

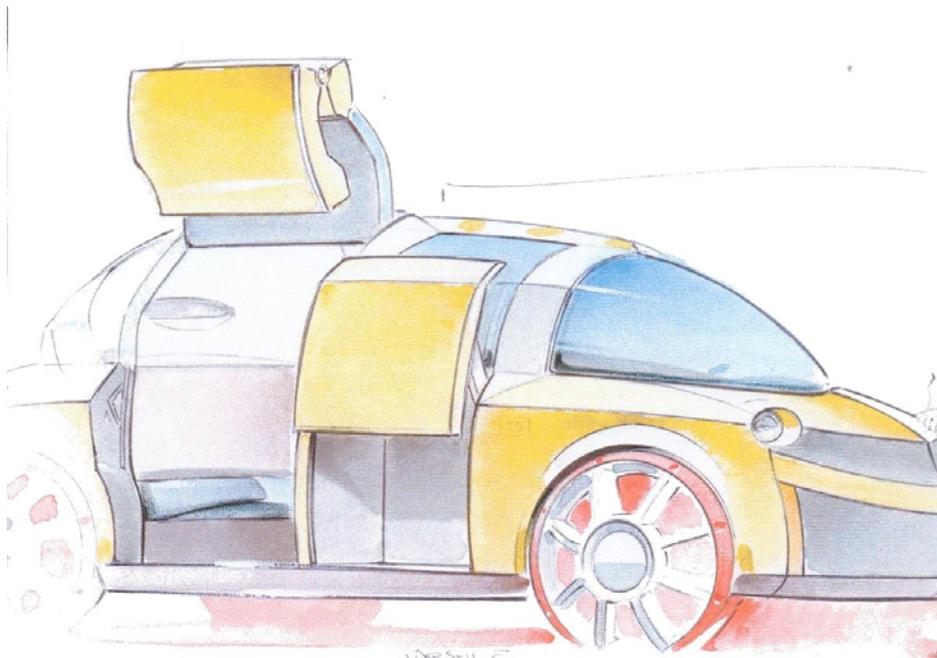
Lettre de commande n° 01 MT 95
DRAST – Ministère des Transports
PREDIT 1996 - 2000

Rapport final

Le 28/06/2002

Projet **TAXEL**

Recherche sur un taxi électrique



Présenté par Driss SAKAMI

Dirigé par Noël BUREAU

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

I. 1. Introduction

Les transports consomment dans le monde presque 50 % de la production pétrolière, ce qui rend ce secteur responsable pour une large part des émissions polluantes (CO, NOx et particules). En zone urbaine, le bruit généré par les transports est la nuisance la plus souvent citée par les citoyens. Le développement économique des agglomérations et la concentration de près de 80 % de la population en zone urbaine rendent obligatoire la recherche de solutions de transport propre et efficace. Depuis plusieurs années, un effort important pour le développement du transport électrique de proximité a été engagé principalement dans le domaine de la voiture électrique. La France a d'ailleurs pris une position de leader dans ce domaine avec une gamme de véhicules adaptés aux déplacements urbains de personnes et de marchandises. La voiture électrique particulière et utilitaire, ne répond qu'à une partie des besoins. L'offre électrique est beaucoup plus large. La bicyclette à assistance électrique, le scooter et les bus électriques offrent des réponses supplémentaires à côté de solutions plus traditionnelles telles que le trolleybus, le tramway et le train. La direction des recherches du Ministère d'Équipement, des Transports et Logement (DRAST), le groupe EDF et leurs partenaires industriels sont fortement impliqués dans un effort de développement de transports électriques mieux adaptés à la ville. Les technologies existantes permettent d'apporter des solutions concrètes. Certains concepts anciens tels que le tramway ont pris un nouveau départ et retrouvent leur place dans les villes modernes. Les nouvelles technologies rendent ces véhicules plus aptes à répondre aux demandes en termes de confort, autonomie et automatismes. Mais c'est essentiellement la vision de la ville de demain que nous devons avoir pour permettre une véritable amélioration des conditions de vie en ville [26].

C'est dans ce contexte que nous avons rassemblé les éléments les plus intéressants présents dans les projets fin d'études (PFE) sur le thème du taxi électrique TAXEL.

I. 2. Le projet TAXEL : Généralités

TAXEL est un projet de conception d'un taxi électrique mené par cinq écoles : ESTACA, EIVL, ESIEE, EIGSI et STRATE COLLEGE pendant des périodes s'échelonnant sur trois années scolaires.

La constitution du cahier des charges produit pour TAXEL est inspiré du projet TAXIA, également un projet élèves réalisé antérieurement à l'ESTACA, il s'agissait d'un taxi au GPL. L'expérience acquise lors de la conception de ce véhicule est un atout précieux. Les travaux réalisés sur TAXEL ont repris les grandes lignes de TAXIA en adaptant et améliorant certains points particuliers qui n'étaient pas adaptés aux véhicules électriques. Ces travaux ont été orientés pour répondre aux besoins exprimés par les chauffeurs de taxi, afin qu'ils puissent bénéficier d'un véhicule novateur spécialement construit pour la fonction taxi (voir annexe I. 1).

I. 3. Rappel du cahier des charges

Afin de mener à bien le projet TAXEL, les élèves ingénieurs des différentes écoles ont arrêté un cahier des charges établi, après de nombreux échanges, sur la base d'un compromis entre les exigences de la profession et les possibilités de la technologie des véhicules électriques en émergence dans l'industrie (année 97 & 98) [voir Annexe I.1].

Poids et dimensions

- 2 Passagers +1 (strapontin) + chauffeur
- PTAC (Poids Total Autorisé en Charge) : 2200 Kg
- PVOM (Poids à Vide en Ordre de Marche) : 1700 Kg + 75 Kg (chauffeur)
- Poids de batteries : 375 Kg (porté ultérieurement à 400 Kg)
- Bagage : 100 Kg (compartiment réservé à droite du chauffeur)
- Garde au sol au PTAC : 150 mm
- Longueur maximale : 4400 mm
- Largeur maximale de la carrosserie (sans rétroviseurs) : 1800 mm
- Hauteur au PTAC : 1820 mm

Performance clé

- Autonomie : 200 Km *

* *ce point est conditionnel de tout le projet.* (voir note spécifique dans Ch IV-Perspectives)

Performances cinématiques

- Vitesse maximale : 110 Km/h (en charge)
- Valeurs d'accélération : 0 à 50 Km/h en 8 secondes (1.73 ms^{-2})
- Valeurs de reprises : 50 à 80 Km/h en 13 secondes

Le véhicule sera équipé d'un réducteur. Il n'y aura pas de levier de vitesse.

Structure

- La structure est de type cage d'oiseau en aluminium (structure novatrice résistante et légère : reprise de TAXIA).

Propulsion

- Deux à trois packs de batteries de type Li-Ion
- Un moteur AC synchrone à aimants permanents

Contrainte

- Utilisation maximale d'organes et pièces mécaniques existantes pour réduire les coûts
- Nécessité d'un équipement électronique très complet.

I. 4. Documents de bases pour la synthèse

L'objectif de ce travail de synthèse est de mettre en lumière toutes les idées intéressantes obtenues dans le cadre de ce projet, les difficultés ou impossibilités rencontrées ainsi que les perspectives de développements à court ou moyen terme.

Afin de mener à bien ce travail, nous sommes allés, à la recherche des documents réalisés au cours des projets des élèves ingénieurs, à la rencontre des responsables pédagogiques des écoles concernées ainsi qu'à la rencontre des élèves ingénieurs (acteurs des projets) qui ont travaillé sur le projet TAXEL.

Au cours de ce travail, nous avons pu avoir de la part des responsables pédagogiques des cinq écoles une vingtaine de rapports et une dizaine de compte rendus de réunion [1-26]

Dans le tableau I. 1, on présente les noms des écoles visitées et des responsables rencontrés.

Ecole	Responsable	Dates
ESTACA	J. P. DIDIER	09/01/2002
STRATE COLLEGE	M. LARIVIERE	09/01/2002
ESIEE	E. VIDONI	10/01/2002
EIVL	C. GONTIER	18/01/2002
EIGSI	L. IMOBERSTEG	28/01/2002
ESIEE	P. CHAMBILLE	05/04/2002

Tableau I. 1 : Noms des responsables rencontrés dans le cadre du projet de synthèse

Dans le tableau I. 2 figure les noms des élèves ingénieurs qui ont travaillé sur le projet. Ces rencontres sont très intéressantes pour une meilleure connaissance de ce projet. Les responsables et les élèves ingénieurs nous ont bien accueillis, tout en montrant une bonne volonté à nous aider à mettre en lumière les idées acquises et les travaux non finalisés.

Des rencontres enrichissantes avec des industriels, des représentants des administrations et des chercheurs s'intéressant aux transports électriques ont été effectuées (voir tableau I. 3).

Nom de l'ingénieur	Ecole	Entreprise	Date de la réunion
Naci FIDAN	EIVL	PSA	18/01/2002
Pierre BALAINE	ESIEE	MBDA	05/04/2002
Guillaume DELACOUR	ESTACA	PSA	17/05/2002

Tableau I. 2 : Noms des élèves ingénieurs rencontrés dans le cadre du projet de synthèse

Nom	Entreprise	Date de la réunion
C. COTTARD Responsable Recherches <i>Véhicules hybrides</i>	PSA	13/05/2002
P. VUILLEMIN Cadre de DTVE	EDF	13/05/2002
J. SAINT MARC Secrétaire Général	GIVE	14/05/2002
A. PENY G. BRUN	DRAST / METL	15/05/2002
P. BORIE <i>Ex Dir. Général</i>	Taxi G7	17/05/2002

Tableau I. 3 : Noms des responsables rencontrés (entreprises et administrations).

CHAPITRE II : PRESENTATION DES TRAVAUX DES CINQ ECOLES

Tâches et objectifs de chaque école

Les tâches avaient été réparties entre les cinq écoles selon leurs compétences :

- L'EIVL, responsable de la structure
- L'ESTACA, responsable de l'architecture et de la dynamique du véhicule
- L'ESIEE, responsable de l'électronique de confort
- Le STRATE COLLEGE, responsable du design et de l'aménagement intérieur
- L'EIGSI, responsable de la chaîne de traction

v L'équipe de l'EIVL a travaillé sur une structure en cage d'oiseau dont le principe avait été retenu dans le projet TAXIA: assemblage de poutres en aluminium qui reprennent les arrêtes principales du design du véhicule.

Ce type de construction est très léger et réalise un véritable espace de sécurité pour les occupants.

La connaissance des efforts en statique : flexion, torsion, et en dynamique : crash, permet d'atteindre le dimensionnement avec le logiciel I-DEAS.

v L'équipe de l'ESTACA a fait une pré-étude d'une commande de direction assistée électrohydraulique, une modélisation aérodynamique après numérisation de deux maquettes et l'architecture et le dimensionnement d'organes sous CATIA.

Ainsi, le but de l'étude menée par cette l'équipe était de déterminer les efforts maxima transmis par les essieux à la structure de TAXEL. Ces essieux sont ceux du Citroën Berlingo. Un autre objectif de l'étude était de définir les interfaces essieux/structure et les points d'entrée sur la structure.

Les plans des essieux de Berlingo permettent de modéliser les essieux sous ADAMS, logiciel de dynamique le mieux adapté. La détermination des efforts appliqués aux roues permet de dimensionner les interfaces essieux/structure.

v Une équipe de l'ESIEE a travaillé sur les points suivants :

- Ecran passager, système hi-fi, radio téléphone, tableau de bord conducteur : spécification des fonctions assurées, prospection et étude de marché, connexion avec un réseau multiplexé CAN : étude et spécification de l'ensemble de ces réseaux

→ Climatisation : étude de la commande et de la régulation de la climatisation (chauffage et refroidissement) pour le passager et le conducteur

→ GPS, localisation, transmission de données et communication vers le centre : étude et spécification de l'ensemble de la chaîne de localisation et de guidage ainsi que des fonctions de télégestion par le centre.

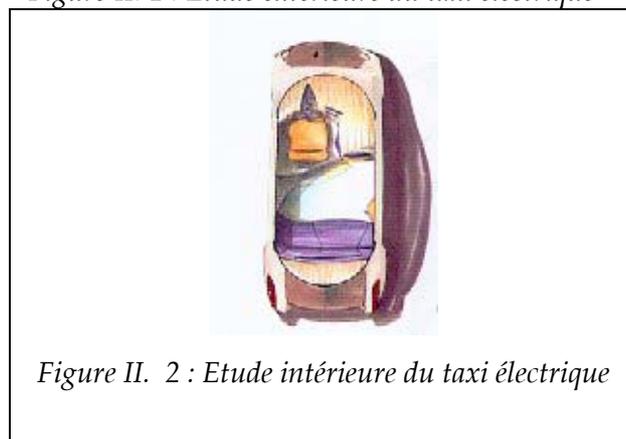
→ CEM : analyse globale des risques liés à la compatibilité électromagnétique dans le cas du véhicule électrique en milieu urbain.

∨ L'équipe de STRATE College a dessiné le taxi électrique. Les élèves ingénieurs ont réalisé trois maquettes, en clay au 1/5 de la forme extérieure, dans des concepts véhicules différents. Les noms des réalisateurs sont mentionnés en dessous de la figure II. 1.

Une maquette de l'aménagement intérieur a été réalisée (figure II. 2).



Figure II. 1 : Etude extérieure du taxi électrique



Ces croquis ne sont que des esquisses mais les dossiers contiennent des représentations plus poussées et très variées.

v Les objectifs principaux des 'projets libres' menés par l'équipe de l'EIGSI sont d'intégrer les éléments de la chaîne de traction en se basant sur la bonne expérience dans le domaine de la traction électrique acquise pendant le déroulement du projet industriel VEDELIC, par le laboratoire de M.Imobersteg avec le constructeur PSA (1^{ère} voiture électrique européenne à batterie lithium-ion).

Ces objectifs sont les suivants :

- validation des batteries
- définition du moteur et du réducteur
- loi de commande au freinage(récupération de l'énergie)
- compatibilité électromagnétique en liaison avec l'ESIEE
- intégration dans la structure

CHAPITRE III : Les principaux résultats

III .1 Conception de la structure de TAXEL

Simulation statique et dynamique

Description des tests statiques

Le test de flexion a pour objectif de s'assurer que la structure se déforme dans des conditions acceptables sous un chargement de 1000 Kg représentant le compartiment moteur (250 Kg), les passagers et les batteries (250 + 450 Kg) et les bagages (50 Kg). La flèche maximale ne doit pas dépasser 3 mm (voir figure III. 1).

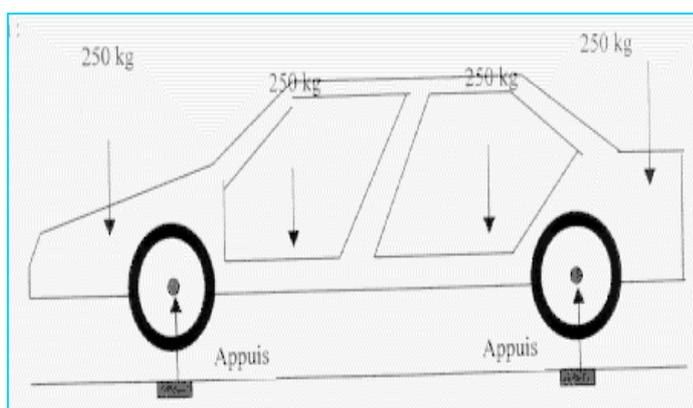


Figure III. 1 : Distribution des efforts appliqués sur la structure

Le test de torsion vise à simuler le comportement du véhicule dans les virages et lors de montées sur des trottoirs. Pendant cet essai, un couple de 1000 N.m est appliqué sur l'essieu avant alors que l'essieu arrière est bloqué (liaison encastrement). L'angle de torsion entre les deux essieux doit être compris entre 1 et 3 mrad (voir figure III. 2).

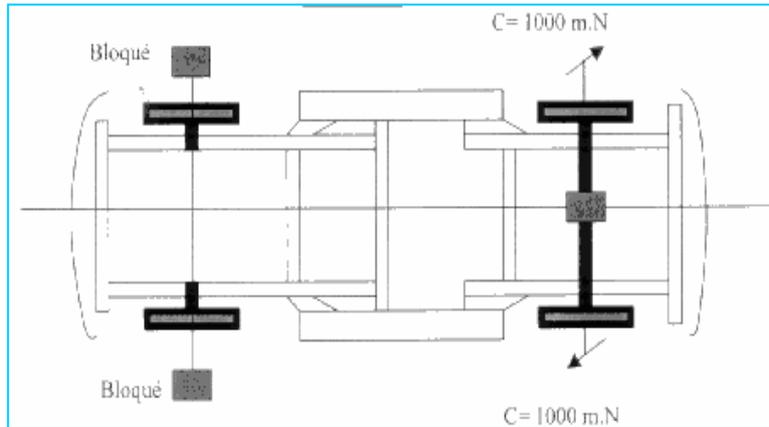


Figure III. 2 : Essai en torsion

Implantation des batteries

L'implantation des batteries réagit sur le dimensionnement du soubassement. Afin d'obtenir un équilibre dynamique du véhicule, il faut veiller à une répartition équilibrée des masses sur le châssis.

Comme le poids des batteries représente une fraction importante du poids total du véhicule, il a fallu les répartir au mieux dans le soubassement en tenant compte de leur encombrement, fixation, démontage aisé pour un changement rapide.

L'implantation des batteries a été choisie en trois blocs placés à l'arrière (C), dans le soubassement à droite du conducteur (B) et à l'avant du compartiment moteur (A) comme montré sur la figure III. 3.

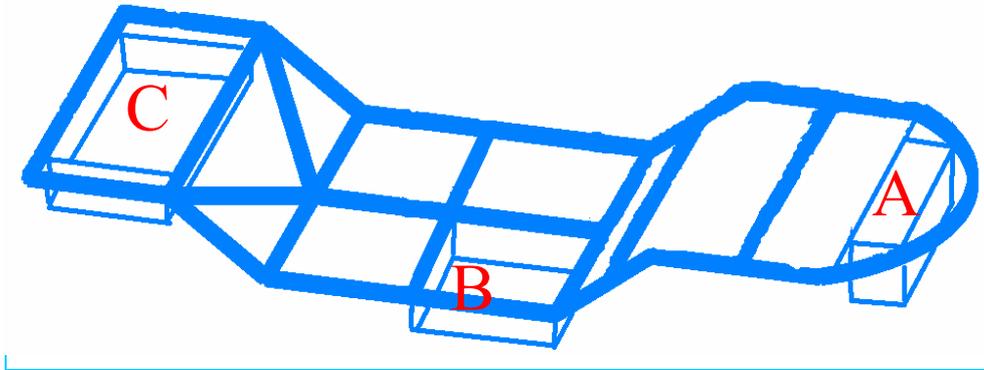


Figure III. 3 : Implantation des batteries

Le bloc A comporte deux rangées de dix modules élémentaires autour desquelles un espace de 50 mm est laissé pour le refroidissement des batteries (figure III. 4). La hauteur de ce bloc de batteries est de 250 mm (175 mm de hauteur des modules + 100 mm d'espace) et son poids est d'environ 167 Kg.

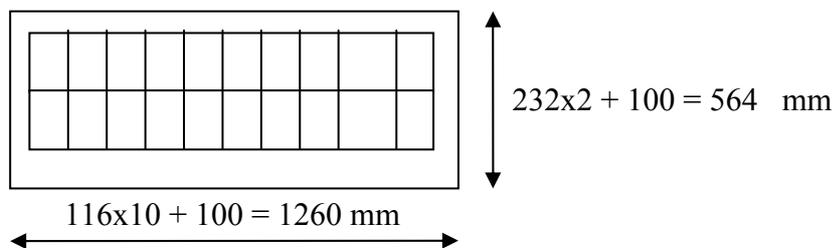


Figure III. 4 : Bloc A

Le bloc B est composé de 14 modules élémentaires, ses dimensions sont 912 x 564 x 250 mm et son poids est d'environ 117 Kg (figure III. 5).

Le bloc C est identique au bloc B.

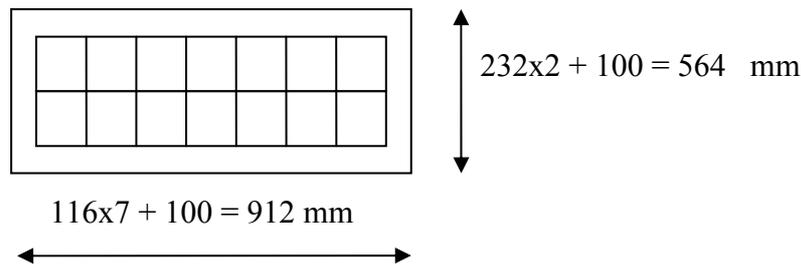


Figure III. 5 : Bloc B et C

Essais en statique

Pour dessiner une structure sur IDEAS, il est nécessaire de réfléchir à la transmission des efforts appliqués en un point du châssis vers tout le reste du châssis. Pour une section de poutre constante, s'il n'y a pas de diffusion des efforts, le châssis peut être fortement déformé localement. Il faut donc augmenter la section des poutres ou mettre en place des renforts et par conséquent cela augmente le poids total de la structure, ce qui est contradictoire avec les objectifs recherchés.

Pour distribuer les efforts, il a été utile de relier d'abord l'avant du véhicule à l'arrière par des poutres formant des «arcs de cercle» de façon à les faire travailler en compression ou en traction, type de sollicitation où les poutres subissent le moins de déplacement. Ainsi, il est intéressant de relier le toit au soubassement pour que la structure participe entièrement aux efforts.

Dans le but d'obtenir le poids minimal, il est nécessaire de croiser des poutres aussi bien dans le soubassement que sur le toit. Pensant d'ores et déjà aux essais en dynamique lors des simulations des crash tests, il n'est pas judicieux de croiser des poutres dans le soubassement.

Pendant ce projet, N. Fidan et P. Bona [11-12] ont sélectionné deux structures résistantes aux tests de flexion et torsion parmi les formes proposées par Strate collègue. La figure III. 6 présente la structure n°1 du châssis. Son poids est de 185 Kg respectant le critère d'allègement ($185 \text{ Kg} < 250 \text{ Kg}$), ainsi son profilé est de 50 x 60 x 7.

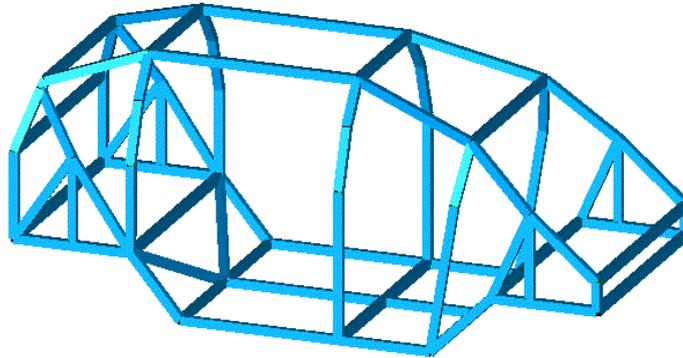


Figure III. 6 : structure n°1 du châssis

Les résultats des tests en torsion et en flexion sont présentés sur les figures III. 7 et III. 8 respectivement. Cette structure satisfait ces tests statiques car l'angle de torsion est de 2.65 mrad (< 3 mrad) et la flèche maximale est de 0.86 mm (< 5 mm).

/users/student/P95/bona/S5.mf1
DEFORMATION: 1- B.C. 1,DISPLACEMENT_1,LOAD SET 1
DISPLACEMENT - Y MIN:-1.86E+00 MAX: 1.86E+00
FRAME OF REF: PART

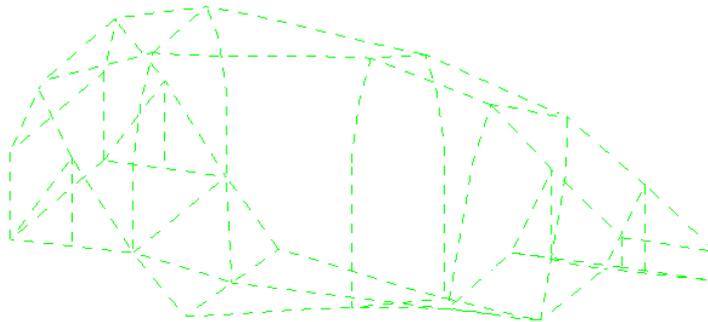


Figure III. 7 : Sollicitation en torsion (structure n°1)

/users/student/P95/bona/S5.mf1
DEFORMATION: 1- B.C. 1,DISPLACEMENT_1,LOAD SET 1
DISPLACEMENT - Y MIN:-8.61E-01 MAX: 5.74E-02
FRAME OF REF: PART

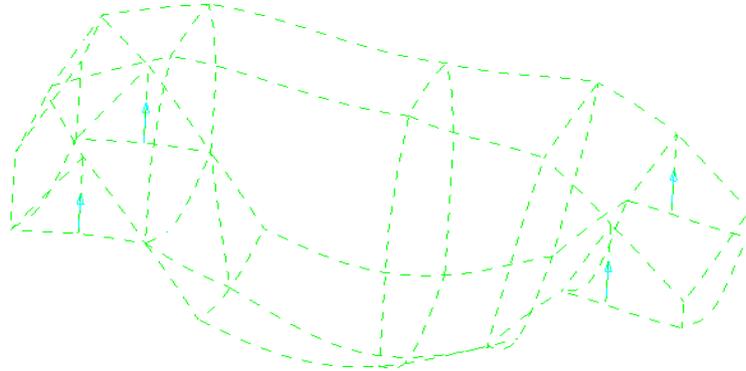


Figure III. 8 : Sollicitation en flexion (structure n°1)

La figure III. 9 présente la structure n°2 du châssis. Son poids est de 110 Kg respectant le critère d'allégement ($110 \text{ Kg} < 250 \text{ Kg}$), ainsi son profilé est de 40 x 60 x 4.5.

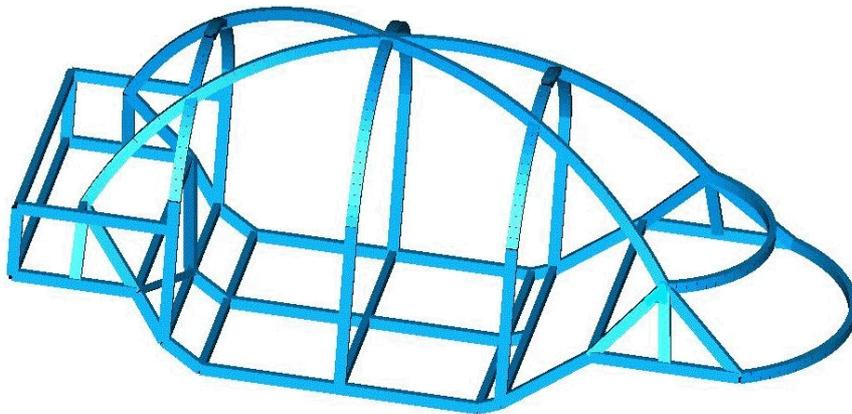


figure III. 9 : structure n°2 du châssis

Les résultats des tests en torsion et en flexion sont présentés sur les figures III. 10 et III. 11 respectivement. Cette structure avec poutres croisées au plafond satisfait ces tests statiques car

l'angle de torsion est de 2.47 mrad (< 3 mrad) et la flèche maximale est de 2.16 mm (< 5 mm).

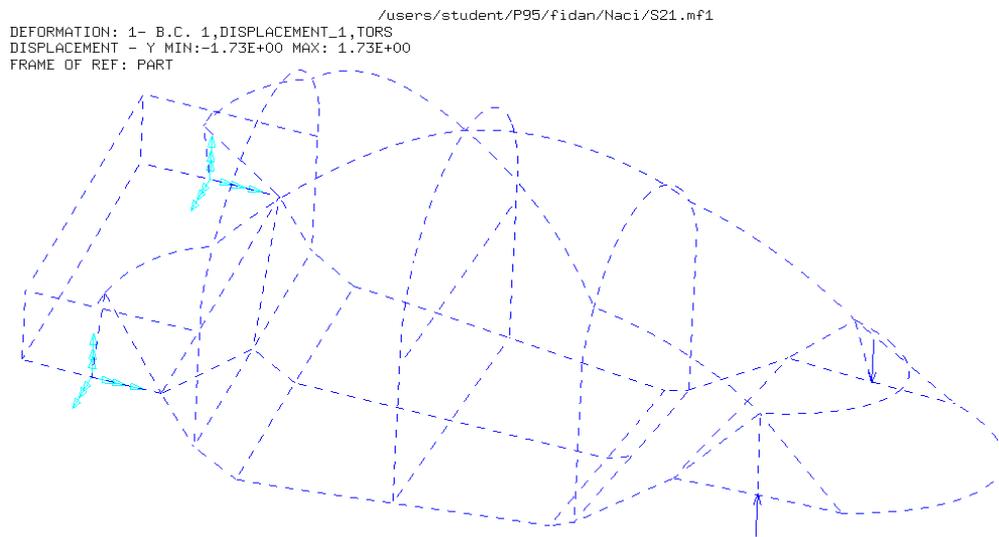


Figure III. 10 : Sollicitation en torsion (structure n°2)

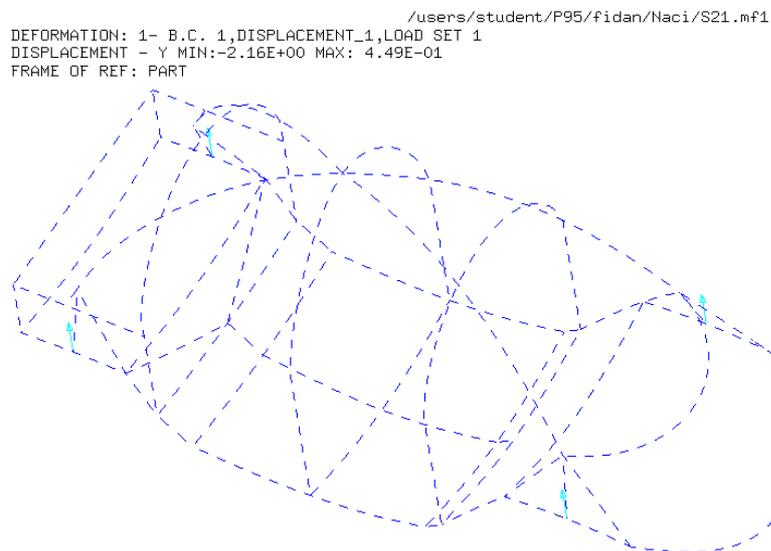


Figure III. 11 : Sollicitation en flexion (structure n°2)

En conclusion, les deux structures choisies satisfont bien les tests de flexion et de torsion. Il reste à vérifier si ces deux structures satisfont les essais dynamiques : crash test.

Essais en dynamique

Les essais dynamiques, dans ce cas crash test, permettent de connaître le comportement de la structure, chargée avec les batteries, les passagers ainsi que les bagages, lors d'un accident simulé. Dans l'industrie ces tests remplacent de nombreux essais réels, très coûteux. Dans le cadre de ce projet, ces essais permettent de vérifier si la structure répond aux normes, et si le déplacement de la structure aux voisinages des batteries n'est pas trop important.

Le principe de chargement de la voiture est d'appliquer la masse des batteries ainsi que celles des passagers sur les poutres, aux nœuds adéquats. La répartition des masses le long de l'axe longitudinal de la voiture se fait comme suit : 367 Kg sont placés à l'avant du véhicule, pour représenter la masse des batteries ainsi que celle du moteur et équipements, 417 Kg à l'arrière et enfin 617 Kg répartis au milieu du châssis.

Une fois le chargement effectué, il faut animer le véhicule d'une vitesse de 57 Km/h. Le choc se fait contre un mur rigide à 90°.

L'équipe qui a travaillé sur le projet s'est formée auprès des meilleurs spécialistes en la matière : les constructeurs, pour l'utilisation du logiciel Ls-Dyna qui permet de faire les tests choc [3]. Néanmoins cette équipe débutante n'a pas pu donner de résultats concluants sur la validation des deux structures 1 et 2 choisies en tests statiques par manque de temps (Il existe une vidéo des tests de crash simulés où l'on voit des déformations beaucoup trop importantes du plancher).

La structure 1 a été réfutée car elle n'offre aucune résistance au crash. En effet, avant même la fin du crash, la place du conducteur est totalement détruite. En ce qui concerne la structure 2 certaines poutres n'étaient pas liées entre elles après le crash. Aucune conclusion n'a été tirée. Nous avons l'intention de poursuivre ces travaux en modifiant le trajet de certaines poutres et en renforçant d'autres. Mais il nous a été proposé une formation particulière sur le logiciel Ls- Dyna moyennant finances ...et nous avons dû abandonner.

Essais aérodynamiques

Les essais et les simulations en soufflerie ont pour objectif d'économiser l'énergie : domaine crucial dans le véhicule électrique à batteries.

La soufflerie prévue dans ce projet est une soufflerie récente de l'EIVL : Soufflerie à retour. Elle est composée de deux éléments : une soufflerie Eiffel et un retour guidé en grande section. Dans la partie du retour guidé, on installe le banc d'essais.

La veine d'essais utilisée a une section carrée de côté 700 mm et de longueur 1.4 m. La vitesse peut varier entre 0 à 60 m/s pour une puissance de 55 kW (ce qui correspond à une vitesse simulée maximale de 216 Km/h).

Malheureusement ces essais à l'échelle 1/5 n'ont pas été menés dans le cadre des projets élèves: les maquettes 'Clay' réalisées par Strate College n'avaient pas assez de résistance mécanique pour tenir correctement fixées sur la balance, par ailleurs la réalisation de maquettes rigides en bois, par exemple, ne pouvait pas être prise en compte dans le budget.

Cela est très dommage et montre une fois de plus que des projets de fin d'année d'élèves ingénieurs prévus sur un laps de temps trop court, permettent seulement d'amorcer des pistes, avec souvent des interruptions en cours de route.

Cependant, compte tenu de la vitesse modérée du taxi électrique (95 Km/h), ces essais ont donc une importance relative et étaient prévus uniquement pour aider au choix entre plusieurs formes extérieures.

III. 2. Liaison au sol pour TAXEL

Le but de l'étude menée par équipe de l'ESTACA était de choisir les liaisons au sol, c'est à dire faire le choix technologique concernant les pneumatiques, le système de freinage, les essieux et la direction. Ainsi, déterminer les efforts maxima transmis par les essieux à la structure de TAXEL, définir les interfaces essieux/structure et les points d'entrée sur la structure.

Cette équipe a fait une étude d'architecture sous CATIA et une étude de dimensionnement d'organes sous ADAMS de préférence à NASTRAN.

Le choix du système de freinage a été soumis à différentes contraintes (cahier des charges, normes réglementaires, forces) :

- ◇ Le type de motorisation (électrique) permet et nécessite une récupération d'énergie au freinage qui doit être optimisée afin d'accroître l'autonomie du véhicule.
- ◇ Le véhicule doit être homologué pour une utilisation routière.
- ◇ Compte tenu de sa mission, le véhicule doit privilégier les performances confort par rapport au performances tenue de route.
- ◇ Le système de freinage doit arrêter le véhicule même à vitesse maximale au PTAC.
- ◇ Une bonne liaison au sol doit être associée à un freinage endurant et performant pour améliorer la sécurité.

Comportement du véhicule au freinage

Forces appliquées

- L'inertie du véhicule crée une force F_i telle que $F_i = M\gamma$. Il en résulte un transfert de masse.
- La force liée aux frottements aérodynamiques est importante au-delà d'une certaine vitesse (30 ou 40 Km/h). A faible vitesse, elle influe peu sur le véhicule. Elle est liée à la forme du véhicule et à son maître couple.

Pour décrire ce phénomène, on reprend la loi de Newton :

$$F_a = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot C_x \cdot V^2$$

Les essais aérodynamiques de taxel n'ayant pas pu être terminés, on a adopté un C_x compromis de 0.3, ce qui est plus défavorable, d'où : $S_{cx} = 0.8$ ($\rho = 1.2$).

Dans le tableau III. 1, on présente des valeurs de la force F_a en fonction de la vitesse du véhicule.

V (Km/h)	0	20	40	60	80	100
F_a (N)	0	15	59	133	237	370

Tableau III. 1 : Evolution de la force aérodynamique en fonction de la vitesse

- La force de résistance au roulement F_r est liée à la déformation du pneu sur la chaussée. Cette force est moins importante que les autres (inertie et aérodynamique), notamment à vitesse élevée. Par contre en s'approchant de la vitesse nulle, elle est à prendre en compte, car elle contribue à l'arrêt du véhicule (en dessous de 20 km/h).

La formule est empirique et est applicable pour un véhicule à quatre roues simples. Il faudrait donc vérifier cette formule par des essais expérimentaux, ce qui était impossible dans le cadre du projet. La formule de Hoerner est :

$$F_r = M \cdot g \cdot K_r$$

Avec

$$K_r = 0.005 + 0.01055 / P + 9.53 \cdot 10^{-3} V^2 / P$$

Avec un choix de « pneus verts » afin de réduire les pertes par résistance au roulement, F_r pour Taxel est approximativement : **$F_r = 112 \text{ N}$** .

Caractéristiques du système de freinage

Pour les liaisons au sol, les essieux du Mégane Scénic 1.9 dTi sont retenus (voir paragraphe : Choix des essieux et de la colonne de direction).

Les disques et tambours faisant partie des trains sont conservés. Les caractéristiques sont les suivantes (cote en mm) :

Freins Avant (Disques ventilés) :

Diamètre des disques :	262
Diamètre des cylindres récepteurs :	54
Epaisseur du disque :	22
Rayon d'action :	131

Freins Arrière (Tambours Ø 9") :

Diamètre des cylindres récepteurs :	20.6
Diamètre des tambours :	228.5
Rayon d'action du tambour :	114.25

Le calcul du couple de freinage en fonction de la pression dans le système hydraulique est accessible à partir des caractéristiques des tambours et disques :

Efficacité des freins à disques : $C_1/P = 18.81 \text{ mN/bar}$

Efficacité des freins à tambours : $C_2/P = 8.38 \text{ mN/bar}$

Coefficient de frottement garniture/disque vaut : $\mu = 0.37$

Coefficient d'efficacité des tambours vaut : $C^* = 2.2$

Tenue des freins à l'échauffement

La réglementation impose une tenue à l'échauffement. Il faut enchaîner 15 freinages successifs toutes les 45 secondes, avec une décélération de 3 m/s^2 . Cet essai doit être réalisé avec le véhicule chargé et le moteur embrayé sur le rapport le plus élevé. La vitesse initiale V_1 vaut 80 % de V_{\max} et la vitesse V_2 vaut un $\frac{1}{2}$ de V_1 .

La vitesse maximale de Taxel étant de 90 Km/h, on a : $V_1 = 88 \text{ Km/h}$ et $V_2 = 44 \text{ km/h}$.

Les freins utilisés sont ceux du Mégane Scénic 1.9 dTi pesant 2 Tonnes en pleine charge et ayant une vitesse maximum de 170 km/h. pour ce véhicule la réglementation impose donc $V_1 = 136 \text{ km/h}$ et $V_2 = 68 \text{ km/h}$.

L'énergie cinétique perdue par le véhicule lors de chacune de ces décélération est :

$$\Delta E_c = \frac{M}{2} (V_1^2 - V_2^2) = 490 \text{ kJ}$$

Pour le Scénic :

$$\Delta E_c = 1070 \text{ kJ}$$

On a donc un rapport de 2 pour l'énergie à dissiper entre le Taxel et le Scénic. Celui-ci ayant passé les tests d'homologation, donc Taxel ne doit pas avoir aucun problème avec ces freins. Sachant qu'on doit pouvoir disposer d'un taux de récupération au freinage de 15 %, une étude plus fine devrait permettre d'alléger ces freins.

Pour un bon agrément et un confort d'utilisation taxi, il faut un effort pédale maxi de 20 daN pour créer une décélération de 10 m/s^2 . On a alors une pression de 107 bars dans le système hydraulique. Le pédalier de rapport 4,5 et de rendement 0,85.

Quand on applique 20 daN d'effort au niveau de la pédale, l'effort à l'entrée de l'assistance est de $20 \times 4,5 \times 0,85$ c'est à dire 76,5 daN.

Le choix est le suivant : maître cylindre de 20,64 mm, une assistance de $\varnothing 9''$, de rapport 4,5 et fonctionnant avec une dépression de 0,7 bars.

- La loi impose tout d'abord une décélération supérieure à $5,8 \text{ m/s}^2$ pour un effort pédale inférieur à 50 daN. Les distances d'arrêt correspondantes doivent être inférieures à :

$$D_r = 0,1 V + V^2/150, \text{ moteur débrayé à } V < 80 \text{ km/h}$$

$$D_r = 0,1 V + V^2/130, \text{ moteur embrayé à } 80 \% \text{ de } V_{\max} (< 160 \text{ km/h})$$

$$\text{La distance d'arrêt } D \text{ vaut : } D = \frac{1}{2} \frac{V^2}{\gamma}$$

A 80 km/h, la distance d'arrêt réglementaire est de 50,7 m. Avec une adhérence de 1, le véhicule électrique freine en 30 m. L'effort pédale pour une décélération de 10 m/s^2 est de 19,5 daN. Nous sommes bien en dessous de la réglementation.

- La législation impose d'obtenir une décélération de 3 m/s^2 avec un effort inférieur à 50 daN sans assistance. On trouve qu'on peut obtenir cette décélération en fournissant un effort de 27 daN < 50 daN.

- La législation européenne demande que le frein de stationnement soit efficace dans une pente de 18 % avec un effort de commande maximum de 40 daN dans le cas d'un frein à main ou de 50 daN dans le cas d'un frein à pied.

On trouve que pour avoir un effort pédale de frein de stationnement de 20 daN, il faudra prendre une pédale de rapport 3,3.

Choix des pneumatiques

- La nomenclature normalisée des pneumatiques retenus est donc :

175 / 70 R 14 87 J

Il s'agit donc de pneumatiques de 175 mm de largeur, de série 70, de diamètre intérieur à 14 pouces, d'indice de charge de 87 (correspondant à 545 kg) et de code de vitesse J (correspondant à 100 km/h).

Le rayon sous charge est égal à 272,5 mm.

Choix des essieux et de la colonne de direction

Les essieux de Taxel ont été choisis parmi les trains existants en respectant le cahier des charges (colonne de direction, encombrement et répartition des masses).

- Taxel est un véhicule de type monospace. Il nécessite donc une colonne de direction « de type haute » (colonne peu inclinée). Tous les trains envisagés proposent ce type de direction, à l'exception de la Peugeot 406. Désirant limiter au maximum les modifications et considérant qu'il était inutile et très coûteux de développer une colonne de direction spécifique à Taxel, les essieux de la 406 sont rejetés.

- Etant donné que taxel est un taxi électrique, nous devons réduire au minimum la masse du véhicule. Or les essieux de la Peugeot 806 sont surdimensionnés. En effet, la masse à vide de la Peugeot 806 et la charge maximale sont largement supérieures à celle de Taxel. Donc, il était inutile d'augmenter la masse du véhicule avec ces essieux.

- Il reste à faire un choix entre les essieux du Berlingo et de la Mégane Scénic. Avec l'équipe de l'architecture, le choix a été en faveur des trains qui offraient le plus d'espace pour l'emplacement des batteries. Ces deux équipes (liaisons au sol et architecture) ont adopté les trains avant et arrière de la Renault Mégane Scénic 1.9 dTi.

- Ainsi, comme signalé précédemment les deux équipes ont choisi la colonne de direction de la Renault Mégane Scénic 1.9 dTi.

La technologie d'assistance de direction compte tenu des cahiers des charges de Taxel a des avantages et des inconvénients. Il s'agissait de choisir le système le plus économe en énergie, le moins lourd, le moins encombrant et le moins cher.

La direction assistée électro-hydraulique est la technologie qui satisfait au mieux les exigences de Taxel.

III. 3. Etude Ergonomique

Dans une optique de confort et de tenue dans le temps de la position de conduite, les préconisations des constructeurs pour ce qu'ils appellent les angles de confort de chaque articulation doivent être respectées. Ils sont définis à partir d'une fourchette angulaire correspondant à chaque articulation en tenant compte des différentes liaisons entre le conducteur et son véhicule, à savoir :

→ Liaison conducteur/siège

→ Liaison main/volant

→ Liaison pied/pédale

Les valeurs de ces angles de confort définis sur la figure III. 12 sont :

$20^{\circ} < A1 < 30^{\circ}$	$95^{\circ} < A2 < 120^{\circ}$
$95^{\circ} < A3 < 135^{\circ}$	$86^{\circ} < A4 < 110^{\circ}$
$0^{\circ} < A5 * < 45^{\circ}$	* avec appui de la main
$80^{\circ} < A6 < 170^{\circ}$	$170^{\circ} < A7 < 190^{\circ}$

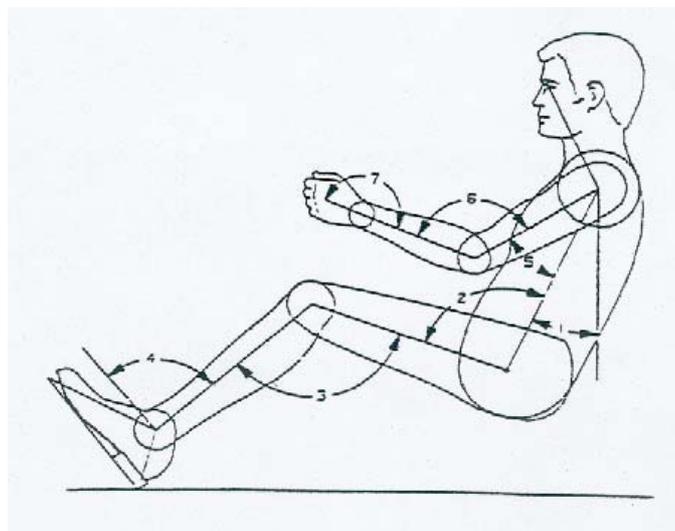


Figure III. 12 : Angles de confort

Les éléments en grande série sont reprise. Les côtes du berceau et de la colonne de direction ne doivent pas être modifiées afin de ne pas grever le coût.

L'angle du dos est plus proche de la verticale que pour le poste de conduite d'un véhicule de tourisme classique. Dans ce dernier, l'angle minimal que doit faire le dos avec la verticale est de 25° , pour garder une valeur convenable pour le poste de conduite de Taxel, les élèves ingénieurs ont opté pour une hauteur d'assise plutôt élevée qui nous permet d'avoir le dos plus proche de la verticale tout en gardant des angles de confort corrects, et qui sont les suivants (voir figure III. 13) :

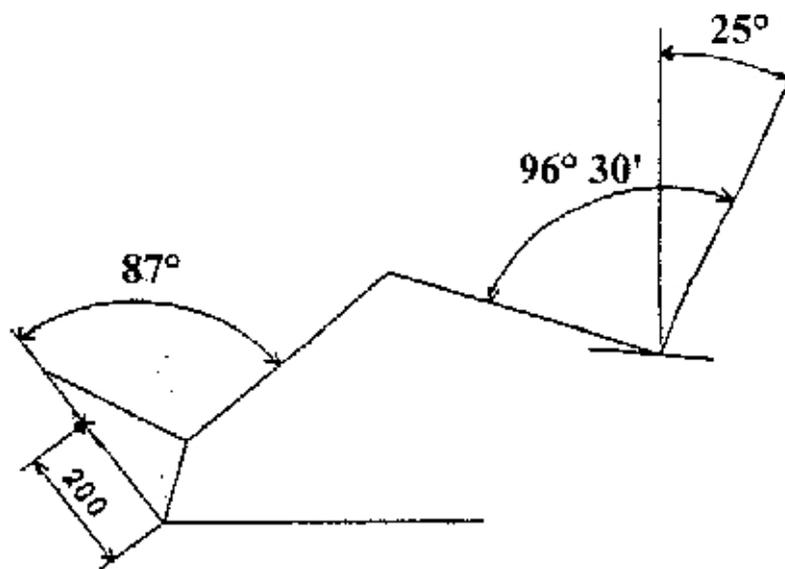


Figure III. 13 : Angle de confort

Pour avoir une importante visibilité vers l'avant du véhicule, il faut :

→ Une visibilité minimale vers le haut afin d'obtenir une bonne vue sur les panneaux de signalisation et pour minimiser l'impression de confinement. Les yeux du conducteur devront se situer sous une droite inclinée de 23° par rapport au point haut du pare-brise, cette contrainte sera certainement difficile à respecter, en particulier pour les personnes ayant un grand buste. Le point haut du pare-brise devra se situer à, au moins, 81 cm du point Hx (voir figure III. 14).

→ Une visibilité minimale vers le bas pour une bonne lisibilité de la signalisation au sol et d'obstacle surgissant promptement. Les yeux du chauffeur devront se situer au-dessus d'une droite inclinée à 8° . Le point Hx devra se trouver à plus de 83.5 cm du point bas du pare-brise.

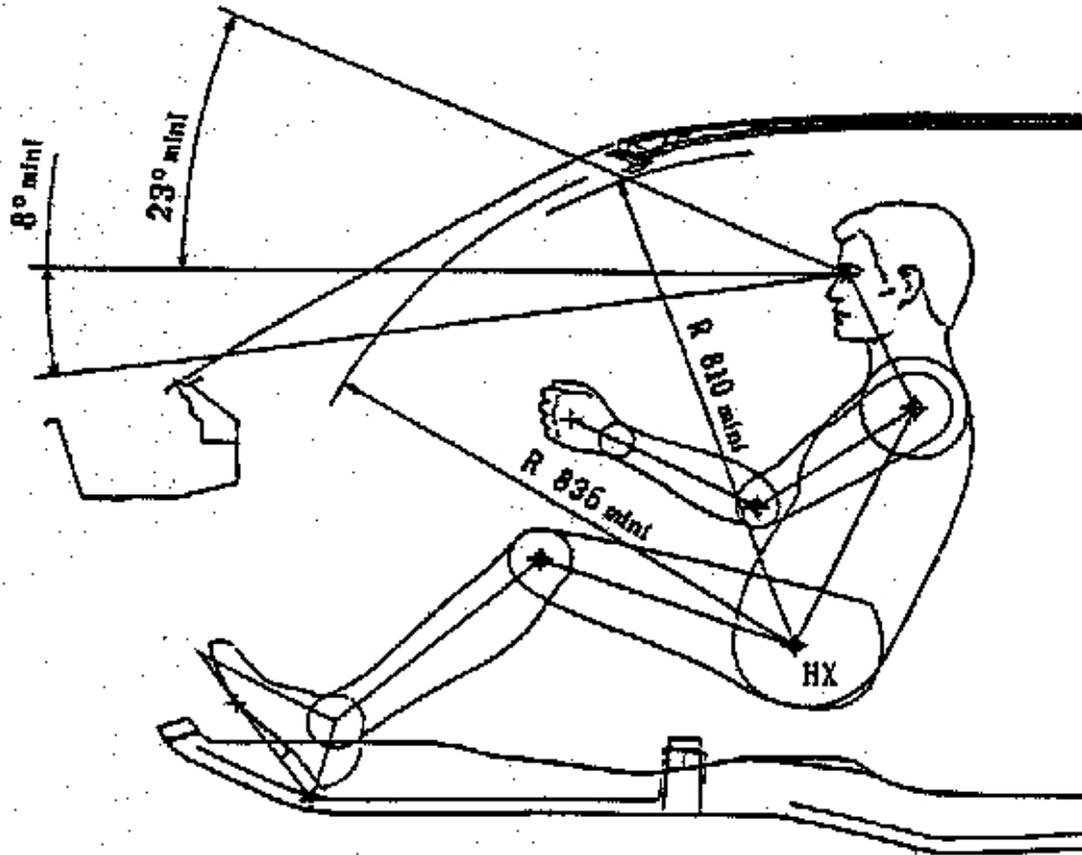


Figure III. 14 : Emplacement du point Hx

III. 4. Propulsion pour TAXEL

Après définition d'un premier cahier des charges (CDC) par l'équipe ESTACA, l'équipe EIGSI a déterminé quels devaient être les choix technologiques des composantes clés, batteries et GMP, pour satisfaire ce CDC. L'EIGSI disposait au laboratoire de L. Imobersteg, d'une bonne expérience de la traction des véhicules électriques, puisqu'elle était partenaire de PSA dans le programme VEDELIC (Li Ion – 240Km).

Batteries

Les élèves ont cherché dans une première étape, à établir une liste exhaustive des couples pouvant répondre à leur CDC. Ils ont pris conscience de la difficulté de la tâche en faisant le calcul classique du ratio entre l'énergie massique stockée dans un carburant liquide et l'énergie stockée dans une batterie d'accumulateurs.

Nous le reproduisons ici pour l'avoir toujours présent en mémoire :

Avec 1 litre d'essence (soit 750g) on dispose de 7.5 Kwh, même avec 25 % de rendement moteur on tire 10000 Wh/Kg à comparer à 100 Wh/Kg pour une très bonne batterie, d'où le ratio de 100/1 au bénéfice du carburant liquide.

Le taxi électrique a essentiellement besoin de batteries à énergie massique et volumique élevées avec une bonne puissance massique, car on a à faire à un véhicule devant fonctionner souvent en régime transitoire (marche/arrêt fréquents). Une aptitude à la recharge rapide (nous verrons que dans certains cas se pourra être un type de charge fréquent) et bien sûr une aptitude au cyclage élevé (Nombre de cycles décharge/charge)

Il a été rapidement déterminé que :

les couples industriellement utilisés, Pb acide, NiCd et éventuellement NiMH, avaient des performances trop faibles.

il pouvait être risqué de sélectionner pour un taxi, des batteries chaudes (genre Sodium-Chlorure de Nickel_Zebra, $T > 300^{\circ}\text{C}$).

Le couple qui paraissait le candidat le plus sérieux semblait bien être le Lithium Carbonne dit **Li Ion**, déjà fabriqué en grande série pour les applications « portables ». L'équipe a misé sur

la réussite de SAFT pour aboutir à la réalisation industrielle de ces batteries qui obtenaient déjà de très bons résultats sur véhicule 106 Vedelic.

Ils ont donc déterminé les performances de Taxel avec des blocs batteries LiIon de Saft, à partir des caractéristiques élémentaires des modules de 10.5V –1 Kwh, qu'ils ont obtenues du fabricant dans une version qui n'était sans doute la plus évoluée.

Le moteur électrique

L'équipe de l'EIGSI a fait un choix du moteur à utiliser dans le véhicule Taxel en respectant le cahier des charges. Ce choix passait par une recherche des moteurs existants.

La solution la plus fréquemment utilisée, en solution industrielle, est le moteur à courant continu développé entre autres sur les 106 électriques. Mais cette solution ne répond pas aux exigences du cahier des charges en terme de puissance et de vitesse.

Ainsi pour un projet d'avenir, il a fallu se tourner vers de nouvelles solutions. Les moteurs à courant alternatif, synchrones ou asynchrones, sont en cours de développement. Ces moteurs peuvent garantir de bonnes caractéristiques de fonctionnement et des perspectives intéressantes.

En particulier les avantages du moteur synchrone par rapport au moteur à courant continu sont :

- Production plus facile (empilement de tôles)
- Fiabilité
- Entretien plus facile(absence de balais)
- Rendement supérieur

L'équipe de l'EIGSI a choisi le moteur synchrone à aimants permanents. La puissance nominale de 45 kW et la vitesse de 110 Km/h sont compatibles avec ce type de moteur qui possède une puissance massique et un rendement supérieur aux autres moteurs électriques. Cependant le choix n'est pas évident quand on fait intervenir les éléments économiques (prix des aimants permanents et donc des terres rares), l'autre solution étant à aimants à enroulements bobinés. Aussi l'EIGSI a sans doute choisi une solution de facilité en restant dans la ligne du moteur utilisé dans le programme Vedelic qui a permis de valider ce choix sur véhicule 106 avec batteries Li Ion et des autonomies de l'ordre de 240 Km (voir Annexe III. 1).

Simulation

Le travail de simulation des performances est fondamental pour orienter puis valider les choix effectués concernant les composants clés du véhicule.

EIGSI s'est chargée de ce travail en utilisant des logiciels maison qui avaient fait leurs preuves.

Le principe est classique et consiste à appliquer pas à pas les équations de la dynamique au véhicule qui roule selon une loi de route choisie à l'avance [$V = f(t)$].

Deux lois sur les trois utilisées nous paraissent les plus valables :

1-Loi statistique évaluée suite à une série de mesures effectuées sur taxis G7

(2 campagnes en juillet 98 et juillet – août 99) par un élève ingénieur ESTACA avec l'appui de l'EDF. En toute logique c'est la plus réaliste pour rendre compte des trajets du type « taxis parisiens » (Les fichiers $V(t)$ existent dans les dossiers référencés [21-24].) Un exemple de ces fiches de calcul est dans l'annexe III. 2.

2- Lois de route selon des cycles en usage dans l'automobile(type EUCAR) avec 80 % du temps en cycle urbain et 20 % en extra urbain. Ce cycle représente une durée de 1200 sec (20 mn) lui-même correspondant à la durée moyenne d'une course.

Cette loi a sans doute une portée plus générale et pourrait représenter la circulation dans une ville moyenne.

Les calculs de l'EIGSI ont confirmé que les missions type G7 pouvaient être réalisées (207 Km dans un cas)avec les même conditions de vitesse et accélération que le CdC (0-50 Km/h en 8-10 s) et $V_{max} < ou = 110 \text{ Km/h}$ [sauf 120 Km/h pour $T < 2 \text{ mn}$] pour un véhicule réel chargé à 1650 Kg.

La satisfaction aux lois de route « normalisées »est plus artificielle car elle suppose que l'on multiplie le cycle normalisé de 1200 sec, par le nombre moyen de courses journalières(soit 13 à 15) à 13 Km moyen par course(Dossier France –Gestion), ce qui est effectivement <200 Km. On vérifie que la consommation totale énergétique est < à l'énergie embarquée dans 375 Kg de batteries.

Il est clair que pour des taxis se situant au delà de la moyenne en autonomie, les courses ne peuvent être satisfaites.[nous en reparlerons au Ch IV]

III. 5. Electronique du véhicule

Les travaux de l'ESIEE ont porté sur différents domaines à savoir :

- la connexion avec un réseau multiplexé CAN,
- la climatisation du véhicule,
- l'électronique de confort du véhicule (et non l'électronique de la propulsion),
- communications : la localisation, transmission de données avec le centre (GPS),
- la compatibilité électromagnétique C.E.M.

Connexion - Réseau CAN

La nécessité d'avoir un équipement électronique très complet, tant au niveau traction électrique, qu'en équipement de bord, a imposé l'étude d'une connectique multiplexée.

La présentation du réseau CAN a été bien détaillée dans le cadre de TAXEL. Le réseau de type CAN ou bus CAN est un standard de fait de l'industrie automobile. Ce type de réseau a été développé dans le but de faire face à l'augmentation croissante de la longueur du câblage dans les automobiles modernes et à la complexité de l'électronique embarquée. Ainsi ce type de réseau apporte une fiabilité de transmission et une bonne maîtrise des coûts [3].

Le concept CAN offre la possibilité d'ajouter ou de supprimer un équipement électronique sur le réseau sans qu'il soit nécessaire de modifier la couche matérielle ou logicielle des autres équipements connectés sur le même réseau.

Le réseau CAN propose deux types de bus différents, en fonction des besoins en rapidité de l'utilisateur :

- Le bus CAN 2.0A « Low speed », dont le débit maximum est de 120 kbits/s.
- Le bus CAN 2.0B « High speed », dont le débit maximum est de 1 Mbits/s.

Avant de pouvoir spécifier le bus CAN du véhicule, il est indispensable de spécifier l'architecture matérielle des équipements électroniques du véhicule. Cette architecture matérielle est imposée d'une part par la configuration du véhicule, et d'autre part par la nature et la fonction des équipements électroniques propres au taxi électrique.

Outre les caractéristiques du cahier des charges rappelées dans le rapport de R. Sitaud et al. [15], le taxi électrique possède :

- Un grand nombre d'équipements
- Une seule porte à l'avant gauche
- Deux portes arrières, une porte principale coulissante coté droit et une porte classique de secours coté gauche(ou 2 portes AR coulissantes)

Cette spécificité du taxi électrique nécessite la conception d'un tableau de bord particulier avec plus de fonctions et plus d'informations à transmettre qu'un véhicule classique : capteurs de surveillance du compteur d'énergie, capteur de fermeture et d'ouverture des portes, capteurs de sécurité de la bonne fermeture des portes avant démarrage et capteur d'autonomie restante compte tenu de la charge des batteries et de la vitesse moyenne du véhicule etc...

Le réseau CAN installé dans le taxi est composé de trois bus indépendants. L'échange d'informations entre ces différents bus s'effectue à l'aide de passerelles. Le principe de la passerelle consiste à connecter deux nœuds issus de deux bus différents par l'intermédiaire d'une zone mémoire commune (voir annexe III. 3).

Les trois bus présents dans le véhicule sont les suivants [3]:

→ Bus de traction

Ce bus assure la communication entre les équipements de la chaîne de traction (batterie, boîtier de commande du moteur, moteur, ...)

En raison du taux de transfert important nécessaire pour ce type d'application, le bus retenu est un bus CAN 2.0B.

→ Bus de carrosserie

Ce bus assure la communication entre les équipements fonctionnels du taxi (tableau de bord, éclairage, équipements des portes, climatisation, ...)

Ces équipements ne nécessitent pas un taux de transfert important, le bus retenu est un bus CAN 2.0A (voir annexe III. 3 : la structure du bus CAN Equipements).

→ Bus de confort

Ce bus assure la communication entre les équipements électroniques de confort installés pour le conducteur et le passager (Ordinateur, système de communication, hi-fi, ...).

Ces équipements ne nécessitent pas un taux de transfert important, le bus retenu est également un bus CAN 2.0A.

Climatisation du véhicule

La climatisation du véhicule a été étudiée en parallèle de l'électronique du véhicule, son objectif est de déterminer les puissances nécessaires pour climatiser l'habitacle (rafraîchissement ou réchauffement).

Les résultats obtenus dans ce cadre sont les suivants :

→ La puissance nécessaire pour rafraîchir l'habitacle en été est de 1 kW (en supposant que la température du compartiment chauffeur est maintenue 20°C, celle du compartiment client (3 personnes) est de 25°C pour une température extérieure de 30°C)

→ La puissance nécessaire pour réchauffer l'habitacle en hiver est de 2 kW (c'est la puissance nécessaire pour atteindre la température de 18 °C dans les compartiments chauffeur et client pour une température extérieure de -18°C).

Il est apparu rapidement que l'énergie nécessaire à cette climatisation aurait beaucoup de difficultés à être tirées des batteries sans pénaliser lourdement l'autonomie.

L'utilisation de l'énergie solaire pour alimenter la climatisation de Taxel a été étudiée pour réduire l'impact de cette énergie sur l'autonomie. L'ensoleillement dans cette situation est de l'ordre de 1,5 kW/m², le rendement d'un module photovoltaïque étant de 15 %, l'énergie solaire fournie est de 225 W/m².

En installant de tels modules ($\approx 5 \text{ m}^2$), sur des surfaces de la carrosserie, l'énergie solaire permettrait le rafraîchissement intégral en été et la moitié du réchauffement en hiver.

Electronique de confort du véhicule

L'électronique de confort prend une part considérable lors de la conception d'une automobile qui va du simple affichage de la température, au plus compliqué, ordinateur de bord centralisant toutes les informations.

Le projet TAXEL dont le cahier des charges impose un équipement électronique très complet et très moderne a pour but d'apporter un maximum de confort aux occupants et de rendre le trajet le plus agréable possible.

Chaque compartiment à bord du taxi possède les équipements adaptés. Dans le tableau III. 2 on précise cet équipement pour le chauffeur et les passagers.

	Electronique de confort pour le chauffeur et le client
Chauffeur	<p align="center"> Système Hi-Fi : Radio cassette et/ou CD Haut-parleur Télévision à l'arrêt Taximètre dans le tableau de bord Vitres électriques Climatisation réglable (indépendante de celle du client) Condamnation des portes au-dessus de 5 Km/H et avant la fin de la course Air bag </p>
Passager	<p align="center"> Système Hi-Fi : Radio cassette et/ou CD Affichage sur écran d'informations telles que : Informations touristiques, et culturelles Adresses et numéros de téléphone des lieux intéressants Jeux vidéos Climatisation réglable (indépendante de celle du chauffeur) Vitres électriques Lecteur de carte bancaire et carte "forfait" avec petite imprimante Un micro et des haut parleurs Une prise GSM ou infrarouge pour l'émission de fax à partir d'un ordinateur portable </p>

Tableau III. 2: Equipements électroniques pour le chauffeur et le passager

Communications : la localisation, transmission de données avec le centre (GPS)

Le conducteur doit disposer de plusieurs équipements électroniques lui permettant de rester en communication avec le central taxi et de s'orienter plus facilement dans Paris.

Le système actuel

Le système actuel est assez rudimentaire. Il date de presque dix ans et comporte de nombreux éléments dépassés. On trouve :

- un terminal,
- une radio (protocole MMP),

- un récepteur GPS différentiel,
- le central.

Le terminal

Le terminal à bord est l'interface entre le chauffeur et le central. Ce terminal a un fonctionnement simple. Le chauffeur doit d'abord saisir son code, son type de voiture et la zone dans laquelle il se trouve. Cette zone est transmise au central. Une fois qu'une course est proposée le central l'envoie au taxi le plus proche. Le chauffeur doit l'accepter dans un bref délai. Sinon elle est proposée au taxi le plus proche. Le chauffeur reçoit l'adresse du client. Le central prévient alors le client du temps d'arrivée du taxi ainsi que son modèle. Une fois sur place le taxi confirme que le client a été pris en charge.

La radio

La radio est la base du système. C'est sur elle que repose l'attribution et la réalisation des courses.

La radio utilisée est de type Motorola. Elle fonctionne à 80 MHz avec le protocole MMP. Le débit est de 1200 Bauds. 12 antennes sont réparties en région parisienne pour avoir une bonne couverture. Il y a environ 800 000 messages qui sont émis par jour.

La radio est utilisée pour :

- Envoi et acceptation des courses,
- Communication directe entre le chauffeur et le central (mode voix)
- Envoi d'alarme et transaction bancaire avec cryptage.

Le récepteur GPS différentiel

Les voitures sont équipées d'une antenne GPS et d'une antenne différentielle. La position est alors précise à 5 mètres. Ce système permet de transmettre la position de tous les taxis au central.

Après traitement informatique, ces positions permettent :

- de trouver le taxi le plus proche,
- de connaître l'état du trafic sur une zone.

Le central

Le central est un central de réservation assez classique. Des opérateurs reçoivent les appels des clients. Ils saisissent sur un terminal les coordonnées du client ainsi que sa demande

(urgente, réservation, ...). L'ordinateur calcule la distance du taxi le plus proche et annonce un temps d'attente. L'opérateur prévient le client du temps d'attente et attribue la course au taxi le plus proche. Si ce taxi accepte la course le central transmet sa description au client. Sinon il propose la course au taxi suivant. Ainsi, en moins de une minute le client sait son délai d'attente et le type de voiture.

Le central traite aussi les appels en mode voix des chauffeurs et les alarmes. Il ne traite pas encore l'état du trafic.

Dans l'optique du taxi électrique il faudrait ajouter de nouvelles fonctionnalités : ceci afin de prendre en compte les problèmes d'autonomie liées aux batteries.

Le nouveau système

Le cahier des charges impose de nouvelles fonctionnalités. L'ensemble se compose de deux parties distinctes : un écran de navigation et une radio adaptée.

Le système de navigation

Un système de navigation est une assistance électronique pour le conducteur. Il permet d'afficher sur un écran la carte du lieu où l'on se trouve et permet également de suivre la trajectoire de la voiture après avoir choisi un itinéraire. Pour cela l'utilisateur doit entrer sa destination ainsi que le type de trajet qu'il souhaite utiliser. L'unité centrale calcule alors le trajet optimal.

Pour se positionner, le calculateur fait appel au système GPS. Compte tenu de l'imprécision de la position il prend aussi en compte la direction géographique suivie et la distance parcourue. Ces équipements supplémentaires permettent de se positionner sur la bonne route. Le chauffeur n'a plus alors de difficultés pour suivre le trajet. Le système permet également de prévenir le conducteur aux intersections.

Chaque appareil ajoute, à ces fonctions de bases des fonctions propres, tels que l'état du trafic, des informations touristiques ou autres.

Les ingénieurs ont étudié trois systèmes de navigations :

• Le système Visionaute

Ce système propose un écran graphique ainsi qu'une station de calcul pour déterminer le meilleur itinéraire ou suivre la trajectoire. Ce système a le gros avantage de prendre en

compte l'état réel du trafic. Pour cela des boucles de courant ont été disposées sur les routes les plus fréquentées. Un ordinateur calcule le flux de voiture, l'état du trafic et envoie par radio cette information aux récepteurs.

Ce système ne convient pas à notre application car il ne semble pas assez évolutif. En effet, il ne possède pas d'entrée ou sortie lui permettant d'être interfacé avec d'autres éléments.

• Le système Clarion :

Ce système reprend les fonctionnalités de base de tout système de navigation. Il offre également de nombreuses fonctions de confort pour le chauffeur. Il permet, sans autre interface, de regarder la télévision sur l'écran quand le système n'est pas activé.

Ce système présente de nombreux avantages. : son prix est l'un des plus intéressants, sa consommation est très faible.

Ce système n'a pas été retenu car il n'a pas été testé en situation réelle.

• Le système Alpine :

Ce système a déjà prouvé sa faisabilité et son confort d'utilisation à travers le monde. Il semble être le plus apte à répondre à notre cahier des charges. Il reprend les fonctions de base d'un système de navigation et permet de se renseigner sur les informations touristiques ou sur les magasins et les hôtels. L'intérêt majeur du système est son évolutivité. On peut rajouter des options ou des équipements pour obtenir le système idéal.

Afin de répondre au cahier des charges, les ingénieurs ont décidé de mettre en place les équipements suivants :

→ L'écran de contrôle (cva-1000r)

→ L'unité centrale de calcul (nve-n055ps)

→ Le récepteur télévision (tue-t01).

L'avantage majeur de ce système est que l'on peut le configurer comme on le souhaite. Il est possible de reprogrammer dans l'unité centrale le système de gestion du taxi en place actuellement. Ce programme peut être implanté dans la mémoire. Dans ce mode le système fonctionne comme le système actuel. A l'aide d'un interrupteur, on peut passer du mode écran au mode système de navigation. On va toutefois lui ajouter de nouvelles fonctionnalités pour répondre aux besoins du taxi électrique.

Le principal problème est la gestion de l'énergie. Pour cela il faut récupérer l'état de charge de la batterie (Cette information est véhiculée sur le bus CAN) qui peut être captée par l'intermédiaire d'un nœud CAN et transmise au central à chaque message.

Il appartiendra au central de gérer la flotte de taxi en fonction de l'autonomie de chaque conducteur.

Le central

La gestion du central va être légèrement modifiée par cette nouvelle architecture et par la mise en place des taxis électriques. En effet, il va devoir tenir compte de l'autonomie limitée des véhicules.

Lorsque le central va transmettre une course au taxi, il va aussi lui transmettre l'adresse de destination. Le système embarqué va donc devoir calculer automatiquement l'itinéraire à suivre pour aller prendre en charge le client. Cela sans aucune manipulation du chauffeur. Il faut donc que dans ce type de message, le système reconnaisse une adresse et trouve ensuite le bon chemin.

Le central connaît l'état de charge des batteries des taxis. Il peut en déduire l'autonomie possible. Cette information va être prise en compte au moment du choix du taxi. Si un taxi potentiel a une autonomie limitée (< 20 km) la course ne lui sera pas attribuée. Il recevra en revanche la mission d'aller se recharger. Si plusieurs taxis sont disponibles le central fera le choix en rapport avec l'adresse de destination. Si l'adresse d'arrivée est fournie, elle sera transmise au conducteur pour que l'itinéraire s'affiche automatiquement.

Le système radio

Le système radio est un élément clé de l'équipement électronique embarqué pour assurer la communication avec l'environnement extérieur.

La solution proposée est la radio : TETRA.

TETRA est le nouveau standard européen pour les systèmes mobiles de communication. Il a été développé par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) et il devrait dans les années à venir s'imposer dans le domaine des systèmes de communications publics et privés. Il a été retenu parmi plusieurs systèmes : GSM, Packet mobile data, Analog private mobile radio.

Compatibilité électromagnétique C.E.M.

La compatibilité électromagnétique CEM est la capacité d'un appareil électrique à fonctionner sans perturber et sans être perturbé par d'autres appareils électriques.

Dans le projet TAXEL, on se trouve dans une situation où ce problème de CEM est particulièrement important. En effet on trouve dans un tel véhicule un ensemble particulièrement varié d'appareils électroniques avec des niveaux d'émissions élevés (électronique de puissance, hacheur) _ les risques d'être perturbés sont voisins de ceux d'un véhicule thermique fortement 'électronisé'.

Le respect du cahier des charges du projet impose une radio navigation par GPS, des ordinateurs de bord, une paire de téléphones, radios, sans compter les boîtiers électroniques nécessaires au fonctionnement du véhicule, comme l'ABS ou l'électronique de commande des moteurs. On arrive à un total impressionnant d'équipements électroniques. Ces équipements devront cohabiter et fonctionner ensemble quoi qu'il arrive, tout en garantissant des conditions maximales de sécurité.

L'expérience montre que la prise en compte de la CEM dès la conception d'un produit est indispensable, il est toujours difficile et coûteux et quelques fois impossible d'essayer de corriger un problème de CEM a posteriori.

Dans ce projet, les élèves ingénieurs ont présenté les grandes lignes des risques CEM et les moyens de les réduire tout en respectant les impératifs liés à la réalisation d'un véhicule, en particulier en termes de coûts.

Parmi les solutions possibles on choisit d'insérer des filtres secteur à l'entrée de certains appareils. Ces filtres sont choisis en fonction des fréquences où se situent les problèmes de CEM en fonction des données 'constructeurs' qui sont les capacités de mode différentiel (C_x) et de mode commun (C_y) ainsi que la mutuelle inductance (L).

Le critère de choix permet d'obtenir l'efficacité attendue :

- Courant nominal à 25 °C > 0,7 fois le courant consommé.
- Courant nominal à la température maximale > courant efficace.

Des précautions de câblage ont été prises en compte.

- visser le filtre sur la Tôle de Référence des Potentiels (T. R. P.)

III. 6. Le design de TAXEL

Les équipes de Strate College ont commencé le travail en faisant une enquête très approfondie sur la profession des taxis et les véhicules en usage dans les différents pays. Il existait un classeur (photos, articles de journaux, enquêtes, ...) sur le sujet chez Mr M. Larivière (Strate). Ces équipes ont travaillé dans deux directions :

- **Style et formes extérieures :**

Trois formes extérieures ont été retenues après présentations auprès de Taxi G7 et EDF. La première était originale ménageant une très large vue et un grand espace intérieur (voir figure III. 18), la deuxième était plus classique avec un très bon aérodynamisme (voir figure III. 17) et la troisième était mixte : bon aérodynamisme et grande visibilité (figure III. 20).

Les structure n° 1 et n° 2 étudiées par l'équipe de l'EIVL (voir paragraphe III. 1) représentent respectivement les châssis du taxi dessinés sur la figure III. 17 et III. 18.

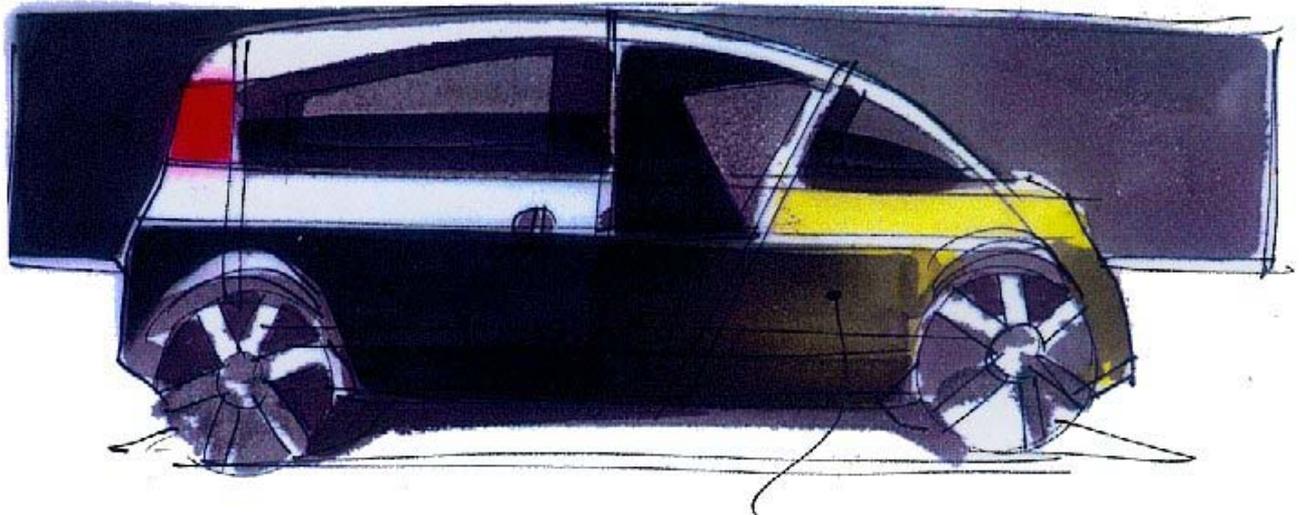
Des maquettes au 1/5 ont été réalisées et présentées au mondial de l'Auto 2000 (figure III. 19).

- **Aménagement intérieur :**

Les élèves ingénieurs ont fait une étude assez poussée matérialisée par dessins, sketches divers et une maquette au 1/5 coupée suivant un plan horizontal (figure III. 20 partie supérieure et III. 21).

Lors de notre visite du centre technique de PSA, nous avons remarqué avec satisfaction que le véhicule prototype Taxi PAC de PSA semble être inspiré du projet Taxel.

- Différents sketches ont été réalisés pour traduire des idées ou astuces mettant en évidence la signalisation particulière, recharge des blocs batteries, facilité d'accès, et sécurité qui devrait être attachée au Taxi électrique (voir annexe III. 4).



changement de couleur suivant
température ou luminosité.



Figure III. 17 : Taxi présentant un bon aérodynamisme

T E T U D E D ' U N T A X I E L E C T R I Q U E



APPREHENSION

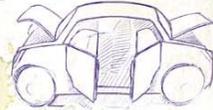


CONVIVIALITE

AXES D'ETUDE



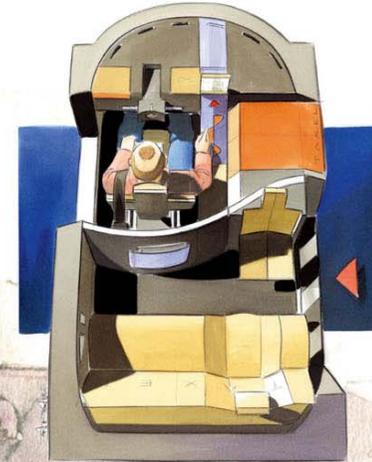
SECURITE DU CHAUFFEUR



OUVRANTS



TOURISME



E C H E L L E 1 : 2



Figure III. 18 : Taxi présentant un grand espace intérieur : Etude intérieure



Figure III. 19 : maquettes Clay

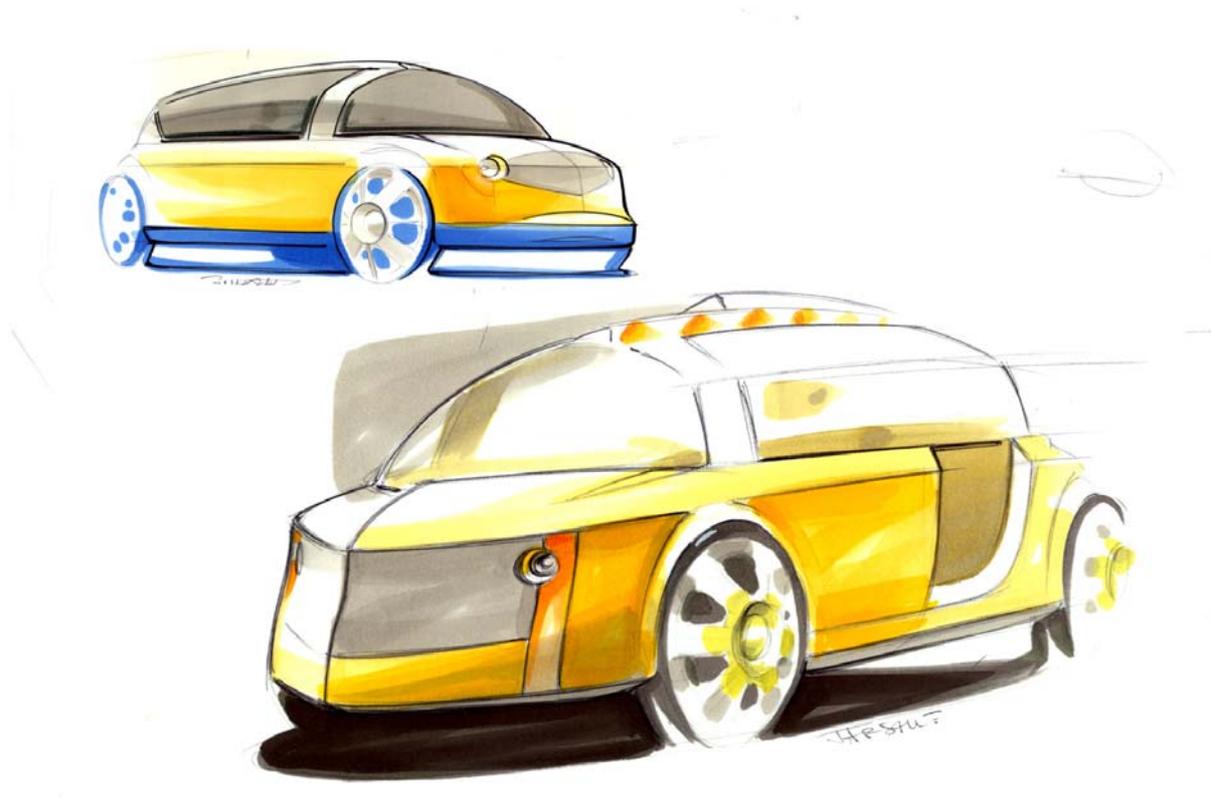


Figure III. 20 : Taxi présentant un bon aérodynamisme et un grand espace intérieur

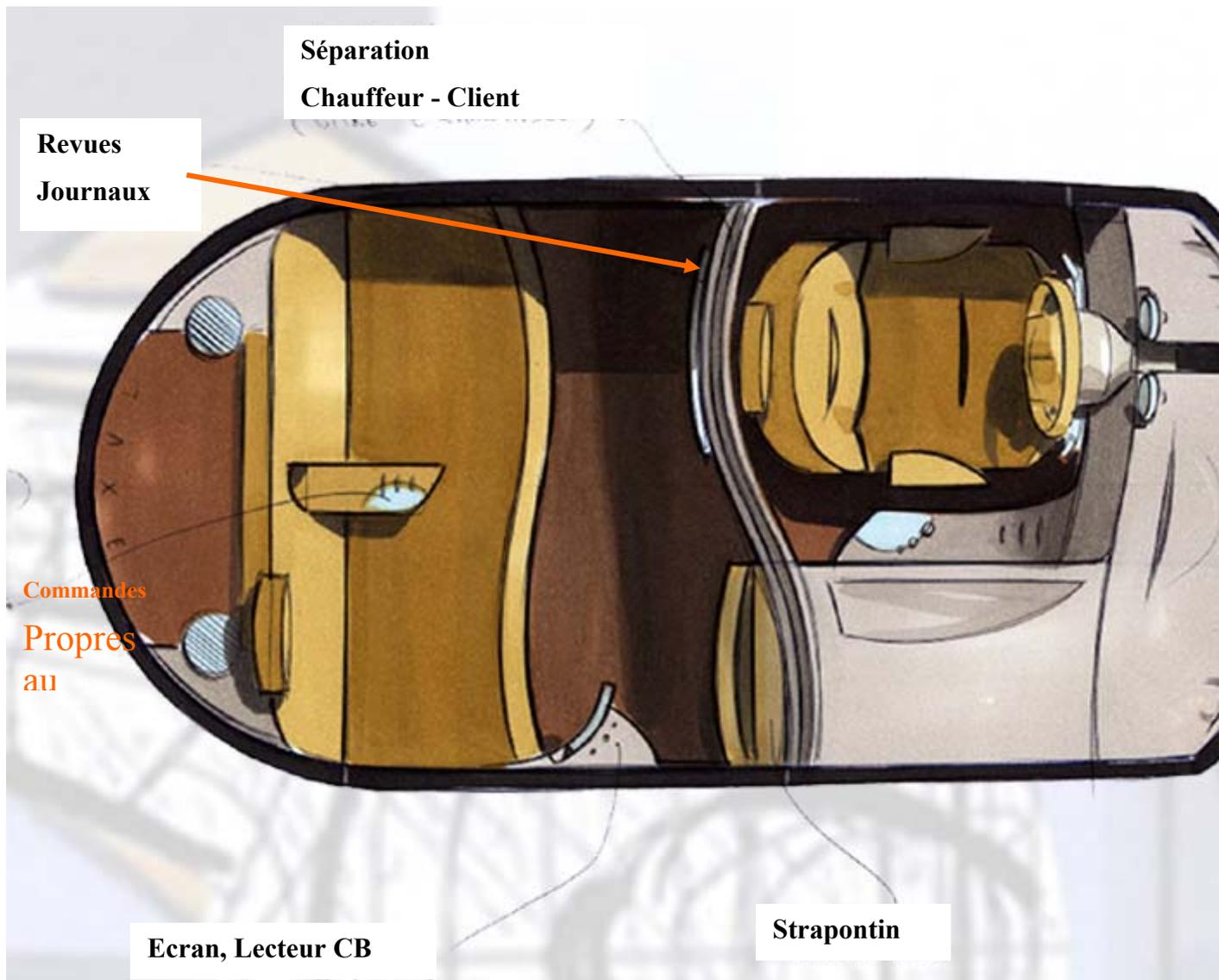


Figure III. 21 : Etude intérieure du taxi électrique

Chapitre IV : Bilan et Perspectives

IV. 1. TAXIA

A l'origine il y avait le projet TAXIA(taxi innovant au GPL) à l'ESTACA, projet de fin d'année d'élèves avec le plein soutien de l'école, celui de la SIA(Sté des ingénieurs de l'automobile), des moyens importants (3 ans de travail continu entre 30 et 200 personnes impliquées) et comme résultat majeur, une maquette grandeur de structure en « cage d'oiseau » d' aluminium(actuellement à l'UTC de Compiègne). Mais on s'est plaint d'un manque de réalisme industriel.

IV. 2. TAXEL

En 1996, on avait immatriculé plus de 1300 véhicules électriques en France, l'EDF se présentait en champion de ce mode de propulsion. La conjonction de l'ESTACA (expérience Taxia), l'EDF et les Taxis G7, très moteur avec son directeur général(Président de l'AVERE)lance un projet d'élèves sur un taxi électrique. On cherche à être plus réaliste en faisant appel à un coordinateur ancien de l'automobile.

Au départ, pour accrocher le projet, on limite les ambitions à un projet « papier »uniquement pédagogique : $V_{max}=100-110$ Km/h, Autonomie : on parle de 150 Km journaliers.

Puis l'ESTACA passe en projets libres, comme l'EIGSI (initiatives d'associations d'élèves), alors que EIVL et Strate maintiennent des projets fortement soutenus par les écoles.

Taxis G7 qui voulait rapidement faire des essais de taxis sur véhicules existants, obligé d'abandonner faute de véhicules adéquats(le Kangoo 'range extender' se fera attendre 2 ans), durcit sa position quant à l'autonomie, après 200Km moyens assurés, on est passé à 300Km, car ce sont les extrêmes de la courbe de Gauss qu'il faut satisfaire et non la moyenne !

On est alors amené à changer de mode de propulsion et un groupe de travail part sur l'hybride (assez perturbant pour les élèves en cours de projet).

L'EDF change de président, de directeur général et de stratégie et, fin 99, se désengage du projet avec une très nette réduction des travaux de l'EIGSI, et ceci explique peut être cela. Les autres écoles se sont néanmoins maintenues jusqu'au Mondial 2000 où une présentation des résultats s'est faite sur un stand.

Ces résultats étaient destinés à disparaître, car les élèves quittent(*heureusement*) les écoles, et les écoles ne peuvent physiquement archiver des centaines de projets éphémères.

L'intelligence de la DRAST a permis de « sauvegarder » ce qui a été fait dans ce domaine,

Mais il ne faut pas le considérer comme une recherche d'entreprise.

IV. 3. Ce qui est valable et peut être retenu

- l'analyse des **besoins**, recherchés sur le terrain, mesurés sur de véritables taxis parisiens en exploitation, (*Analyse biblio. + interviews récents de 40 chauffeurs*)

- le **Cahier des Charges** qui en a résulté :

. 2 places + 1 strapontin

. V max = 110 Km/h

. Autonomie /j= 200 Km(avec 375Kg batteries Li Ion)

validé en simulation numérique, avec les lois de route réelles

- une **structure** en 'cage d'oiseau' aluminium (principe validé dans Taxia).

Très légère et adapté à un design spacieux et lumineux, présentant un bon comportement en statique (flexion, torsion)

- un **concept novateur** concernant l'aménagement intérieur, et pouvant se transposer facilement sur des véhicules existants (validation sur le Taxi PAC de Peugeot)

- des **idées de design extérieur** et de signalétiques adaptées à la fonction taxi électrique.

- **L'électronique de confort** qui a adapté aux fonctions particulières du taxi électrique, le principe du multiplexage par Bus CAN(standard de l'industrie automobile) : concrétisé par un dossier de spécifications très complet.

IV. 4. Ce qui ne peut déboucher

- le principe d'un véhicule taxi fondé sur une carrosserie spécifique. Cela est bien connu de tous ceux qui ont approché les constructeurs (cf. Eliane de Vendevre et le taxi européen).

Cependant les élèves ingénieurs ont préféré travailler sur une structure innovante et cela est pédagogiquement logique.

- On a vu par ailleurs que cette structure en aluminium ‘cage d’oiseau’ aux nombreux avantages, présentait de graves lacunes en crash-test.

Il n’est pas certain que les renforts nécessaires pour pallier ces défauts n’oblitérent pas complètement les avantages escomptés.

-Un taxi électrique de ce gabarit (3 places- 1700Kg de PVOM – 200Km d’autonomie) ne peut exister en équipement batteries pur, qu’avec du Li Ion. Ce type de batteries dans les années 97/98 était le couple visé par l’industrie automobile dans ses projets. (voir les très bons résultats de VEDELIC) . Il était donc logique d’avoir fait ce choix. Cependant, les problèmes de sécurité, les difficultés de la SAFT, ont vu ce couple pour l’instant délaissé(toujours pas d’investissements industriels).A surveiller de près la montée en puissance du Li Polymère avec le groupe Bolloré/Hydro Q./EDF si les performances en puissance spécifique se confirmaient.

Les autres couples envisageables : NiMH, NiZn, NiCd (sous la menace très précise d’un bannissement européen – 2004/2005), ne pourront assurer qu’une autonomie <200Km et plutôt de l’ordre de 100 à 120 Km journaliers . Pour ces raisons, le taxi « pur batteries »ne peut satisfaire a fortiori les besoins énergétiques nécessités par les équipements de confort envisagés au Ch III-5 et notamment la climatisation très consommatrice en énergie et de plus en plus demandée.

On en vient tout naturellement à l’implantation d’une « centrale énergétique d’appoint ».

IV. 5. La solution Hybride

Elle apporte cette énergie complémentaire nécessaire pour un supplément d’autonomie et des équipements de confort. Les constructeurs l’ont étudiée depuis plusieurs années, convaincus que le véhicule « pur batteries »n’aurait pas d’autres développements que des véhicules de niches.

Deux applications :

- le véhicule électrique avec « prolongateur d’autonomie ».

Un petit moteur thermique de 6 à 8 Kw permet de recharger les batteries, avec un η assez faible, selon un logiciel de commande, automatique. Cette solution existe maintenant avec le *Kangoo* de Renault (sortie 9/2002) et peut atteindre, d'après le constructeur, une autonomie de l'ordre de 200Km.

- le véhicule électrique à pile à combustible

Suit le même principe que le véhicule précédent, c.a.d. que la PAC remplace le moteur thermique ($P \cong 6Kw$) pour recharger les batteries de puissance avec un η bien meilleur, l'autonomie se situerait entre 200 et 300Km.

Cette solution n'existe actuellement qu' à l'état de prototype présenté par PSA sur son « TaxiPAC ». C'est ce véhicule qui, entre autres, met en application les principes d'aménagements intérieurs que nous avons étudiés à Strate en 1999 (coïncidence ?)

Malheureusement ce véhicule très attractif reste à PSA un outil de travail « recherches » et un support d'*image* et la PAC ne semble pas pouvoir déboucher industriellement pour des puissances supérieures, avant 2010.

Il pourrait être judicieux d'inciter PSA à tester son 'Taxi Pac' sur une ligne de taxi expérimentale d'ici 2005 comme il avait engagé l'opération « 50 VE à La Rochelle » en 1993, 2 ans avant le lancement commercial de ses VE.

IV. 6. Autres possibilités

Mais il y a d'autres solutions pour assurer une fonction taxi avec des véhicules existants en « pur batteries » (80 à 100 Km d'autonomie).

1 – Utilisation de bornes de recharge rapide en tête de station.

A préciser selon l'organisation de la compagnie ou des artisans-taxi dans la ville. La collaboration de l'EDF devrait être obtenue sans trop de problèmes.

2 – La réorganisation de missions des taxis selon la nature des courses demandées et grâce à l'interposition d'une ' centrale gestion'.

Nous avons vu que des équipements électroniques particuliers pouvaient être implantés dans cet objectif. Les courses « intra muros » ou notoirement à faible kilométrage, pourraient être dispatchées sur des taxis électriques et l'on trouverait là l'adéquation parfaite du véhicule « zéro émission » (non bruyant et ne consommant qu'en mouvement) à la circulation urbaine. Mais une action volontariste des municipalités et des artisans taxis, qui travaillent sous leur

juridiction, est absolument nécessaire. La simple loi du marché ne peut provoquer cette mutation, car les voitures thermiques polyvalentes peuvent parfaitement remplir les missions de taxi n'importe où, n'importe quand, (et surtout en Diesel ce qui est l'antithèse d'un véhicule urbain) et en même temps satisfaire son conducteur pour ses besoins personnels.

Il est sans doute plus facile d'inciter des professionnels à faire évoluer leurs conditions de travail, que d'obliger des industriels à fabriquer un produit qu'ils estiment non rentable. Il est maintenant techniquement possible de proposer à des municipalités et des artisans taxis des véhicules électriques de série en tant que véhicules taxis comme précisé précédemment.

Des expérimentations ponctuelles pourraient être envisagées pour confirmer l'acceptation(voire un réel agrément) de ce type de véhicules aussi bien par les clients que par les artisans eux-mêmes.

Ces véhicules sont aujourd'hui :

- Renault Kangoo Expression – NiCd - 80 Km d'autonomie
- Renault Kangoo Elect' road Expression - 150-200Km d'autonomie

D'ici 2005 on devrait pouvoir disposer des véhicules :

- PSA Partner/Berlingo à Extension d'énergie ou autres formes d'hybridation.

Et peut-être le Taxi PAC de PSA ponctuellement.

On devrait pouvoir compter sur l'appui de l'EDF aux Municipalités, comme incitateur à l'utilisation des bornes de recharge publiques et plus généralement au développement des systèmes de transport électriques.

Notre présente recherche aura peut-être contribué à assurer une transition entre un taxi idéal et un taxi évolutif respectueux de la ville et de son environnement, et bien accepté par les citoyens.

Noël BUREAU et Driss SAKAMI

Annexes

Table des matières

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE.....	1
I. 1. Introduction.....	2
I. 2. Le projet TAXEL : Généralités.....	3
I. 3. Rappel du cahier des charges.....	3
I. 4. Documents de bases pour la synthèse.....	4
CHAPITRE II : PRESENTATION DES TRAVAUX DES CINQ ECOLES	7
Tâches et objectifs de chaque école	8
CHAPITRE III : Les principaux résultats	11
III .1 Conception de la structure de TAXEL	12
Simulation statique et dynamique	12
Description des tests statiques.....	12
Implantation des batteries.....	13
Essais en statique.....	15
Essais en dynamique	19
Essais aérodynamiques.....	19
III. 2. Liaison au sol pour TAXEL	21
Comportement du véhicule au freinage	21
Forces appliquées	21
Caractéristiques du système de freinage	22
Freins Avant (Disques ventilés) :	23
Freins Arrière (Tambours Ø 9’’) :	23
Tenue des freins à l’échauffement	23
Choix des pneumatiques.....	25
Choix des essieux et de la colonne de direction.....	25

III. 3. Etude Ergonomique.....	26
III. 4. Propulsion pour TAXEL	29
Batteries.....	29
Le moteur électrique.....	30
Simulation	31
III. 5. Electronique du véhicule.....	32
Connexion - Réseau CAN	32
Climatisation du véhicule.....	34
Electronique de confort du véhicule.....	34
Communications : la localisation, transmission de données avec le centre (GPS).....	35
Le système actuel	35
Le nouveau système	37
Compatibilité électromagnétique C.E.M.....	41
III. 6. Le design de TAXEL	42
Chapitre IV : Bilan et Perspectives	42
IV. 1. TAXIA	42
IV. 2. TAXEL.....	42
IV. 3. Ce qui est valable et peut être retenu	42
IV. 4. Ce qui ne peut déboucher.....	42
IV. 5. La solution Hybride	42
IV. 6. Autres possibilités.....	42
Annexes.....	42

Projet TAXEL

Recherche sur un taxi électrique

Présenté par Driss SAKAMI

Docteur es sciences

Laboratoire de Thermocinétique

UMR CNRS 6607

44306 Nantes

Dirigé par Noël BUREAU

Ingénieur Conseil

Ex. directeur de recherches chez PSA

92400 Courbevoie