique intégrant la mécanique des fluides et des structures, l'électromagnétisme, la thermique ainsi que la simulation de systèmes et de circuits.

MODELISATION THERMOELECTRIQUE DE LA BATTERIE PAR LA METHODE DES ELEMENTS FINIS

Les utilisateurs ANSYS sont de domaines industriels différents telles que la construction de machines, les secteurs de l'énergie, l'automobile, le ferroviaire, l'aérospatial, le médical, la microtechnique, la micro-électronique ou encore les biens de consommation.

CADFEM est le centre de compétences et le partenaire d'Ansys en Europe et en Afrique du Nord.

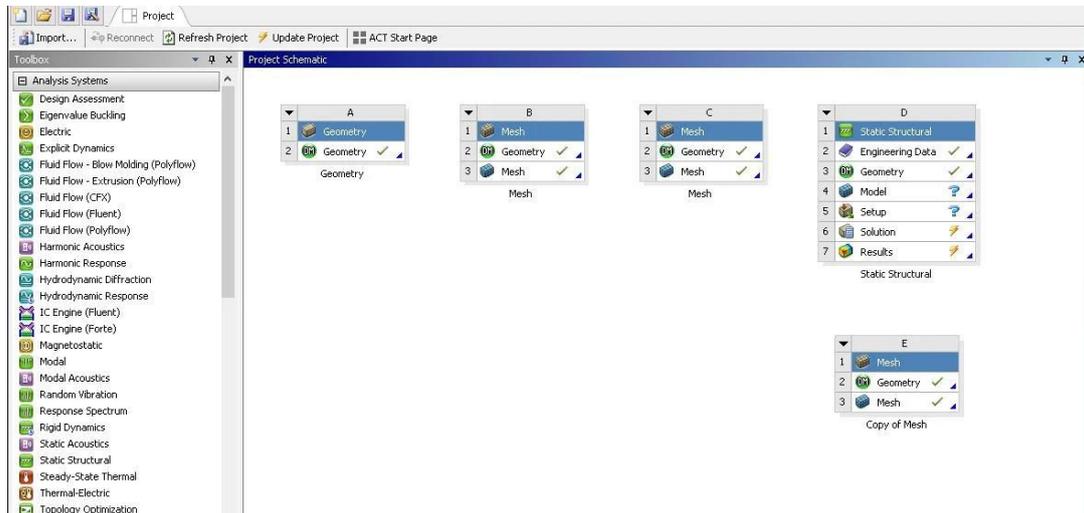


Figure 24: l'interface de ansys workbench

3.3 LA CONCEPTION DE LA BATTERIER

3.3.1 La conception des piles

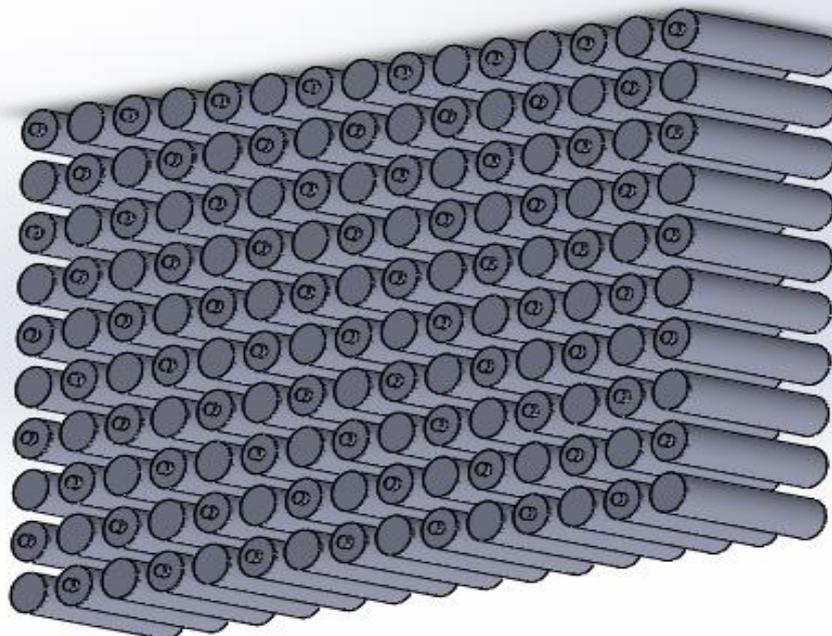


Figure 25 : conception des piles (150 piles)

3.3.2 La conception des connecteurs

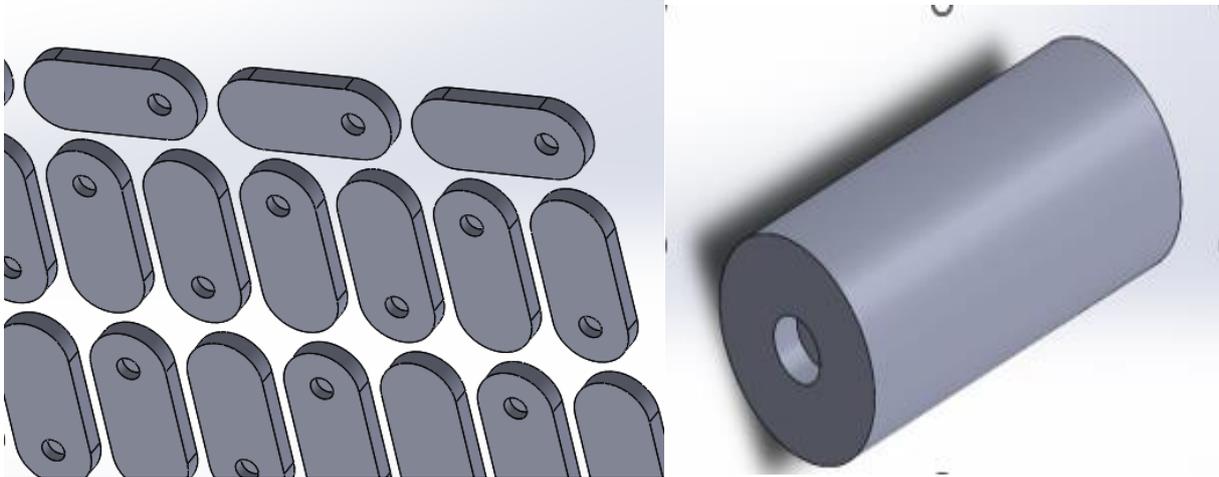


Figure 26:conception des connecteurs

3.3.4 Assemblage des piles avec les connecteurs

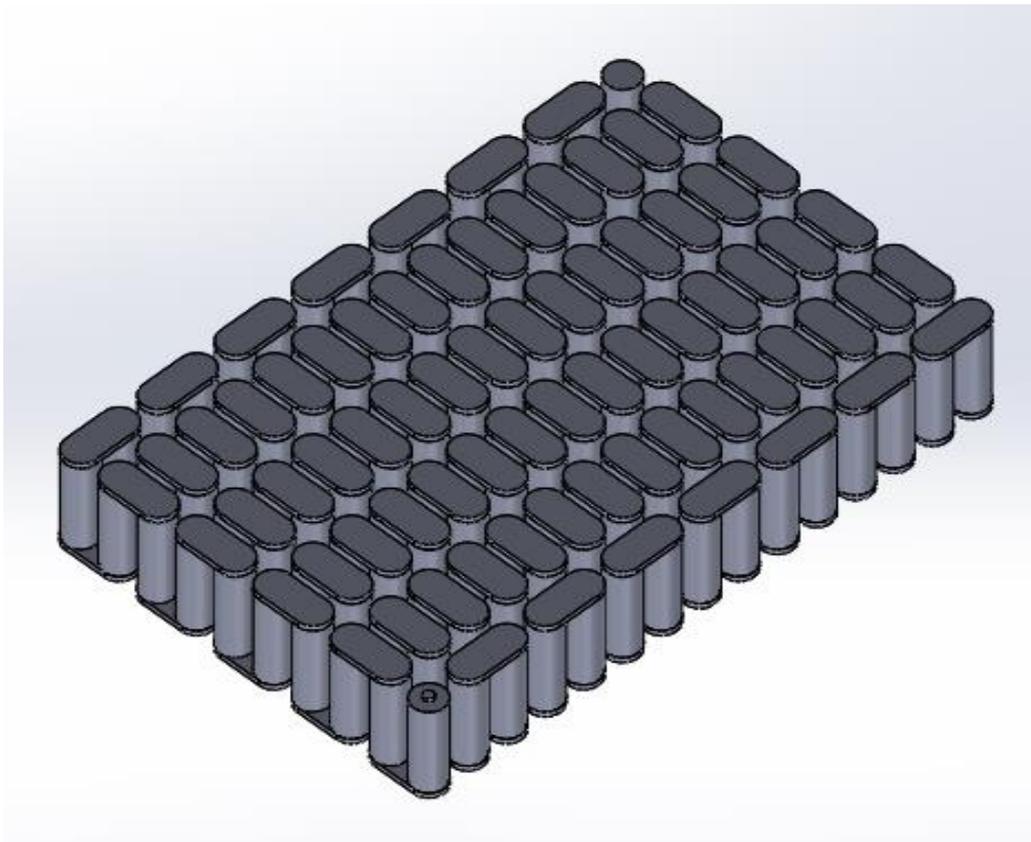


Figure 27:assemblage des piles avec les connecteurs

3.3.5 La conception du boîtier

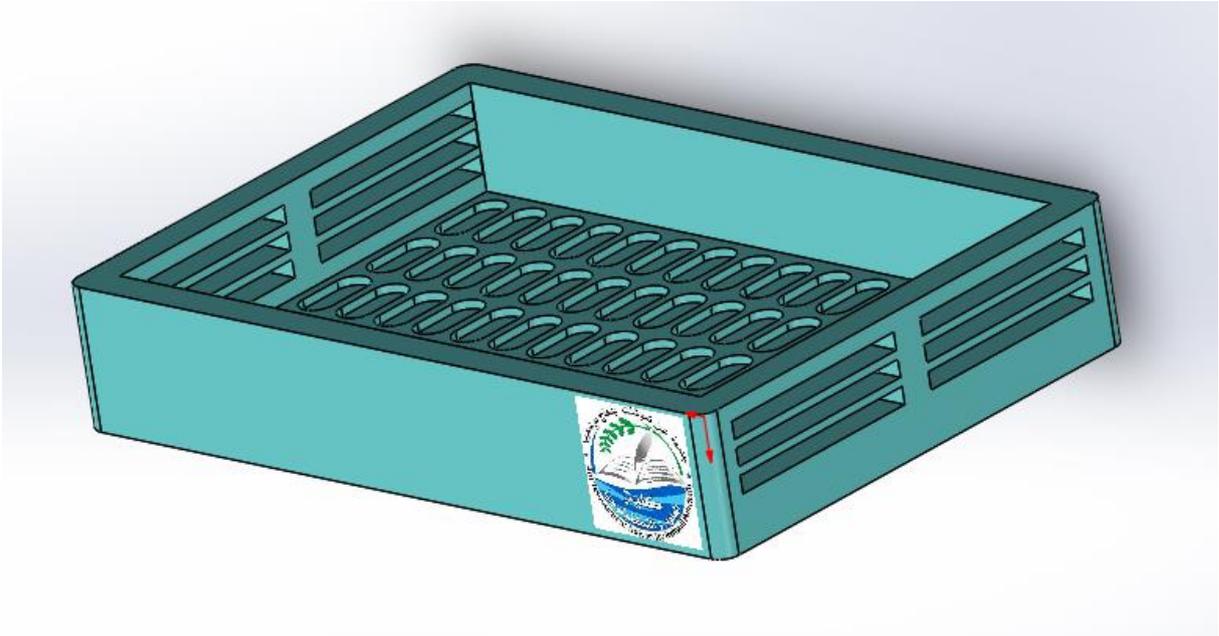


Figure 28 : conception du boîtier

3.3.6 Assemblage des piles avec le boîtier

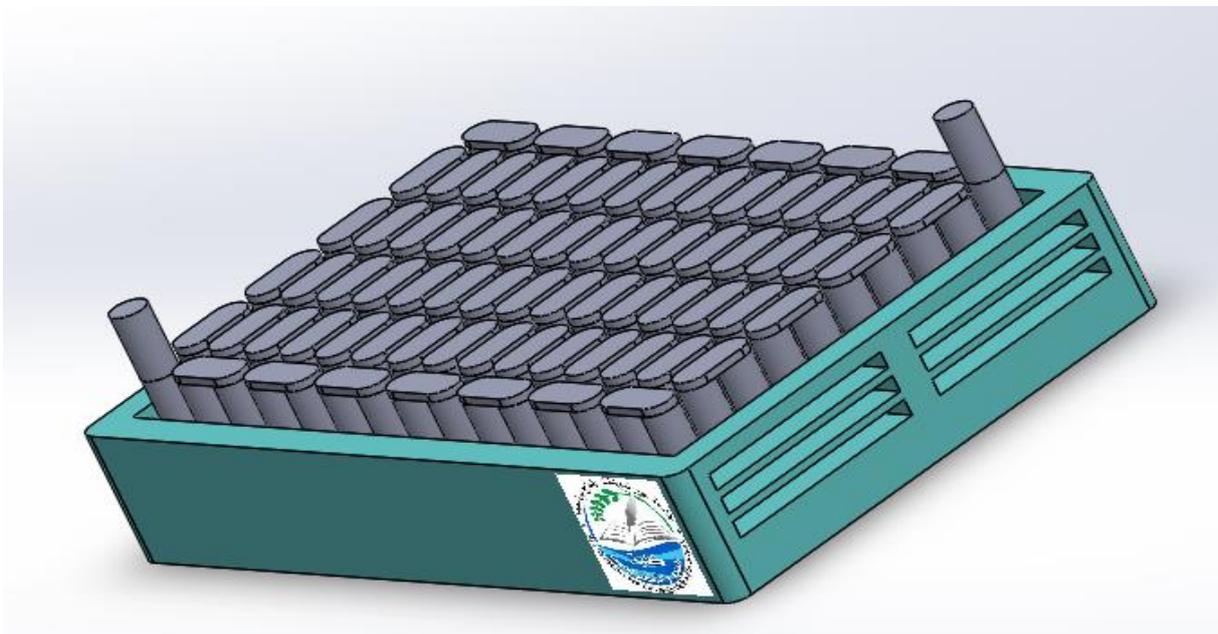


Figure 29: assemblage piles/boîtier

3.4 LES DIMENSIONS ET LA GEOMETRIE DE LA BATTERIER

Notre modèle de batterie est une ensemble des piles et connecteur avec le boîtier, que nous avons fait par logiciel « SOLIDWORKS » avec les dimensions suivantes :

3.4.1 les dimensions des piles et connecteurs

Les dimensions en mm

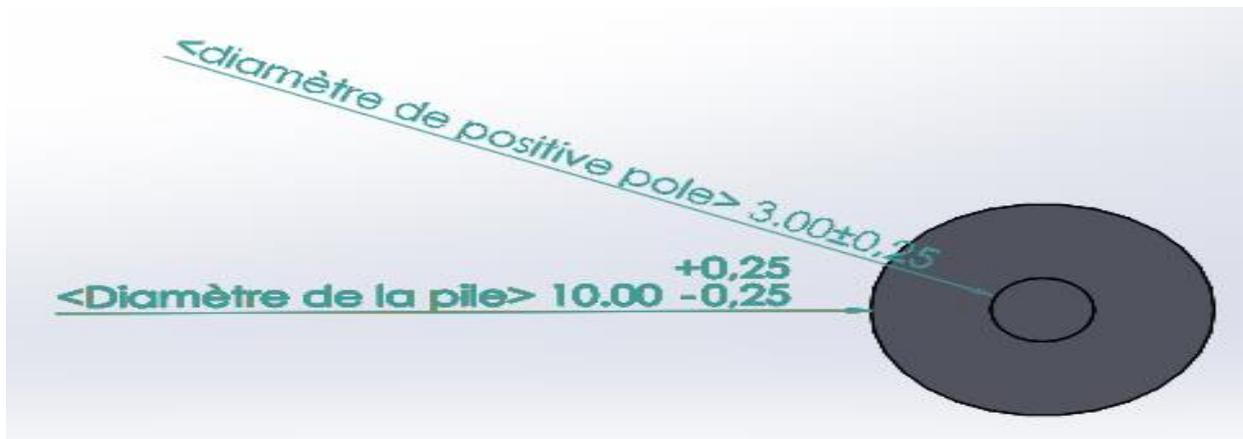


Figure 30 : dimension de la pile vue dessus

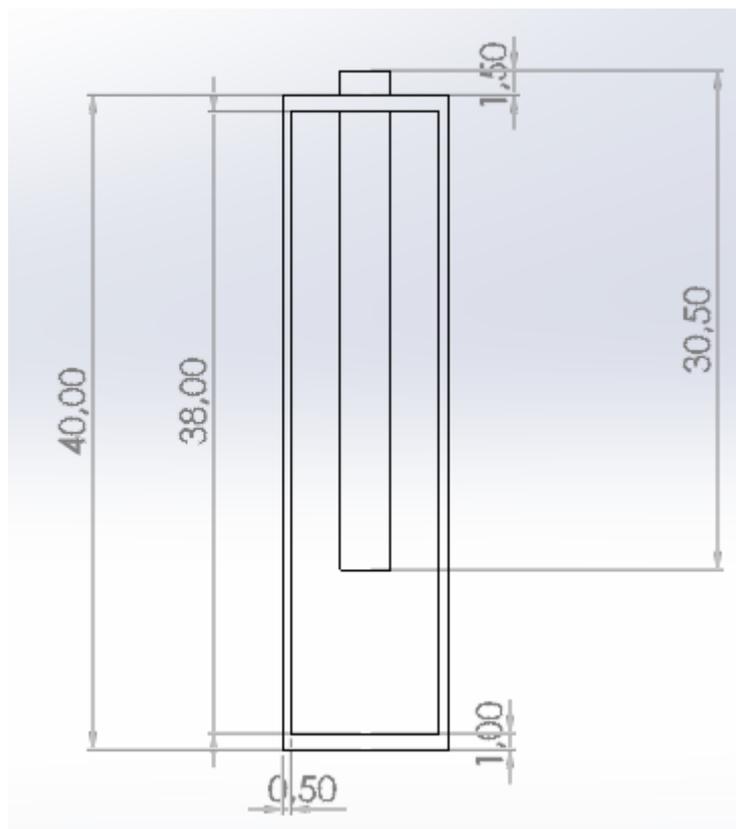


Figure 31: dimension de la pile vue de face

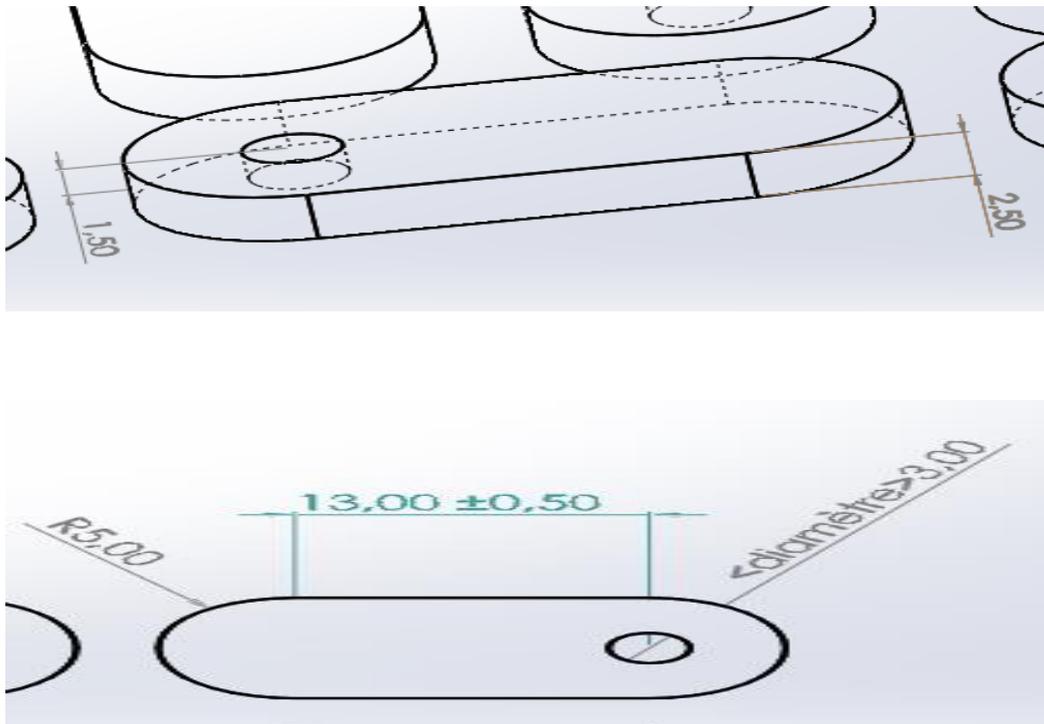


Figure 32: dimension de connecteur

3.4.2 Les dimensions du boîtier

Les dimensions en mm

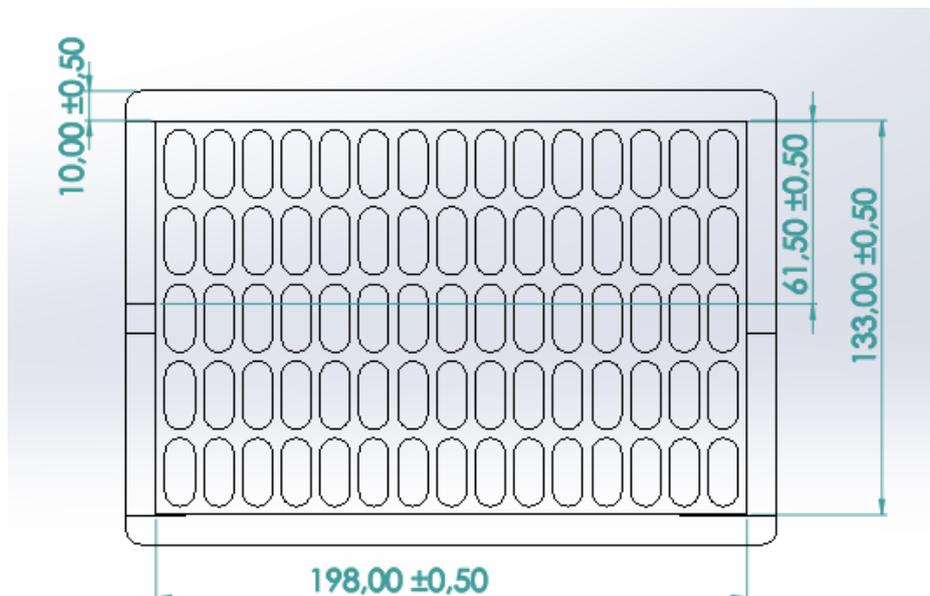


Figure 33: Vue de face

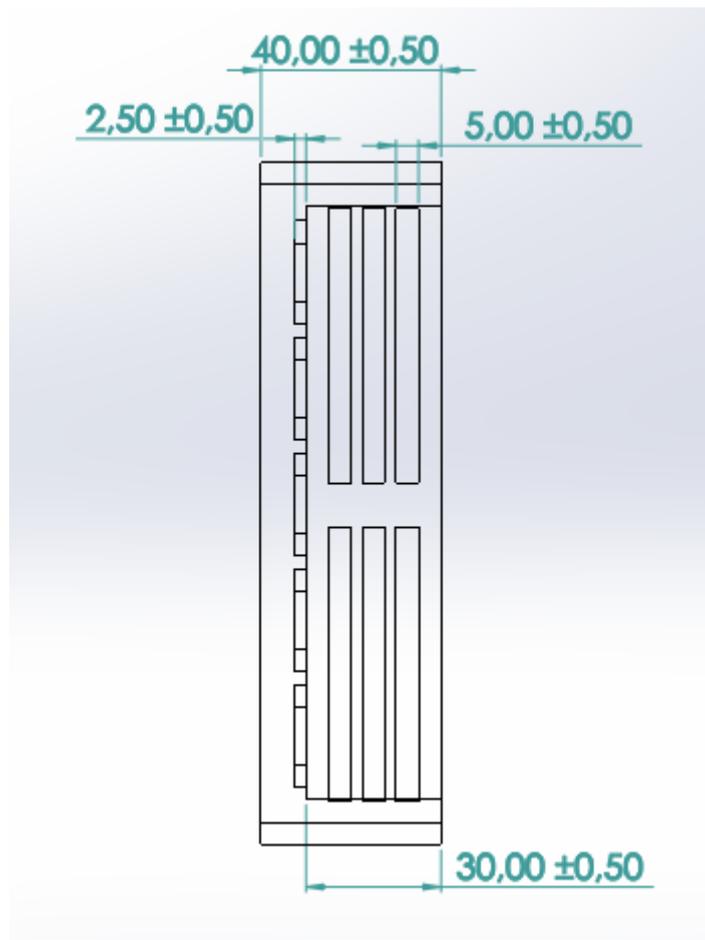


Figure 34 : vue de gauche

3.4.3 Les dimensions de la batterie

Les dimensions en mm

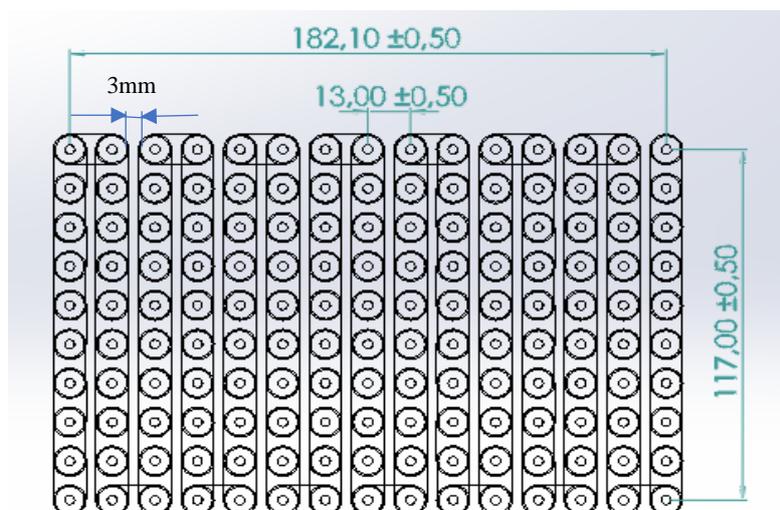


Figure 35: batterie vue de face

3.5 PROPRIETES DES MATERIAUX

3.5.1 Matériaux utilisés pour la simulation

Dans notre simulation on va utiliser 2 types de matériaux :

- Alliage d'aluminium (pilles et connecteurs)
- Bakélite (boitier)

3.5.2 Alliage d'aluminium

Tableau 1:Propriété thermique

Température c°	Conductivité thermique (W /mC°)
-100	114
0	144
100	165
200	175
Température c°	Résistivité (Ohm.m)
0	2,43E-08
20	2,67E-08
100	3,63E-08

3.5.3 Bakélite

La conductivité thermique du bakélite à 20 °C est 1,4 W/.

Notons que la masse du boitier est de 0.607 kg

3.6 CONTACT

Le contact entre les connecteurs bas des piles avec la surface interne du boitier sont liés totalement.

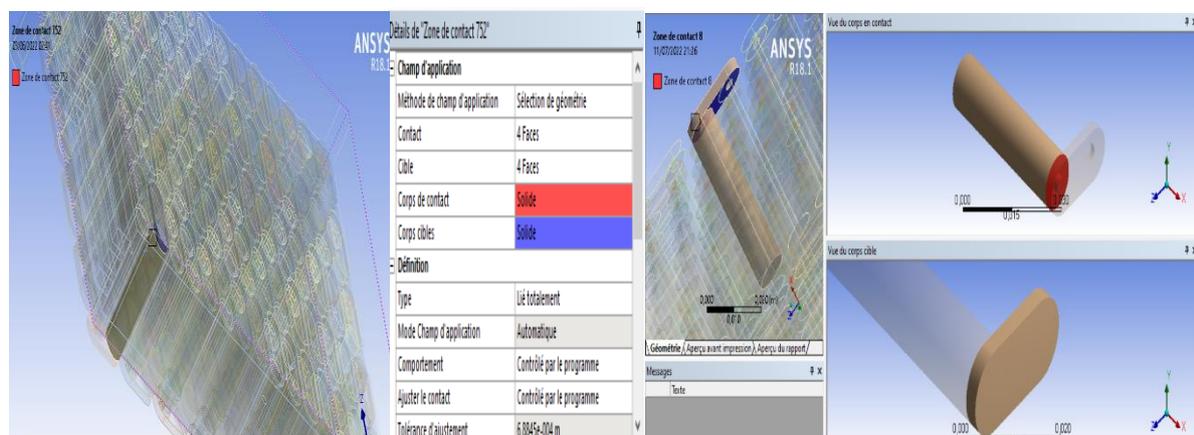


Figure 36:Le contact entre les surfaces basses des connecteurs et la surface interne du Boitier/et le contact entre pile et connecteur

3.7 MAILLAGE

Un maillage est la discrétisation spatiale d'un milieu continu, ou aussi, une modélisation géométrique d'un domaine par des éléments proportionnés finis et bien définis.

L'objet d'un maillage est de procéder à une simplification d'un système par un modèle représentant ce système et, éventuellement, son environnement (le milieu), dans l'optique de simulations de calculs ou de représentations graphiques.

On parle également dans le langage commun de pavage.

La qualité du maillage joue un rôle signifiant dans la précision et la stabilité du calcul numérique.

Ainsi, les attributs tels que la distribution des nœuds, la nature lisse et l'obliquité des éléments sont très importants.

Pour cette étude, l'élément tétra-hyrique quadratique était choisi avec un maillage de type "Fin".

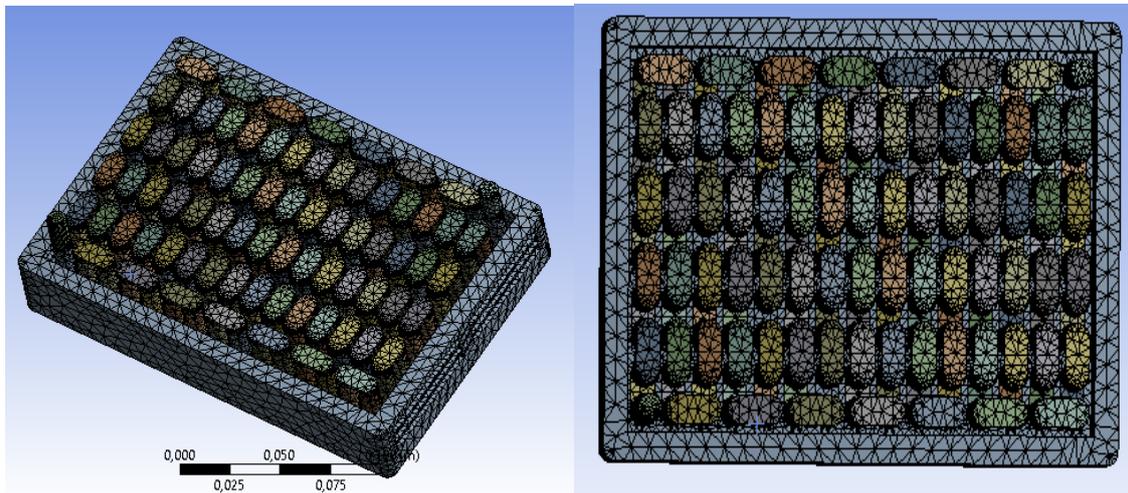


Figure 37 : Maillage EF de la batterie

- Nombre de Nœuds : 1278137
- Nombre des éléments volumiques (Solid Elements) : 712011

3.7.1 Les éléments utilisés dans ce maillage

MODELISATION THERMOELECTRIQUE DE LA BATTERIE PAR LA METHODE DES ELEMENTS FINIS

Dans ce maillage, nous avons utilisé l'élément tétra-hydrrique à dix (10) nœuds, chaque nœud possède 2 degrés de liberté (voltage Volt et température T).

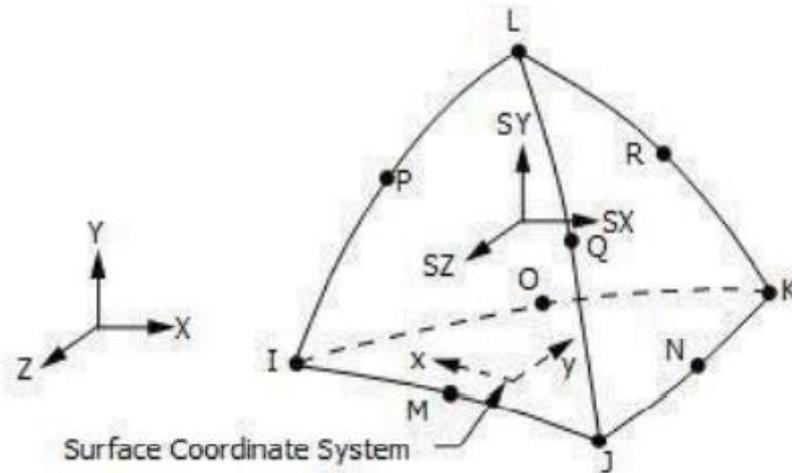


Figure 38 : Élément volumique thermoélectrique

3.8 PROCEDURE DE CALCUL THERMOELECTRIQUE

3.8.1 convection des piles

Température : 22°C

Coefficient de transfert thermique de l'air naturel $h= 5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

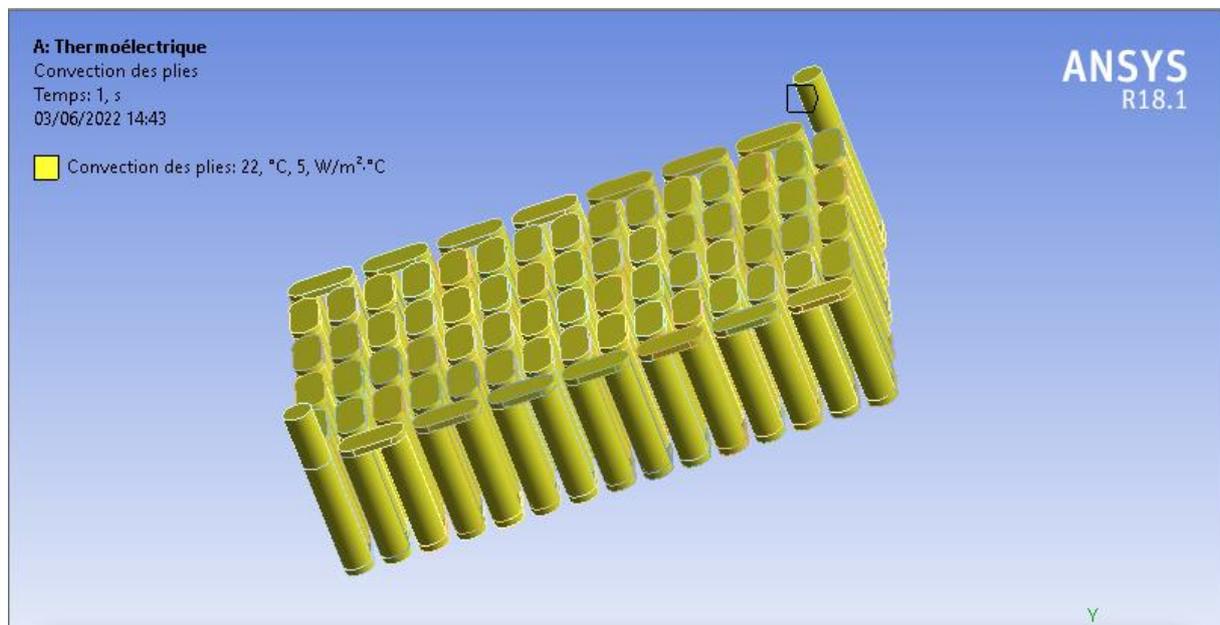


Figure 39: convection des piles

3.8.2 Convection boitier

Température : 22°C

MODELISATION THERMOELECTRIQUE DE LA BATTERIE PAR LA METHODE DES ELEMENTS FINIS

Coefficient de transfert thermique de l'air naturel $h = 5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

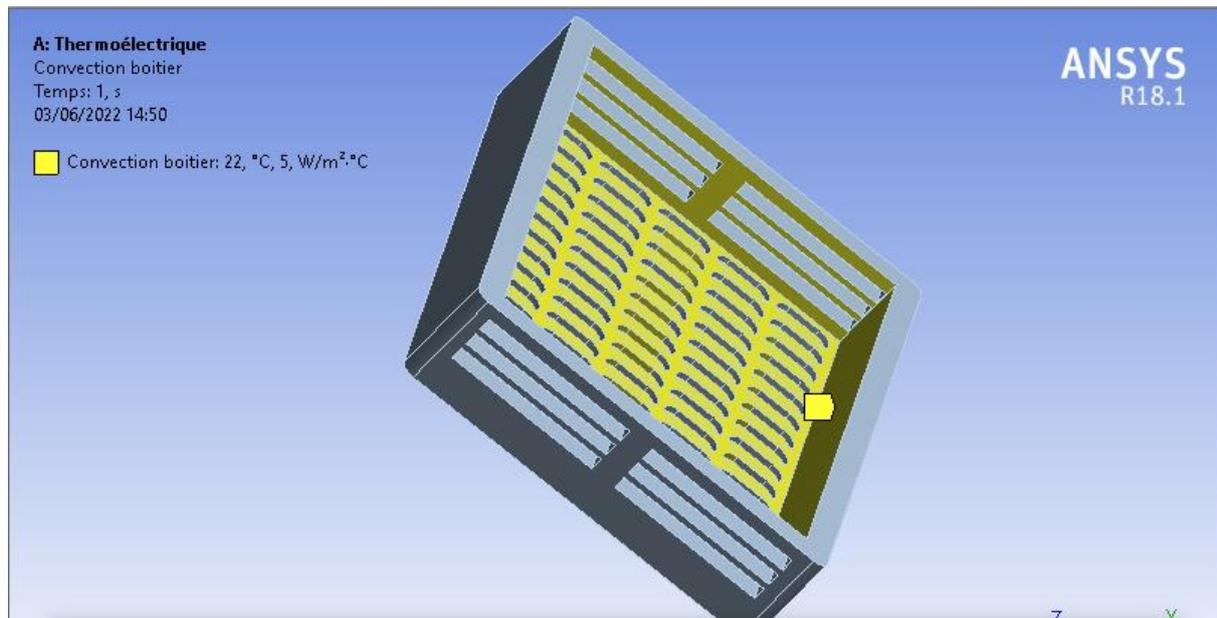


Figure 40 : convection du boitier

3.8.3 Le courant dans le pôle positive

Le courant : 170 A

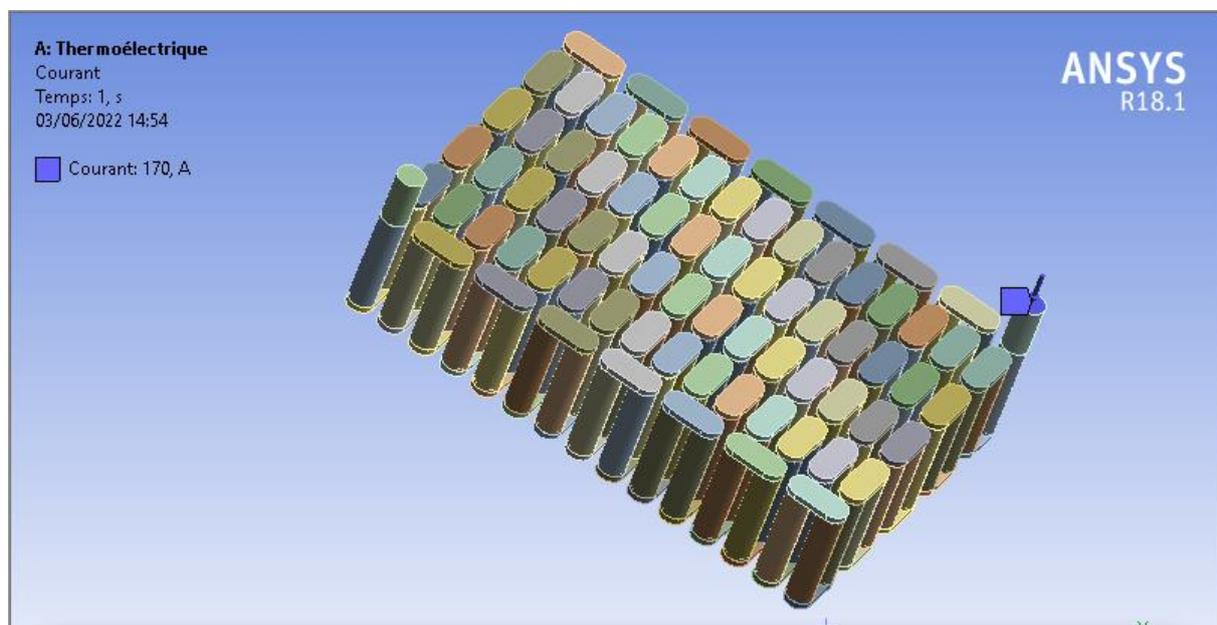


Figure 41:le courant au pôle positive

3.8.4 la tension dans le pôle négative

La tension : 0V

MODELISATION THERMOELECTRIQUE DE LA BATTERIE PAR LA METHODE DES ELEMENTS FINIS

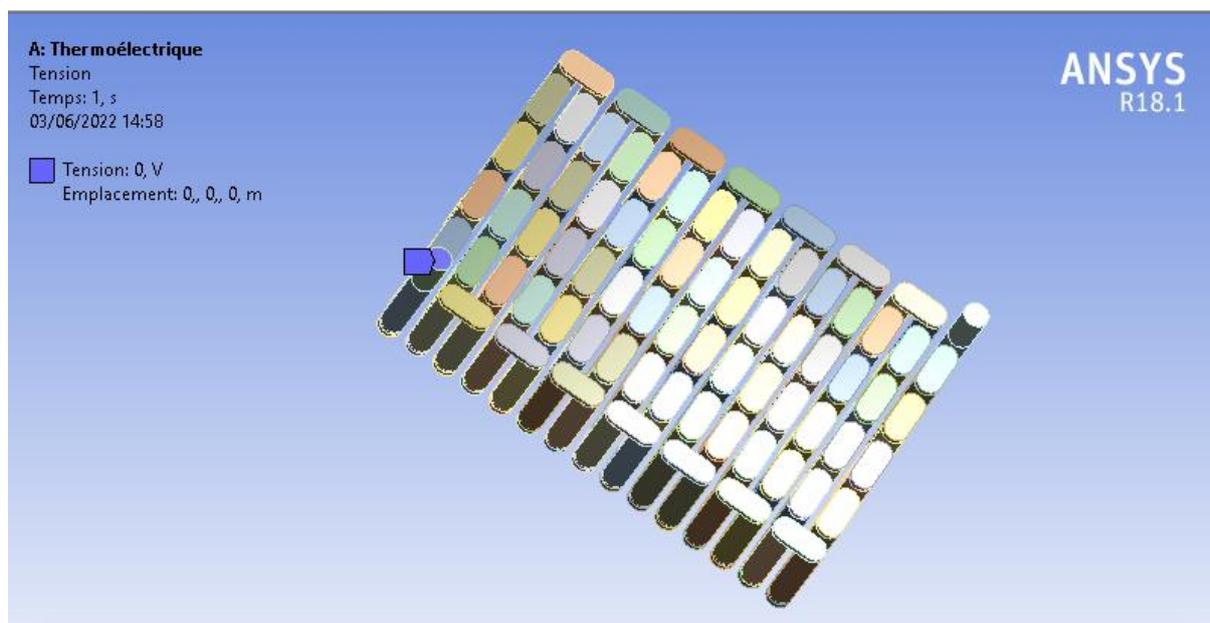


Figure 42:tension au pôle négative

Chapitre 04

Résultants et interprétations

4.1 INTRODUCTION

notre batterie globale avec tous ses module fournies une puissance de 82KW cette puissance est largement suffisante pour faire fonctionner le moteur électrique de traction qui demande au moins 30KW et pour faire fonctionner les autres équipements électriques tels que le climatiseur, le tableau de bord...ect.

On a considéré que la batterie composée de 50 modules connectés en série dans chaque module y a 150 piles

Les piles d'un module de notre batterie donnent 9,6 Volt et 170 Ah chaque module possède une capacité de 1,632KWh et puis si on met 50 modules en série alors on aura un voltage out de 480 Volt et 170 Ah et donc une capacité totale de toute la batterie d'environ 82 kWh.

Chaque cellule nous donne :

- Une Tension de 9.6 V
- Une intensité de 170 ampères

4.2 CALCULE DE LA TENSION

Notre étude est sur une seule cellule

Sur le logiciel ansys on a injecté à la cellule une intensité de 170 ampères sur le pol positif et une tension de 0 v sur le pol négative

On a obtenu une tension électrique initiale : 0.70819 V

La figure suivante montre la tension électrique initiale :

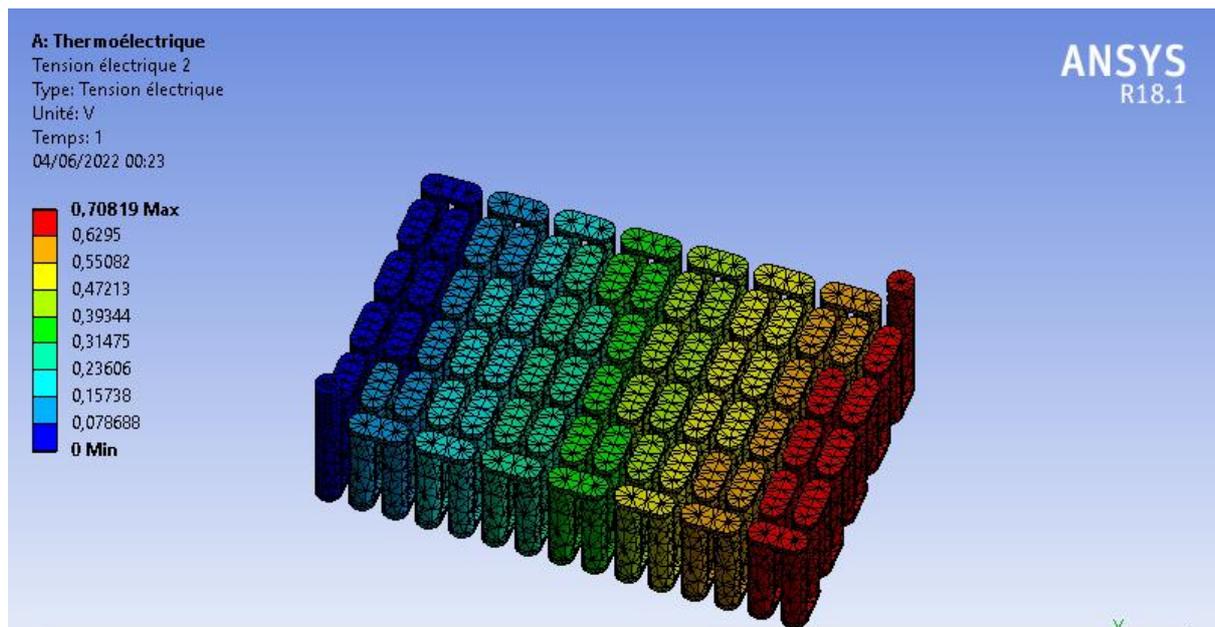


Figure 43:tension initiale

RESULTANTS ET INTERPRETATIONS

On n'a pas obtenu le voltage souhaité parce qu'on ne dispose pas de toutes les informations.

Puisque on ne connaît pas la composition interne ainsi que la résistivité du matériau chimique située à l'intérieur de la pile, et que le logiciel utilisé dans notre étude ne contient pas ces informations.

On a travaillé sur des piles en aluminium qu'ils sont vides à l'intérieur, mais pour régler le problème et se rapprocher de la réalité.

La nouvelle résistivité = (Voltage New/Voltage ancien) * ancienne résistivité

	A	B
1	Température (C) <input type="text" value="0"/>	Résistivité (ohm m) <input type="text" value="2,97E-07"/>
2	0	2,97E-07
3	20	3,26E-07
4	100	4,44E-07
*		

Figure 44 : la nouvelle résistivité obtenue

On a changé la résistivité car réellement la pile n'est pas faite que par l'aluminium mais elle contient à l'intérieur du Lithium, Nickel, graphène... Etc, et tous ces métaux ne sont pris en considération dans notre modélisation c'est pour quoi on doit changer la résistance de nos piles pour qu'elle soit plus proche à la résistance réelle de la batterie.

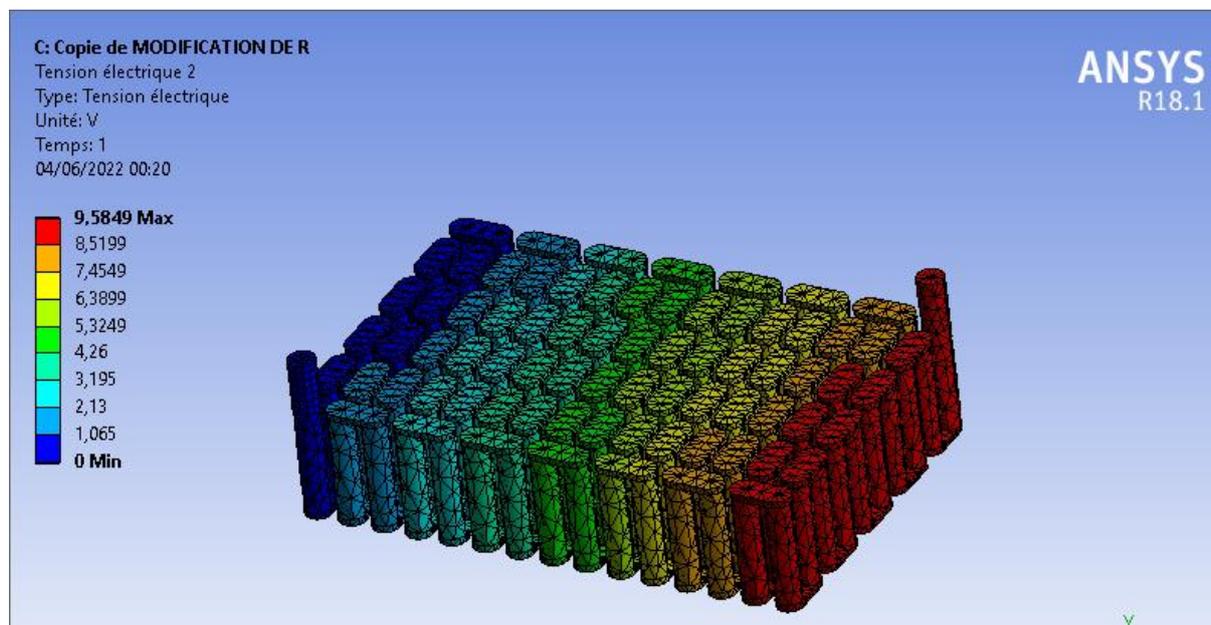


Figure 45 : la nouvelle tension

4.3 LA TEMPERATURE DE LA BATTERIE

- Ces calculs sont faits on considère que la température extérieure est : 22 °C
- Les calculs sont faits par le logiciel Ansys

Le tableau suivant monte les coefficients de convection de chaque fluide [4.2]

Tableau 2: Coefficient de convection

Moyenne	Coefficient de convection (W/m ² . K)
Air (convection naturelle)	5 -25
Air/vapeur surchauffée (convection forcé)	20 -300
Huile (convection forcé)	60 -1800
Eau (convection forcé)	300- 6000
Vapeur (en condensation)	6000 -120000

➤ Air (convection naturelle)

- Convection naturelle (min)=5 h (W/m². K)

On trouve :

Température des piles $T_{MAX}=912.67$ °C

Température du boîtier $T_{MAX}=912.64$ °C

Les figures suivantes montrent la température :

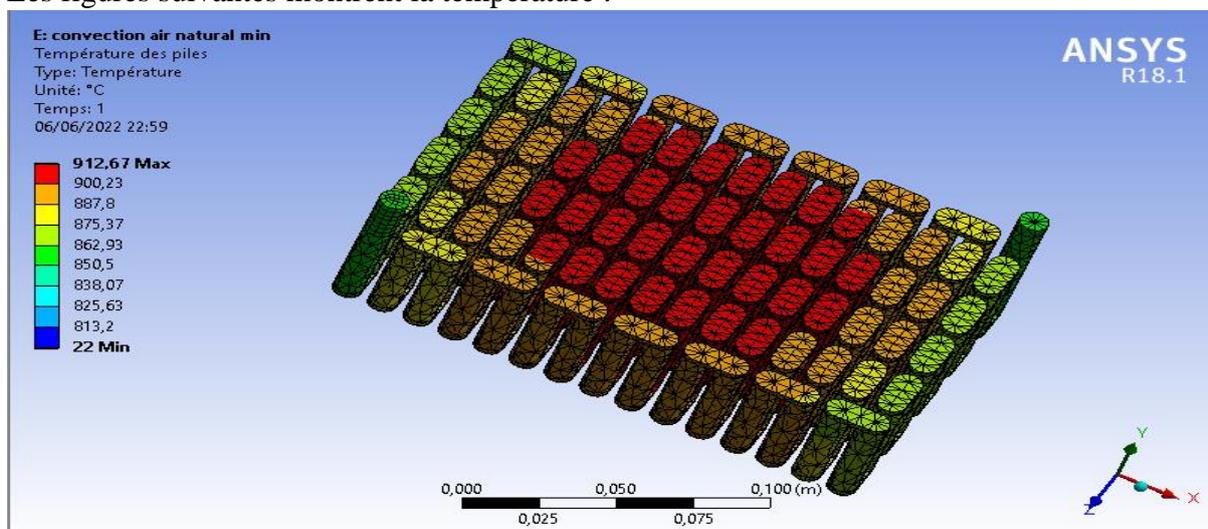


Figure 46: températures des piles (convection air naturel (5 W/m². K))

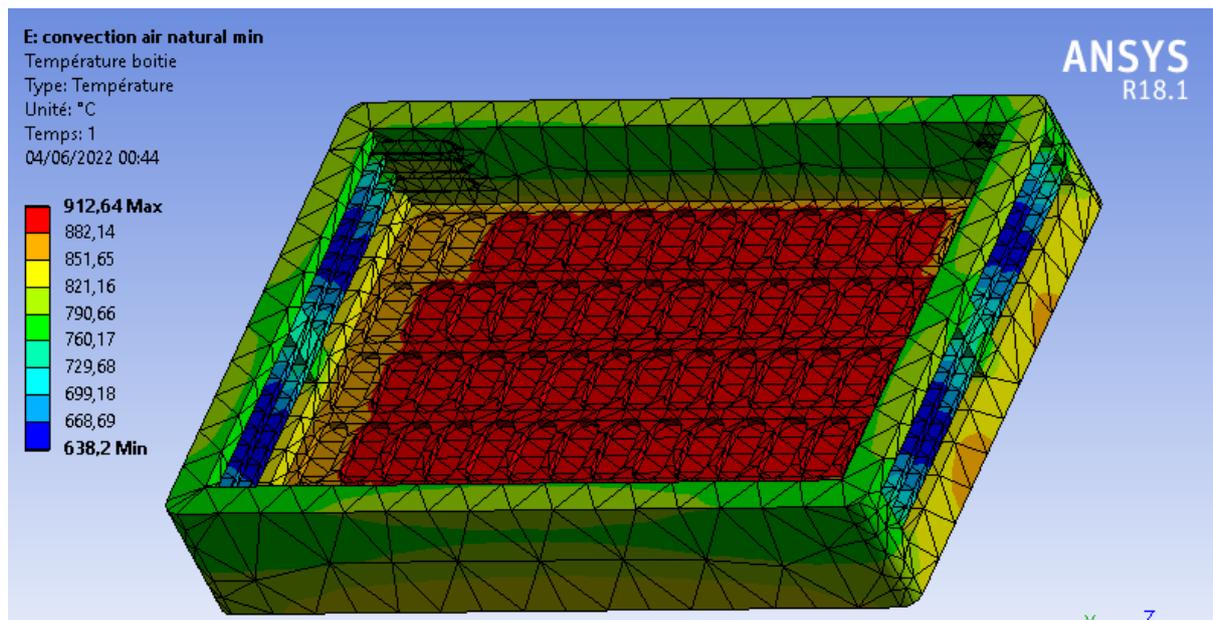


Figure 47: température du boîtier (convection air naturel (5 W/m². K))

Commentaire :

Nous avons remarqué une température importante jusqu'à 912.67°C pour la batterie et de 912.64°C pour le boîtier, il n'y a pas une différence remarquable entre la batterie et le boîtier grâce au contact parfait.

Pour la batterie : la distribution de la température nous montre que l'augmentation de la température est au milieu de la batterie.

Pour le boîtier : la distribution de la température nous montre que la température est dans la partie en dessous du boîtier.

Le flux de chaleur :

MAX=83325 W/m²

MIN=9,32 E-12 W/m²

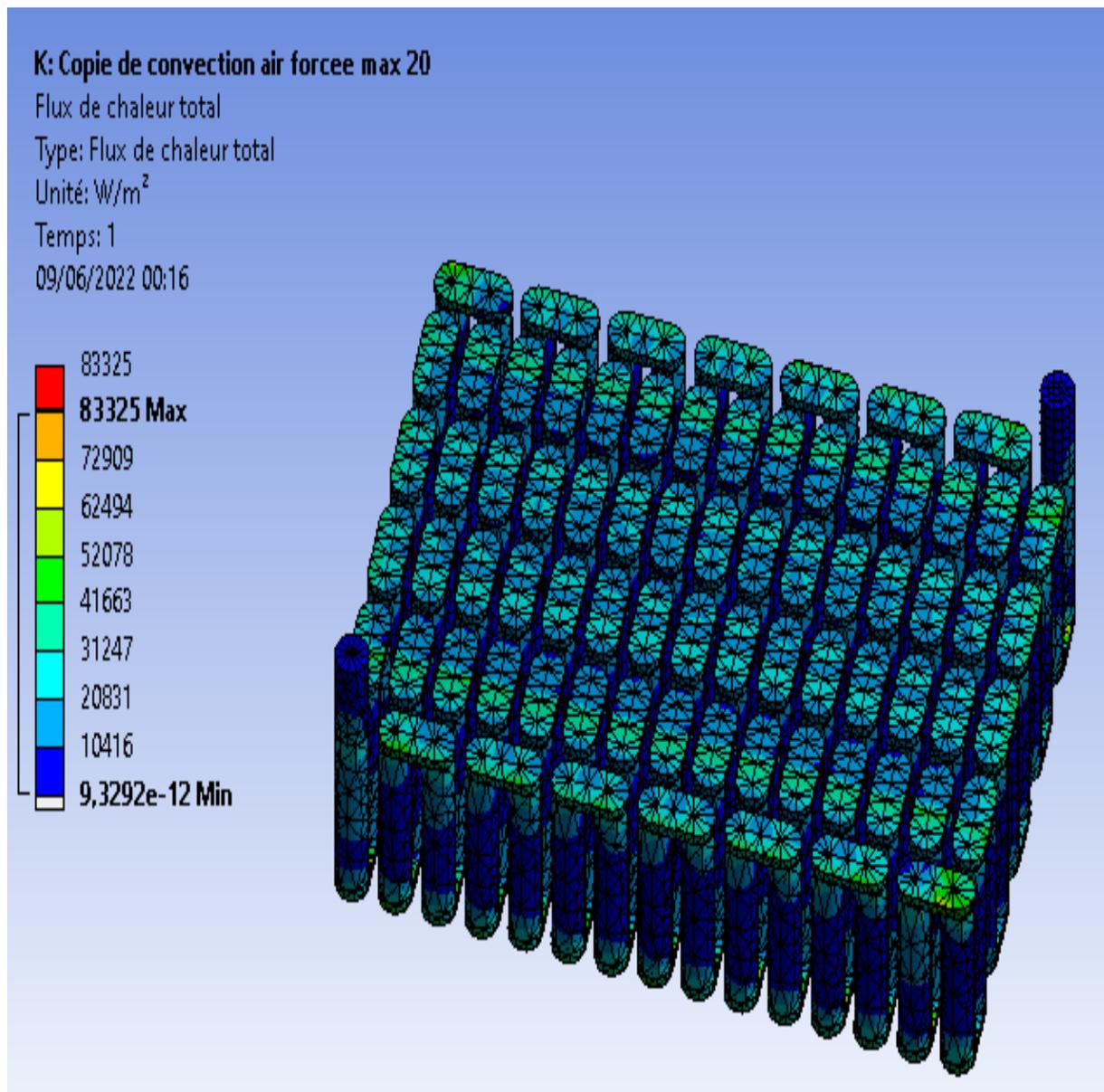


Figure 48:le flux de chaleur

- Convection naturelle (max)=25 h ($W/m^2 \cdot K$)

On trouve :

Température des pile $T_{MAX}=205.56 \text{ } ^\circ\text{C}$

Température du boitier $T_{MAX}=205.53 \text{ } ^\circ\text{C}$

La figure suivante montre la température :

RESULTANTS ET INTERPRETATIONS

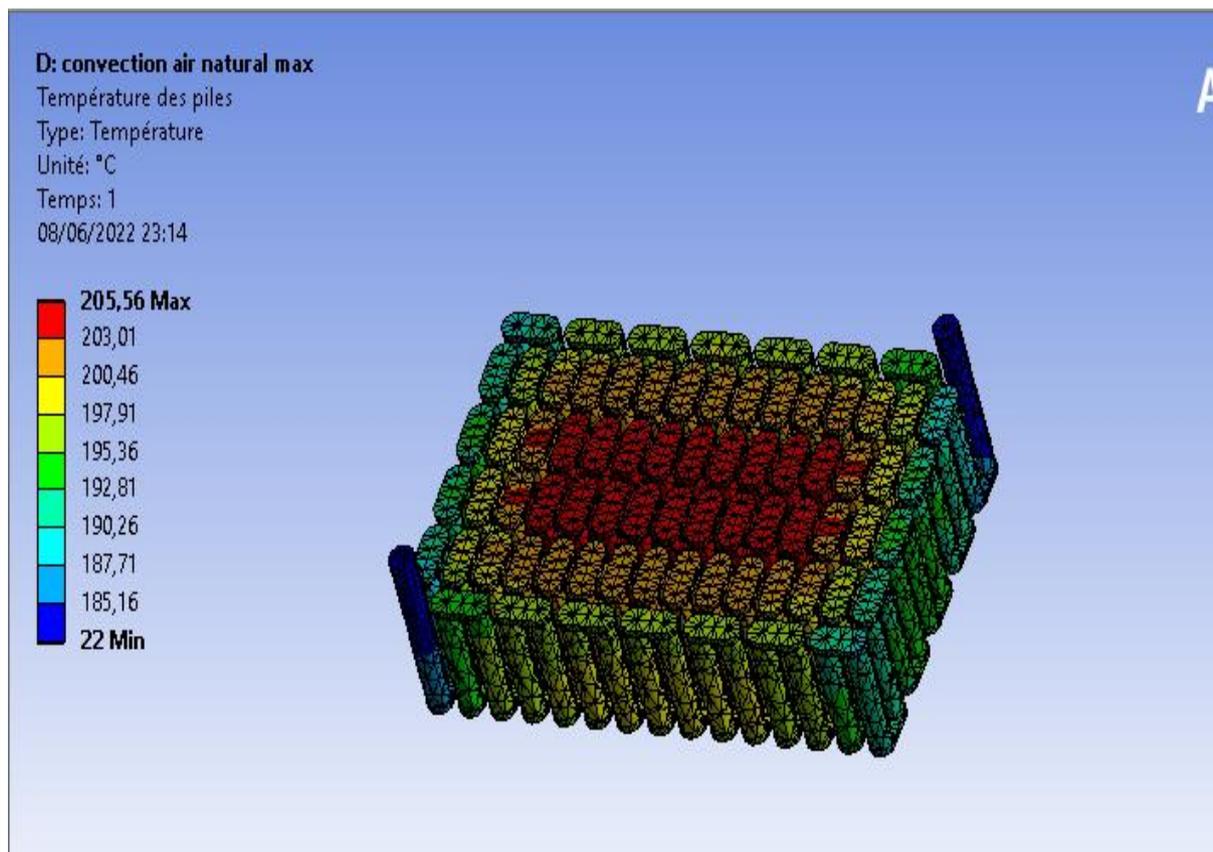


Figure 49 : température des piles (convection air naturel (25 W/m². K))

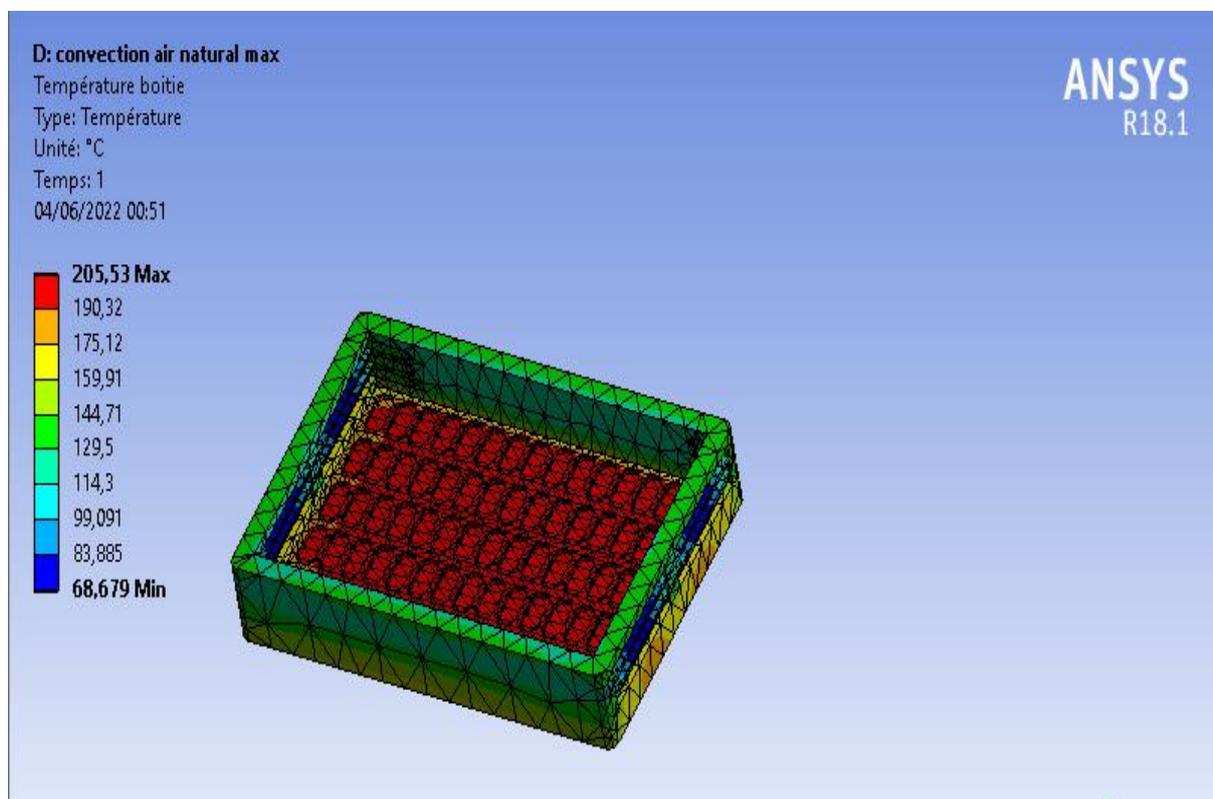


Figure 50 : température du boîtier (convection air naturel (25 W/m². K))

RESULTANTS ET INTERPRETATIONS

Commentaire :

Nous avons remarqué une diminution de la température par rapport à la convection minimale de 912.67°C jusqu'à 253.56°C pour la batterie et de 912.64°C jusqu'à 205.53°C pour le boîtier.

Pour la batterie : la distribution de la température nous montre que l'augmentation de la température est au milieu de la batterie.

Pour le boîtier : la distribution de la température nous montre que la température est dans la partie en dessous.

Même si on réussit de diminuer la température mais la température mais en pense que 205°C reste une température importante.

Le flux de chaleur :

MAX=76634 W/m.m

MIN=1.7 E-12 W/m.m

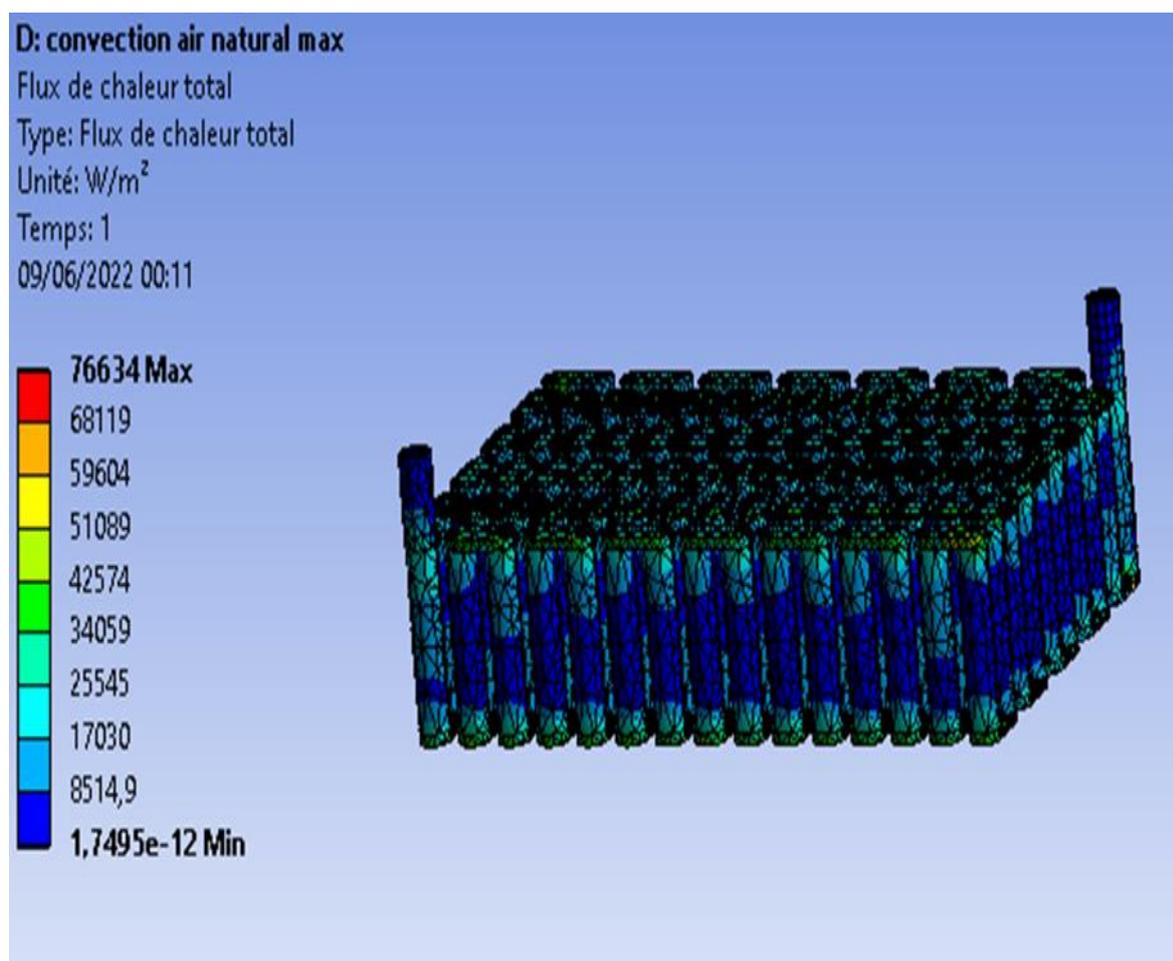


Figure 51:le flux de chaleur air naturel MIN

RESULTANTS ET INTERPRETATIONS

- Air/vapeur surchauffée (convection forcé)
 - Convection forcé (min)= 20(W/m². K)
- On trouve :
- Température des pile $T_{MAX}=250.47\text{ °C}$
- Température du boitier $T_{MAX}=250.44\text{ °C}$

La figure suivante montre la température :

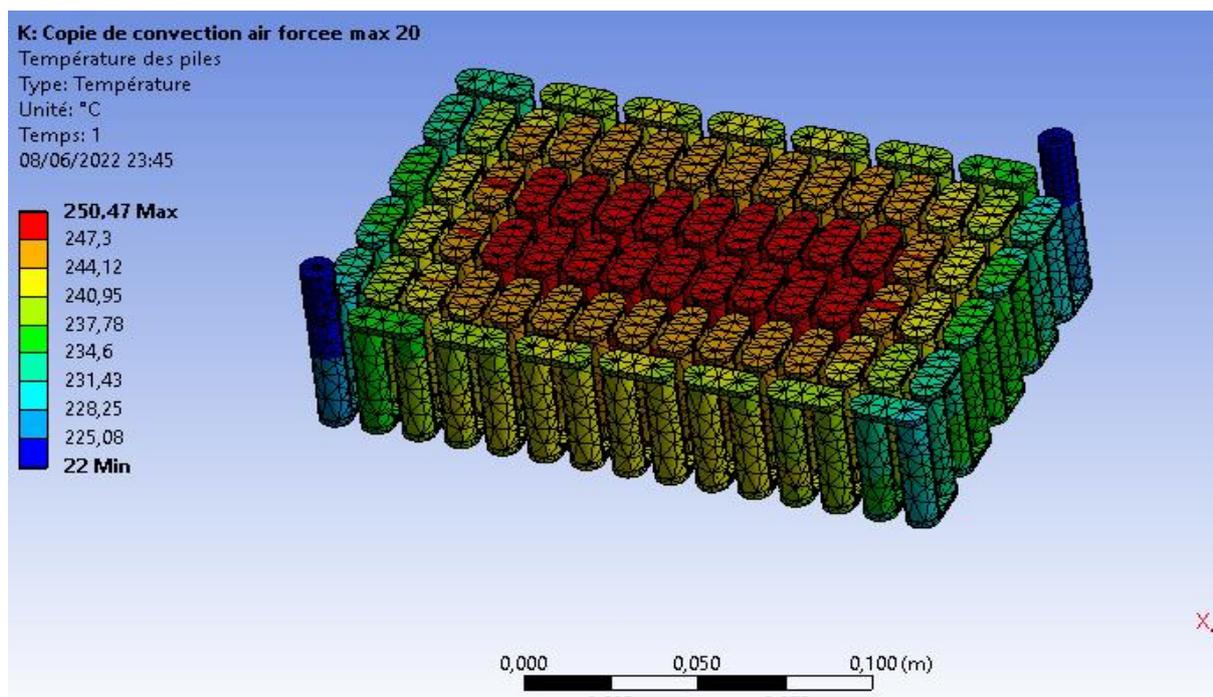


Figure 52: température des piles (convection air forcée (20 W/m². K))

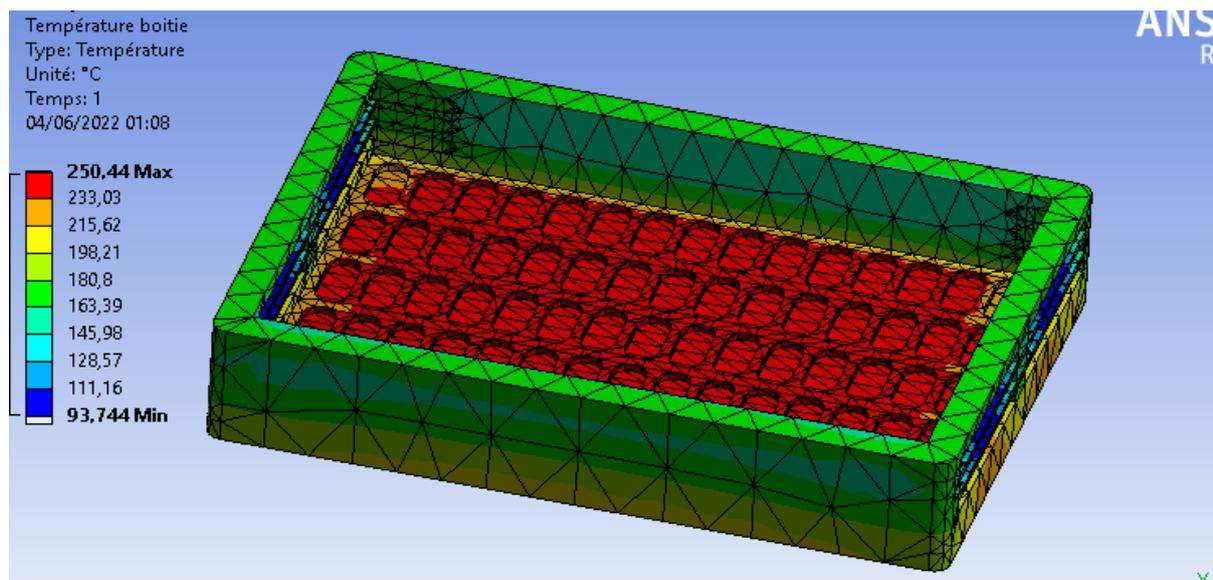


Figure 53: température du boitier (convection air forcée (20 W/m². K))

RESULTANTS ET INTERPRETATIONS

- Convection air forcé (max)= 300(W/m². K)

On trouve :

Température des piles T_{MAX}=34,731°C

Température du boîtier T_{MAX}=34,861°C

La figure suivante montre la température :

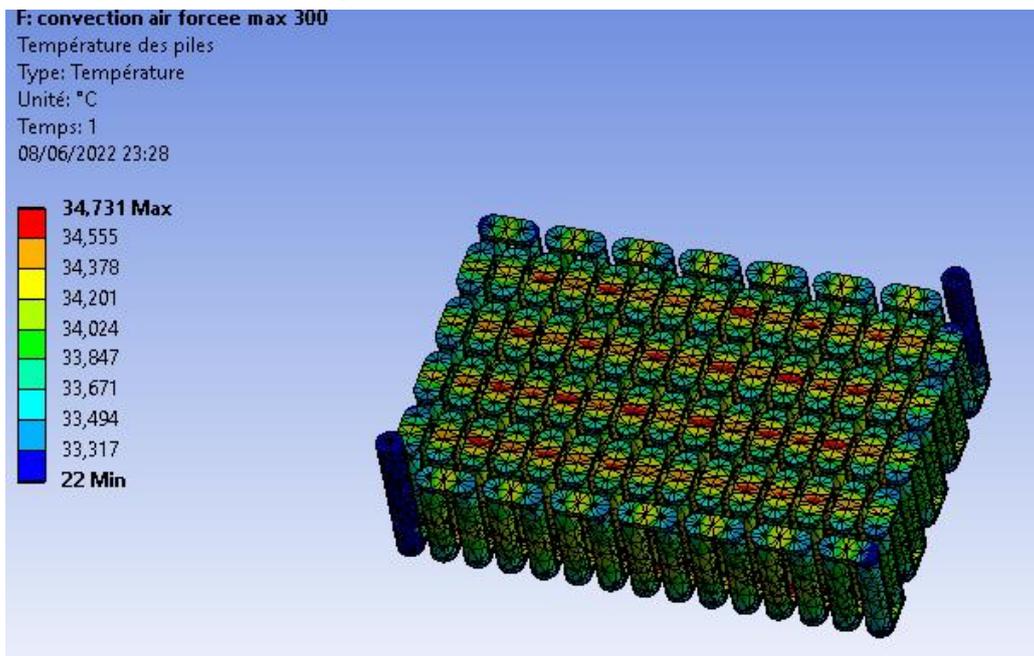


Figure 54 : température des pile (convection air forcée (300 W/m². K))

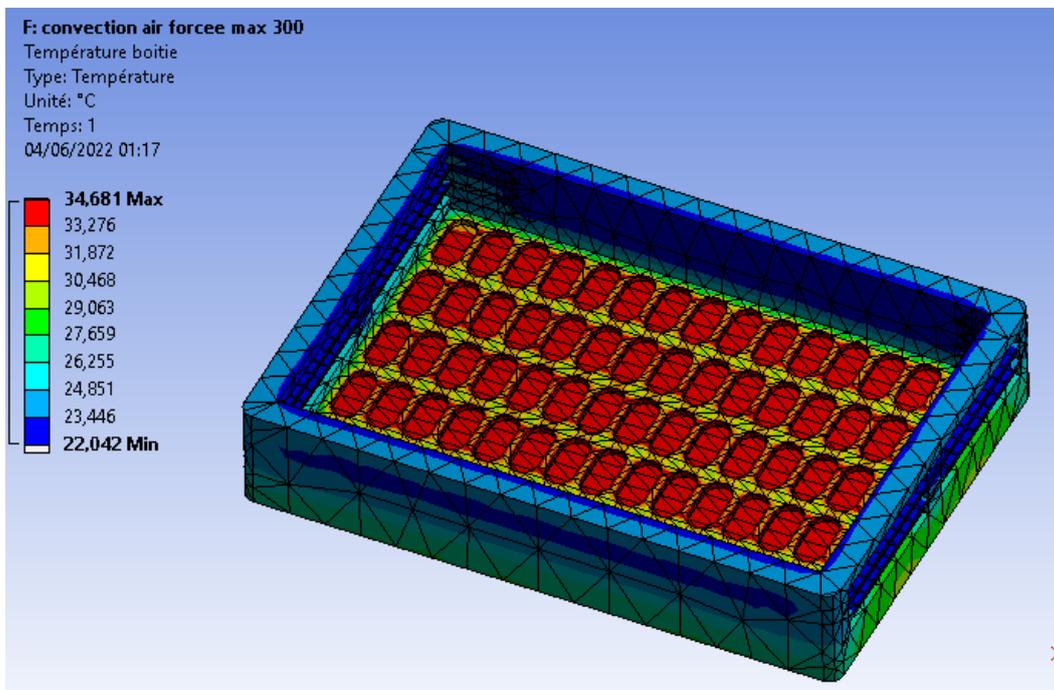


Figure 55 : température du boîtier (convection air forcée (300 W/m². K))

Commentaire :

RESULTANTS ET INTERPRETATIONS

Nous avons remarqué une diminution de la température de notre batterie jusqu'à 34.73°C pour la batterie et de 34.68°C pour le boîtier.

La distribution de la température nous montre que notre batterie que notre batterie à un intervalle de température entre (33.317°C et 34.731°C).

Pour le boîtier on a un intervalle de (22.042°C et de 34.681°C) La diminution est remarquable et notre batterie est dans les meilleures conditions.

➤ Huile (convection forcé)

Calcul de Température

- Convection forcé (min)= $60 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$
On trouve :
Température des piles $T_{\text{MAX}}=99.351^{\circ}\text{C}$
Température du boîtier $T_{\text{MAX}}=99,321^{\circ}\text{C}$

La figure suivante montre la température :

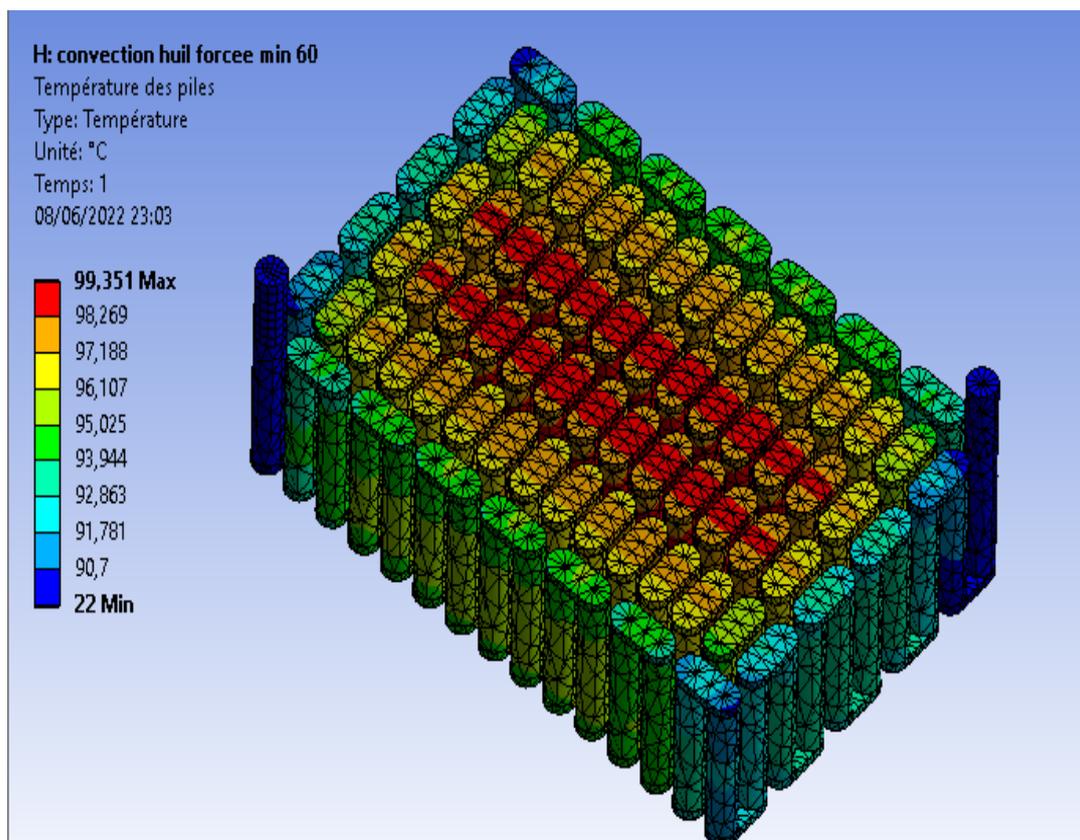


Figure 56 : température des piles (convection huile forcée ($60 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$))

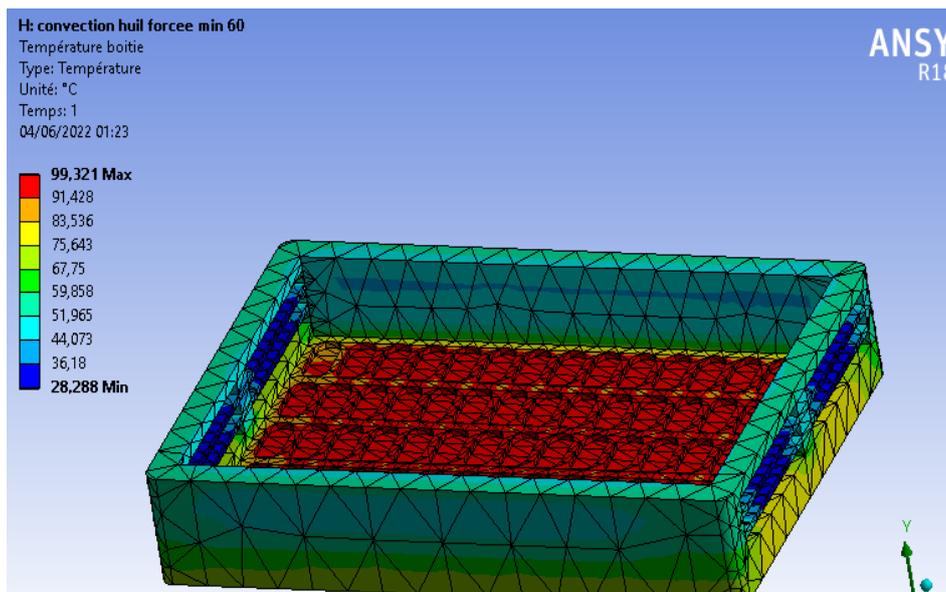


Figure 57 : température du boîtier (convection huile forcée (60 W/m². K))

Commentaire :

Nous avons remarqué une diminution de la température de notre batterie jusqu'à 99.351°C et de 99.321°C Pour le boîtier.

Pour la batterie : la distribution de la température nous montre que l'augmentation de la température est au milieu de la batterie.

Pour le boîtier : la distribution de la température nous montre que la température est dans la partie en dessous.

Même si on réussit de diminuer la température mais la température mais en pense que 99°C reste une température importante.

- Convection huile forcé (max)= 1800 (W/m². K)

On trouve :

Température des piles T_{MAX}=24.523°C

Température du boîtier T_{MAX}=24.478°C

RESULTANTS ET INTERPRETATIONS

La figure suivante montre la température :

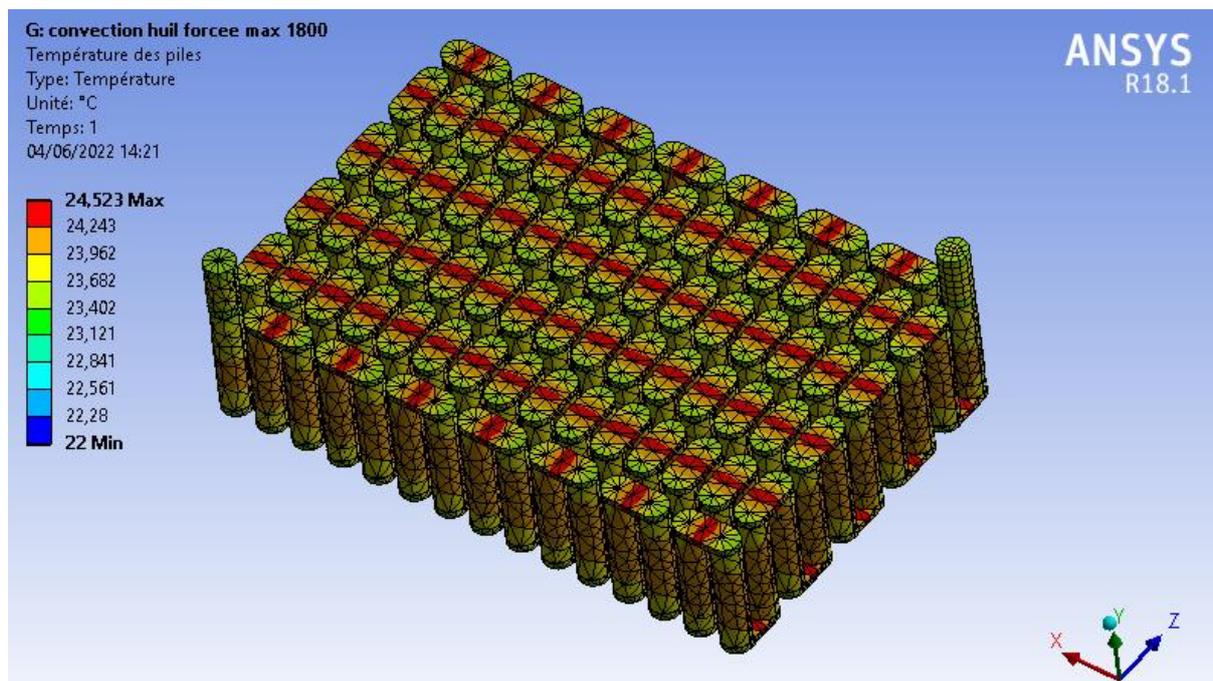


Figure 58 : température des pile (convection huile forcée (1800 W/m². K))

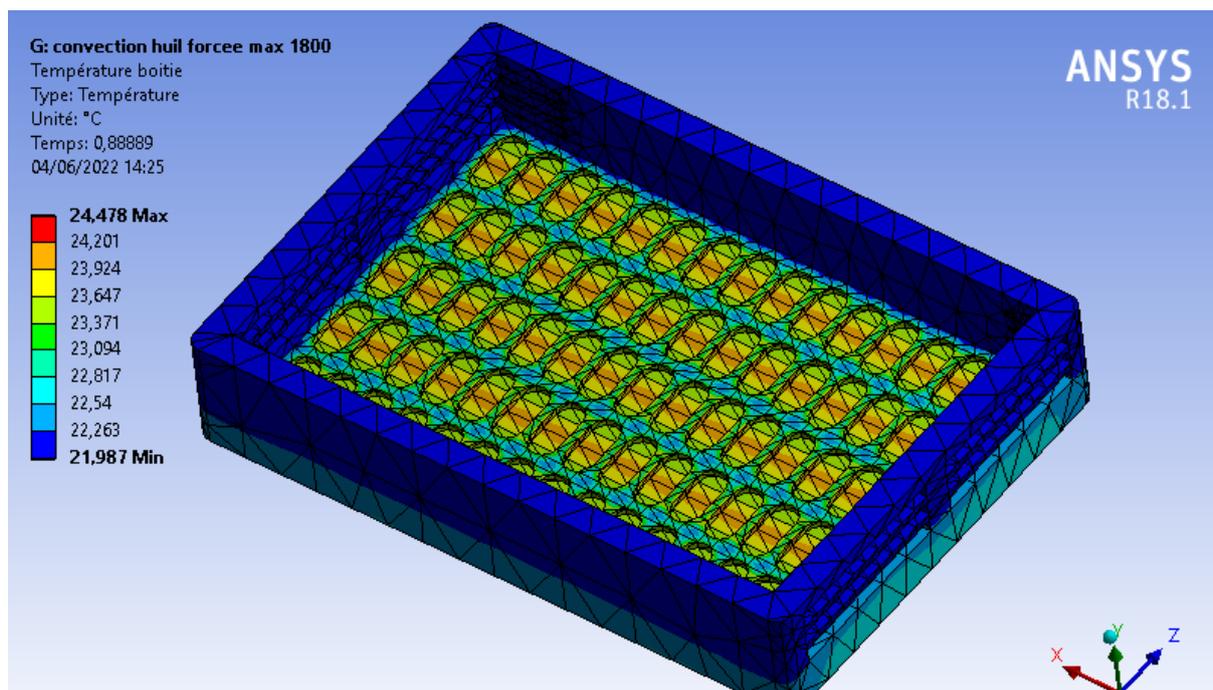


Figure 59: température du boitier (convection huile forcée (1800 W/m². K))

Commentaire :

Nous avons remarqué une diminution de la température de notre batterie jusqu'à 24.52°C, Et pour le boîtier une diminution de température jusqu'à 24.478°C.

La diminution est remarquable et notre batterie est dans les meilleures conditions.

RESULTANTS ET INTERPRETATIONS

➤ Eau (convection forcé)

Calcul de Température de

- Convection forcé (min)= 300 (W/m². K)

On trouve les mêmes résultats de l'air forcé maximal

- Convection forcé (max)= 6000 (W/m². K)

On trouve :

Température des piles T_{MAX}=23.054°C

Température du boîtier T_{MAX}=22.977°C

La figure suivante montre la température :

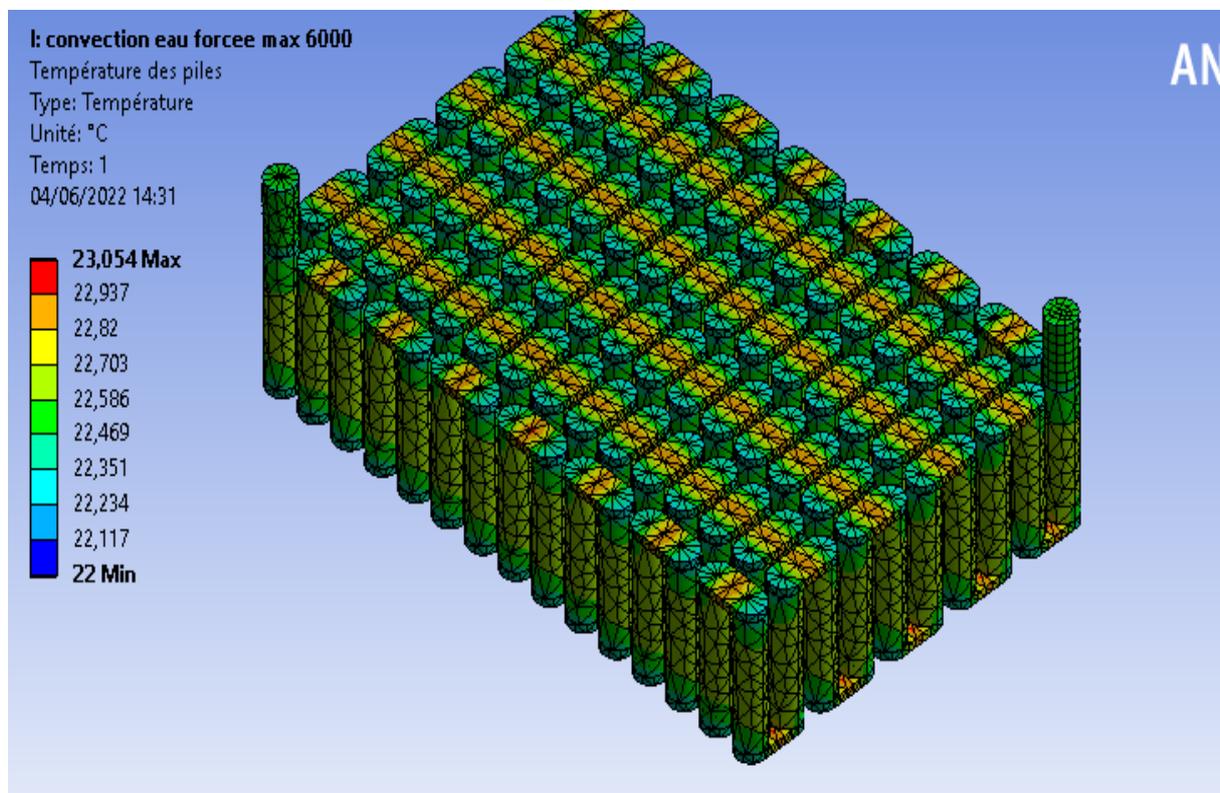


Figure 60 : température des piles (convection eau forcée (6000 W/m². K))

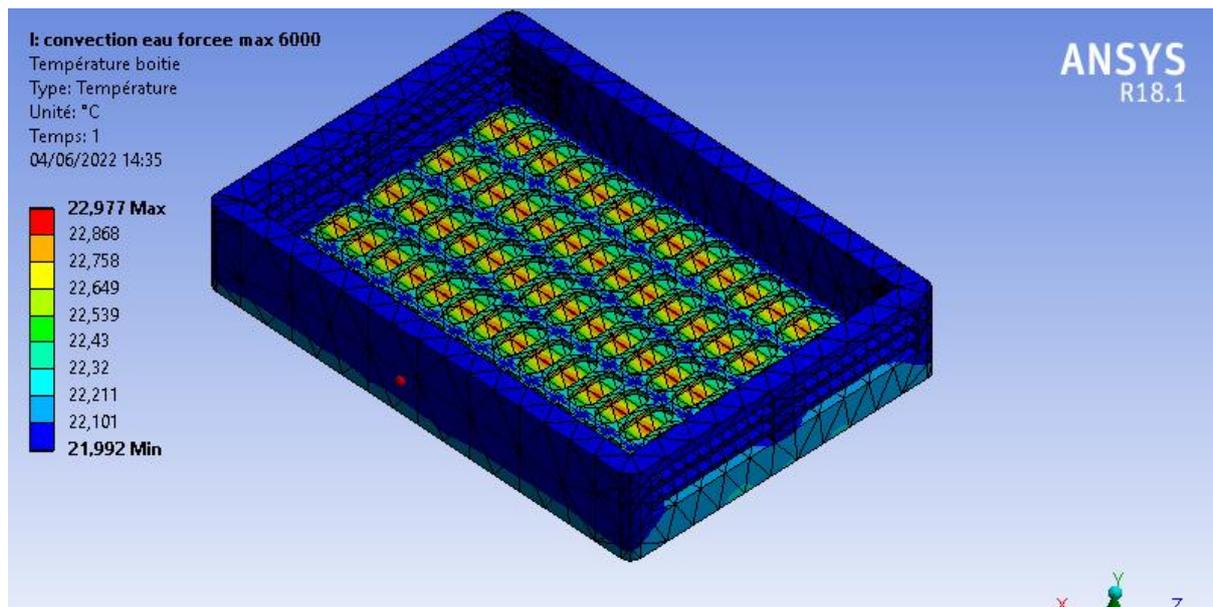


Figure 61: température du boîtier (convection eau forcée (6000 W/m². K))

Commentaire :

Nous avons remarqué une diminution de température remarquable de notre batterie jusqu'à 23.053°C, Et pour le boîtier une diminution de température jusqu'à 22.977°C

La distribution nous montre que la température de batterie est entre 22.117°C et 23.054°C

Pour le boîtier la distribution nous montre une température de 21.992°C jusqu'à 22.977°C

Notre batterie est dans les meilleures conditions

➤ Vapeur (en condensation)

Calcul de Température de

- Convection forcé (min)= 6000 (W/m². K)

On trouve les mêmes résultats de l'eau forcée maximal

- Convection forcé (max)= 120000 (W/m². K)

On trouve :

Température des piles T_{MAX}=22.226°C

Température du boîtier T_{MAX}=22.103°C

La figure suivante montre la température :

RESULTANTS ET INTERPRETATIONS

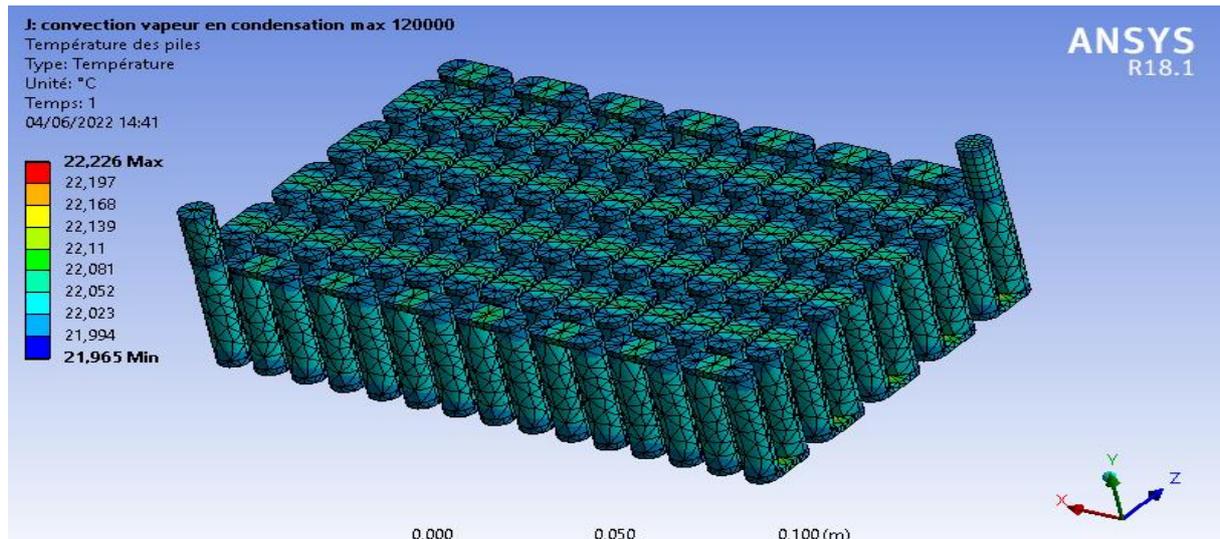


Figure 62: température des piles (convection vapeur en condensation ($12000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$))

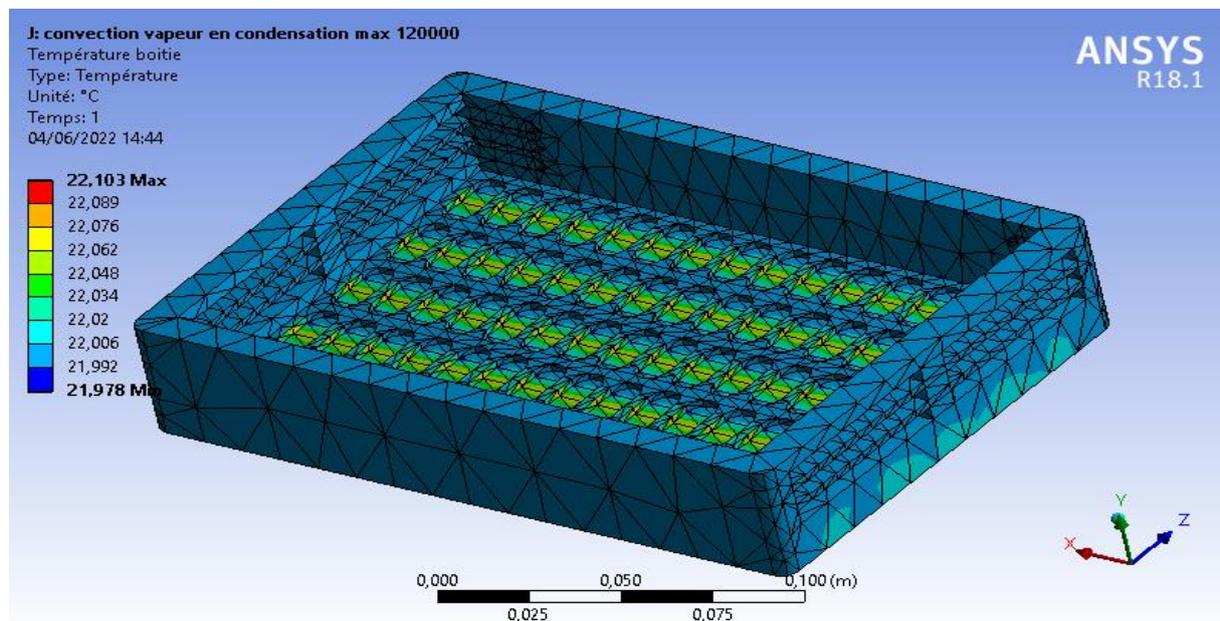


Figure 63: température du boîtier (convection vapeur en condensation ($12000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$))

Commentaire :

Nous avons remarqué une diminution de la température de notre batterie jusqu'à $22,226^\circ\text{C}$, Et une diminution jusqu'à $22,103^\circ\text{C}$ pour le boîtier.

La distribution nous montre que la température de notre batterie est de $21,956^\circ\text{C}$ Jusqu'à $22,226^\circ\text{C}$.

Pour le boîtier la distribution de la température nous montre que la température est entre $21,978^\circ\text{C}$ Et $22,103^\circ\text{C}$.

La diminution est remarquable et notre batterie est dans les meilleures conditions.

4.4 LES RESULTATS FINAUX

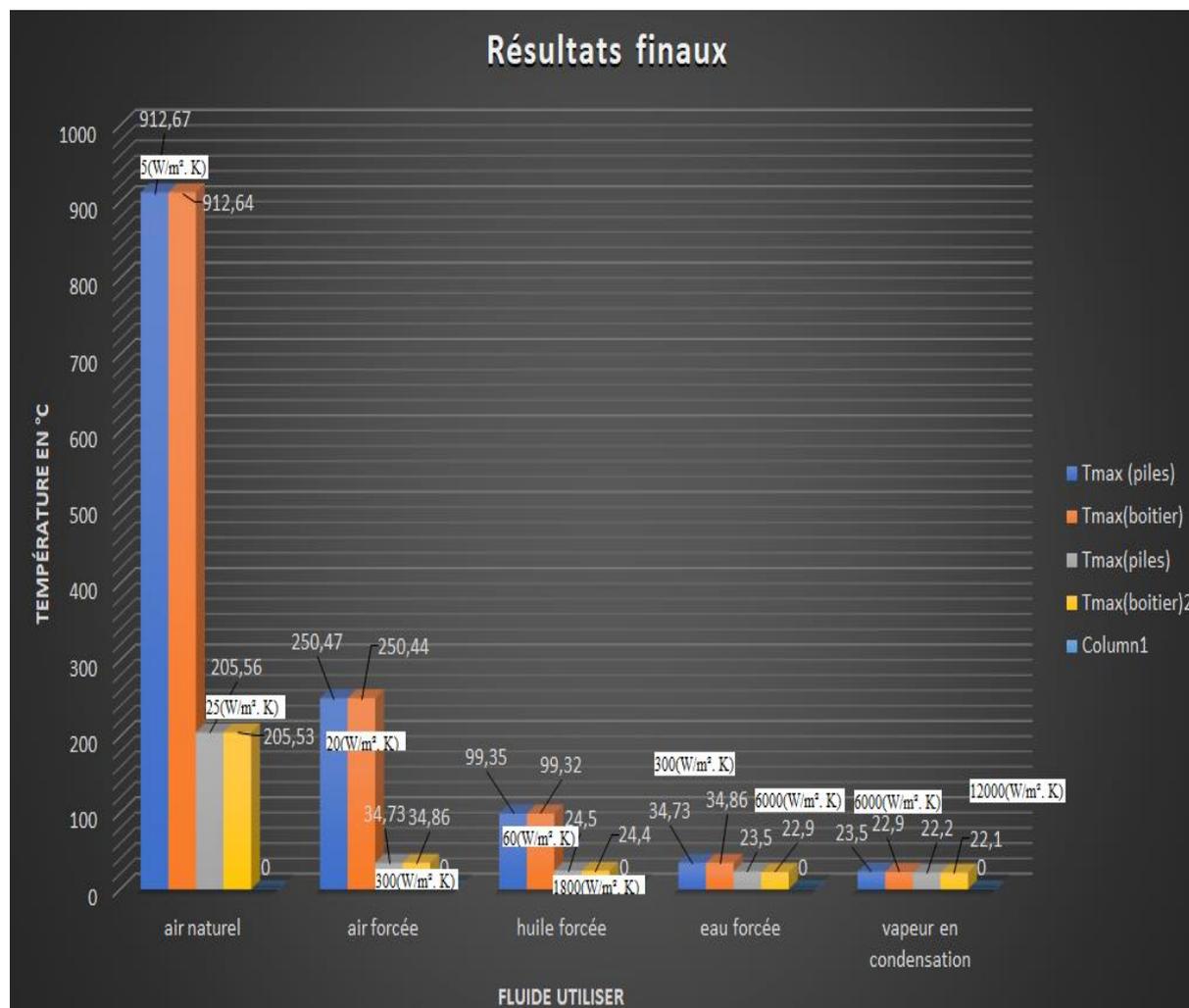


Figure 64:histogramme des résultats finaux

4.4.1 Commentaire

Après avoir fait ces simulations, nous avons pu atteindre les fluides qui nous donnent des résultats satisfaisants pour que notre batterie peut fonctionner sans surchauffe.

Les fluides qui nous donnent les meilleurs résultats sont :

- Vapeur en condensation
- Eau forcée
- Huile
- Air forcée

4.5 INFLUENCE DE LA TEMPERATURE EXTERNE SUR LA TEMPERATURE MAX DE LA BATTERIE

Nous avons changé la température de l'environnement dans lequel notre batterie fonctionne afin de pouvoir connaître l'efficacité de la batterie dans d'autres endroits comme le désert par exemple, et nous avons augmenté la température à 50°C et avons obtenu les résultats suivants :

Fluide utiliser	Type de convection	Coefficient de transfert thermique (W/m². K)	Température des piles	Température de la boitier
Air	Convection naturel	5	TMAX=980.67 °C TMIN=56°C	TMAX=985.64 °C TMIN=56.2°C
Air	Convection naturel	25	TMAX=260.56 °C TMIN=56°C	TMAX=265.53 °C TMIN=76.6°C
Air/vapeur surchauffée	Convection forcé	20	TMAX=276,4 °C TMIN=50°C	TMAX=276.38 °C TMIN=119°C
Air/vapeur surchauffée	Convection forcé	300	TMAX=34,731°C TMIN=22°C	TMAX=34,861°C TMIN=22.04°C
Huile	Convection forcé	60	TMAX=125.87 °C TMIN=50°C	TMAX=125.85°C TMIN=55.41°C
Huile	Convection forcé	1800	TMAX=48.5 °C TMIN=30°C	TMAX=48.4°C TMIN=31.9°C
Eau	Convection forcé	300	TMAX=34,731°C TMIN=22°C	TMAX=34,861°C TMIN=22.04°C
Eau	Convection forcé	6000	TMAX=28.5 °C TMIN=25°C	TMAX=28.9°C TMIN=25.9°C
Vapeur	En condensation	6000	TMAX=28.5 °C TMIN=25°C	TMAX=28.9°C TMIN=25.9°C
Vapeur	En condensation	12000	TMAX=23.2 °C TMIN=24.9°C	TMAX=23.1°C TMIN=24.9°C

Tableau 3:nouveau résultat pour un milieu de 50°C

4.5.1 commentaire

On remarque qu'il y a une augmentation de la température de la batterie, ce qui signifie que la sélection du fluide approprié est basée sur le milieu dans lequel la batterie fonctionne.

Dans un milieu avec une température de 50°C, nous pouvons utiliser les mêmes fluides utilisés dans les résultats précédents car il n'y a pas d'augmentation significative de la température de la batterie

Conclusion générale

Conclusion

Notre travail dans ces simulations est de trouver une solution à la surchauffe de notre batterie et diminuer la température dans la batterie pour nous donner une meilleure performance.

Donc nous avons utilisé plusieurs fluides différents (air naturel, air forcée, eau forcée, huile forcée, vapeur en condensation) pour refroidissent la batterie et déterminera le fluide convenable pour notre batterie.

Nous avons calculé avec logiciel ANSYS la température de la batterie en utilisant tous les fluides de refroidissement pour choisir le fluide approprié, et les fluides qu'ont présentés les meilleurs résultats sont :

- Vapeur en condensation
- Eau forcée
- Huile
- Air forcée

Tous ces fluides aident notre batterie dans son travail, mais le fluide convenable doit être choisi en fonction du milieu dans lequel la batterie fonctionne.

Enfin, nous conseillons à ceux qui veulent faire ces simulations sur une batterie de ne pas utiliser le logiciel ANSYS et d'utiliser le logiciel COMSOL

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1.1]:<https://get-moba.com/la-voiture-electrique-en-histoire-les-premiers-ve/>
<https://www.futura-sciences.com/tech/dossiers/technologie-voiture-futur-685/page/13/>
- [1.2] <https://www.auto-moto.com/green/quest-quune-voiture-hybride-definition-fonctionnement-avantages-214194.html>
- [1.3]
<https://www.renault-granville.fr/vehicule-hybride-fr-fr.htm>
<https://www.autoplus.fr/pratique/fonctionnement-dune-voiture-hybride-au-demarrage-les-details-fp-277674.html>
<https://www.renaultgroup.com/news-onair/actualites/tout-savoir-sur-la-voiture-hybride-rechargeable/>
- [1.4] <https://www.recharge-electrique.com/definition-prolongateur-dautonomie-range-extender/>
- [1.5] <https://www.ornikar.com/code/cours/ecologie/carburant/electrique>
<https://electricvehicle.wiki/terms/extended-range-electric-vehicles-e-rev/>
<https://www.caroom.fr/guide/voiture-propre/electrique/recharge/eco-conduite/prolongateur-autonomie>
- [1.6] <https://www.ornikar.com/code/cours/ecologie/carburant/electrique>
- [1.7] <https://www.barbanews.com/auto-moto/acheter-une-voiture-electrique/>
<https://www.avatacar.com/blog/mecanique-auto/fonctionnement-moteurs-électriques-hybrides/>
<https://www.csuweb.net/site/index.php/technique-moto/r-1200-rt/42-articles/articles-vehicules-electriques/231-voiture-electrique-principe-de-fonctionnement?start=1>
<https://www.happ-e.fr/actualites/comment-ca-marche/voiture-electrique-comment-ca-marche>
- [1.8] <https://www.fiches-auto.fr/articles-auto/fonctionnement-d-une-auto/s-1946->

fonctionnement-d-une-voiture-electrique.php

<https://www.csuweb.net/site/index.php/voyages-visites/visites/42-articles/articles-vehicules-electriques/231-voiture-electrique-principe-de-fonctionnement?start=2>

[1.9] <https://www.avatacar.com/blog/mecanique-auto/fonctionnement-moteurs-electriques-hybrides/>

<https://www.renaultgroup.com/news-onair/actualites/comment-fonctionne-un-moteur-de-voiture-electrique/>

[1.10] <https://www.maif.fr/vehicule-mobilite/guide-voiture-electrique/avantages-inconvenients>

[1.11] <https://www.automobile-propre.com/voitures/tesla-model-3/fiche-technique/>

<https://www.automobile-propre.com/voitures/peugeot-e-208-electrique/>

[1.12] <https://www.automobile-propre.com/voiture-electrique-lespoir-dune-autonomie-de-2-000-km-grace-a-une-batterie-revolutionnaire/>

[2.1] <https://whatis.techtarget.com/definition/rechargeable-battery>

[2.2] <https://pediaa.com/difference-between-rechargeable-and-non-rechargeable-batteries/>

[2.3] Newnes is an imprint of Butterworth–Heinemann. Copyright © 2002 by Butterworth–Heinemann A member of the Reed Elsevier group, All rights reserved.

[2.4] <https://www.beev.co/voitures-electriques/comment-fonctionne-une-voiture-electrique/>

[2.5] <https://www.linkedin.com/pulse/whats-advantages-disadvantages-different-batteries-tim-yang>

[2.6] J. Brady, M. O'Mahony, 2011, Travel to work in Dublin. The potential impacts of electric vehicles

(Elsevier: Transportation Research Part D: Transport and Environment, vol 16, issue 2) p. 188

[2.7] T.R. Hawkins, B. Singh, 2012, Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles (Journal of Industrial Ecology, vol 17, issue 1) p 53

[2.8] International Energy Agency, 2015, Energy and climate change (IEA Publishing)

[2.9] B. Nykvist, M. Nilsson, 2015, Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles (Nature Climate Change, vol 5) p 329

[2.10] B. Propfe, M. Redelbach, D.J. Santini, H. Friedric, 2012, Cost analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicles including Maintenance & Repair Costs and Resale Values (Conference EVS26)

- [2.11] Z. Chen, N. Guo, X. Li, J. Shen, R. Xiao, S. Li, 2017, Battery Pack Grouping and Capacity Improvement for Electric Vehicles Based on a Genetic Algorithm (Energies, vol 10, issue 4)
- [2.12] G.J. Offer, M. Contestabile, D.A. Howey, R. Clague, N.P. Brandon, 2011, Techno-economic and behavioral analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system in the UK (Energy Policy, vol 39, issue 4) p. 1939
- [2.13] A. Sakti, J.J. Michalek, 2015, A techno-economic analysis and optimization of Li-ion batteries for light-duty passenger vehicle electrification (Journal of Power Sources, vol 273) p. 966
- [2.14] <http://blog.seatronic.fr/fiches-pratiques/energie/stockage/batteries-marines/theorie/>
- [2.15] <https://sites.google.com/site/pilesetaccumulateurs/les-differentes-piles-et-accumulateurs/accumulateurs-au-nickel/accumulateur-nickel-cadmium>
- [2.16] <https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/la-batterie-lithium-ion-comment-ca-marche>
- [2.17] <https://entretien-voiture.ooreka.fr/astuce/voir/511041/batterie-de-voiture-electrique>
- [2.18] <https://www.carroom.fr/guide/voiture-propre/electrique/recharge/batterie>
- [4.1] Muhammad Nubli Zulkifli and all, Finite Element Analysis on the Thermoelectric Generator for the Waste Heat Recovery of Solar Application, 4th International Conference on the Advancement of Materials and Nanotechnology (ICAMN IV 2016).
- [4.2] https://help.solidworks.com/2012/french/solidworks/cworks/Convection_Heat_Coefficient.htm

Résumé

Résumé :

En raison du développement remarquable des voitures électriques en termes de performances et en termes de mesure d'autonomie, ainsi de sécurité. Le mérite de ce développement est dû au développement des batteries, qui sont une source d'énergie principale pour les voitures électriques.

Le but de nos travaux est de réaliser une étude thermoélectrique de la batterie des voitures électriques à travers le logiciel ANSYS, et pour garantir les meilleures performances de notre batterie, la batterie doit être maintenue au frais.

Dans notre étude numérique, nous avons trouvé quatre fluides qui aident à refroidir la batterie, selon le milieu dans lequel la batterie fonctionne.

Abstract:

Due to the remarkable development of electric cars in terms of performance and in terms of range measurement, as well as safety. The merit of this development is due to the development of batteries, which are a main source of energy for electric cars.

The purpose of our work is to carry out a thermoelectric study of the battery of electric cars through the ANSYS software, and to guarantee the best performance of our battery, the battery must be kept cool.

In our numerical study, we found four fluids that help cool the battery, depending on the medium in which the battery is operating.

ملخص :

نظرا للتطور الملحوظ الذي تشهده السيارات الكهربائية من ناحية الاداء و المدى الطويل و كذلك احتياطات السلامة. يرجع الفضل في هذا التطور الى تطوير البطاريات التي تعد مصدر للطاقة.

الهدف من عملنا هو القيام بدراسة كهروحرارية لبطارية السيارات الكهربائية عن طريق برنامج انسيس ولضمان اداء افضل لبطاريتنا يجب الحفاظ على برودة البطارية.

توصلنا في دراستنا الرقمية الى اربع سوائل تساعد على تبريد البطارية و ذلك حسب الوسط الذي تعمل فيه البطارية.