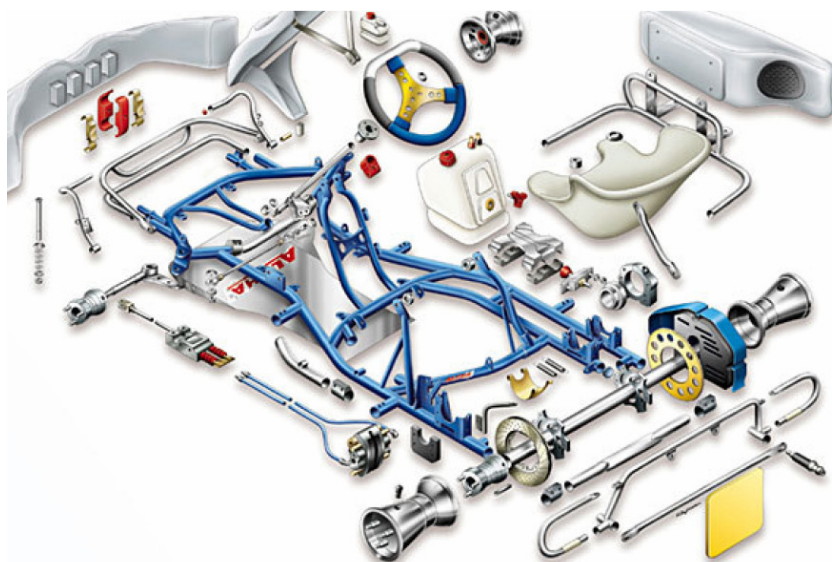


Sébastien FERMANEL

DU 1/02/06 AU 31/07/06

# Rapport de stage



Étude de faisabilité  
d'un châssis de karting en composite

  
**COGIT** *Composites*

34, avenue Marx Dormoy  
18 000 BOURGES

[www.cogit-composites.com](http://www.cogit-composites.com)

Tel : 06 14 15 95 08

---

Tuteur : Mr Christophe ROUA, directeur

---

## Remerciement

Je tiens à remercier Mr Christophe ROUA, directeur de COGIT Composites pour m'avoir intégré dans l'activité de sa société et pour l'aide qu'il m'a apportée.

Je le remercie pour le temps qu'il m'a accordé pour le bon déroulement du projet et du stage dans sa globalité.

J'ai apprécié l'autonomie qu'il m'a laissé et la confiance qu'il m'a accordée durant ces six mois.

Je tiens également à remercier la société la STRAUS 7 pour le prêt d'une licence du code de calcul par éléments finis (linéaire et non linéaires avec module composite) afin de

## Résumé/Summary

Dans le cadre de ma formation d'ingénieur, à l'université de La Rochelle, j'ai effectué mon stage de fin d'études au sein de COGIT Composites à Bourges de février à juillet 2006.

Cette société est un organisme de service d'ingénierie spécialisée dans les matériaux composites dont l'activité s'oriente vers le service aux entreprises.

Dans le but d'avoir un produit qui servira de vitrine technologique pour l'entreprise, il m'a été proposé de réaliser, durant ces six mois, une étude de faisabilité sur le transfert technologique d'un véhicule de loisir en structure tubulaire vers une solution composite.

## Sommaire

REMERCIEMENT .....	- 2 -
RESUME/SUMMARY.....	- 3 -
SOMMAIRE .....	- 4 -
INTRODUCTION .....	- 5 -
I. PRESENTATION DE COGIT COMPOSITES.....	- 6 -
DEROULEMENT DU PROJET .....	- 8 -
II. ETUDE PRELIMINAIRE .....	- 10 -
III. REDACTION DU CAHIER DES CHARGES .....	- 14 -
IV. ETUDE DE SOLUTIONS COMPOSITES.....	- 19 -
1) FORME SMC.....	- 20 -
2) FORME RTM .....	- 23 -
3) FORME AVEC MATERIAUX THERMOPLASTIQUES .....	- 27 -
V. CONCLUSION .....	- 30 -
VI. ANNEXES.....	- 31 -

## Introduction

COGIT composites est organisme de services d'ingénierie spécialisés dans les matériaux composites.

COGIT composites aborde la conception de pièces en matériaux composites depuis leurs calculs par éléments finis, leurs définitions CAO, jusqu'aux choix technique et économique du procédé de fabrication.

C'est donc pour cette raison qu'il m'a été proposé pour mon stage d'ingénieur de six mois de réaliser une étude de faisabilité d'un transfert technologique d'un châssis de karting tubulaire en acier vers une solution composite. Ce produit ayant pour but de servir de vitrine technologique pour l'entreprise et de montrer son savoir faire.

L'objectif étant de proposer une solution qui :

- Intègre des fonctions par rapport aux fabrications traditionnelles,
- Permette une forte productivité à bas coût
- Possède un comportement mécanique similaire aux fabrications traditionnelles.

Le travail qui m'a été demandé a été de rédiger un cahier des charges à partir de l'étude de la version tubulaire et d'une étude fonctionnelle. A partir de ces données de référence, il m'a été proposé de faire un balayage des différentes techniques de fabrication et de matériaux afin de proposer une solution finale le plus en accord avec le cahier des charges.

## I. Présentation de COGIT Composites

COGIT composites est un bureau d'études indépendant qui accompagne les projets intégrant des matériaux composites. La société a été créée en Mars 2005 par Christophe ROUA

Il est un partenaire privilégié qui agit en symbiose avec les équipes d'études et de développement des clients.

COGIT composites assure un service complet depuis l'étude de faisabilité, jusqu'à l'industrialisation.

Pendant la société ne met pas en oeuvre de composites directement, alors il est proposé des sous-traitants compétents qui sont encadrés par COGIT Composites. Ainsi, une totale maîtrise est conservée depuis la phase prototype jusqu'à la délocalisation éventuelle.

La société aborde la conception de pièces en matériaux composites depuis leurs calculs par éléments finis, leurs définitions CAO, jusqu'aux choix technique et économique du procédé de fabrication.

COGIT composites oeuvre dans les secteurs exigeants de l'aéronautique et du sport automobile ce qui permet de conserver à un niveau de compétence élevée.

COGIT composites est en perpétuelle recherche de nouveaux produits et procédés afin de proposer des solutions pertinentes. Pour cela, l'entreprise possède des relations privilégiées avec des fabricants de composites, des sous-traitants, des organismes de recherche.

### La qualité

La société intègre dans sa stratégie globale une politique de management par la qualité afin de répondre aux exigences des parties intéressées que sont en particulier ses clients.

Le Système de Management de la Qualité (SMQ) est élaboré en fonction de la série de normes ISO 9000.

Pour ce faire la direction s'engage :

- à établir une politique qualité cohérente avec sa stratégie générale,
- à en définir les objectifs planifiés,
- à mettre en place une communication adaptée,
- à réaliser des revues de direction en adéquations avec les évolutions de la société,
- à déployer les outils de l'amélioration continu,

Afin :

- de pérenniser l'organisme,
- de fournir des produits et des prestations conformes aux exigences des parties intéressées,
- de déployer l'écoute clients pour anticiper les attentes de ses clients.

Les objectifs déterminés pour l'exercice 2006/2007 sont :

- Identifier les besoins technologiques des clients, afin d'orienter la veille technologique de l'entreprise,
- Mettre en place un sous processus de Démarche Commerciale performant pour gérer les contacts clients et augmenter le nombre d'appels d'offres,
- Préparer la mise en place du sous processus
- Recherche et Développement qui structure la mémoire d'entreprise.

Le Responsable Qualité doit s'assurer que cette politique est comprise, diffusée et entretenue à tous les niveaux de l'entreprise.

### Domaines d'activités

Chaque secteur d'activités a des exigences différentes en terme de composites. Ainsi, COGIT Composites se doit de rester informer des nouveaux matériaux, de nouveaux procédés et aussi d'élargir au plus ses champs d'investigation.

Le rapprochement avec les laboratoires de fournisseurs en matériaux et le partenariat avec des sous-traitants permettent des échanges constructifs dont chaque client bénéficie.

Le sport automobile de haut niveau réclame une attention particulière au poids des pièces. L'optimisation des plans de drapage par simulation est alors indispensable. La quantité fabriquée est faible (de l'ordre du prototype), ce qui nécessite des outillages à faible coût.

L'aéronautique remplace des structures aluminium par du composites dans le but d'alléger leurs produits, pour les mêmes coûts de fabrication. La simulation intervient pour certifier la capacité sous efforts (test statique et crash), et garantir le gain de masse. Par ailleurs, le respect de normes au feu et à la toxicité est une contrainte du cahier des charges (FAR 25, ABD0031). La production est de petites et moyennes séries.

Le secteur du ferroviaire a pour singularité de rechercher sur leurs pièces structurales, une tenue en fatigue. L'objectif est alors de tenir autant que possible les coûts des technologies usuelles et substantiellement d'alléger les pièces. Les outillages sont conçus pour durer dans le temps et assurer une qualité suivie.

## Déroulement du projet

L'organisation du stage autour du sujet principale s'est déroulée en différentes étapes afin d'effectuer au mieux le transfert technologique d'un châssis en acier tubulaire vers un châssis en composite.

Dans un premier temps il a fallu définir et simuler le comportement d'un châssis tubulaire d'un karting de type location.

Norme sur les kartings

Définition du cahier des charges

- Etude de faisabilité de fabrication d'un karting en matériaux composites dont le cahier des charges est dans les grandes lignes :
  - Intégration de fonction par rapport aux fabrications traditionnelles,
  - Forte productivité à bas coût
  - Comportement mécanique similaire aux fabrications traditionnelles.
  
- Etude fonctionnelle
- Définition des différentes orientations du projet
- Conception et modélisation de châssis en fonction de la méthode de mise en œuvre
- Etude du comportement mécanique

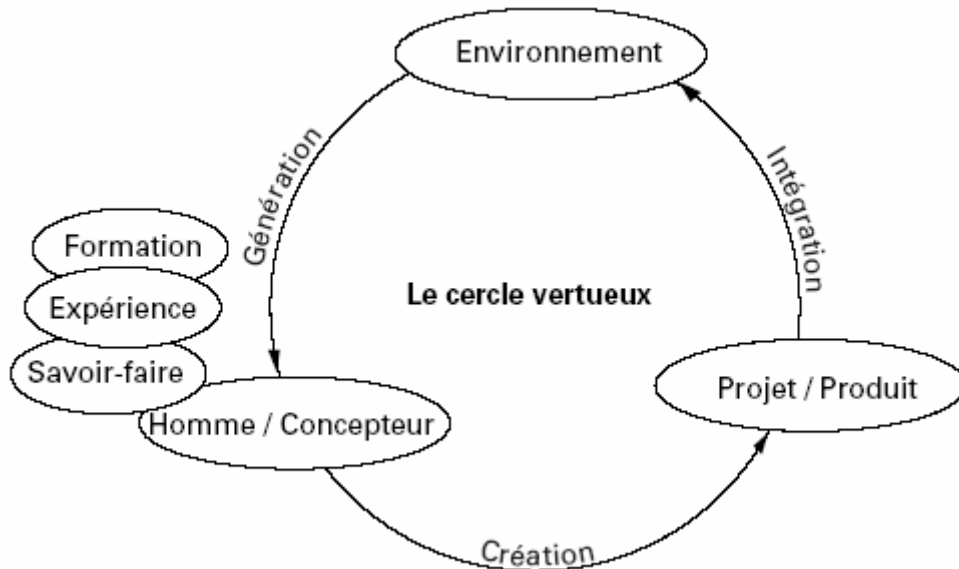


Analyse fonctionnelle

Une représentation graphique de la réussite d'un projet peut se faire par une **approche systémique** suivant la figure 1 dans laquelle :

- **l'environnement** représente le contexte du produit qu'il y a lieu d'appréhender pour analyser les besoins à satisfaire et pour réussir l'intégration du produit ;
- **l'homme/concepteur** est le créateur transformant les besoins générés ou latents en un produit ;
- **le projet/produit** est la concrétisation matérielle ou organisationnelle de la réflexion créatrice du concepteur.

Grâce à cette approche globale, on comprend que le concepteur doit « extraire » de l'environnement, dans lequel il situe son futur produit, les fonctions souhaitées par cet environnement, pour que son produit réussisse parfaitement son intégration, c'est-à-dire devienne un produit à succès.



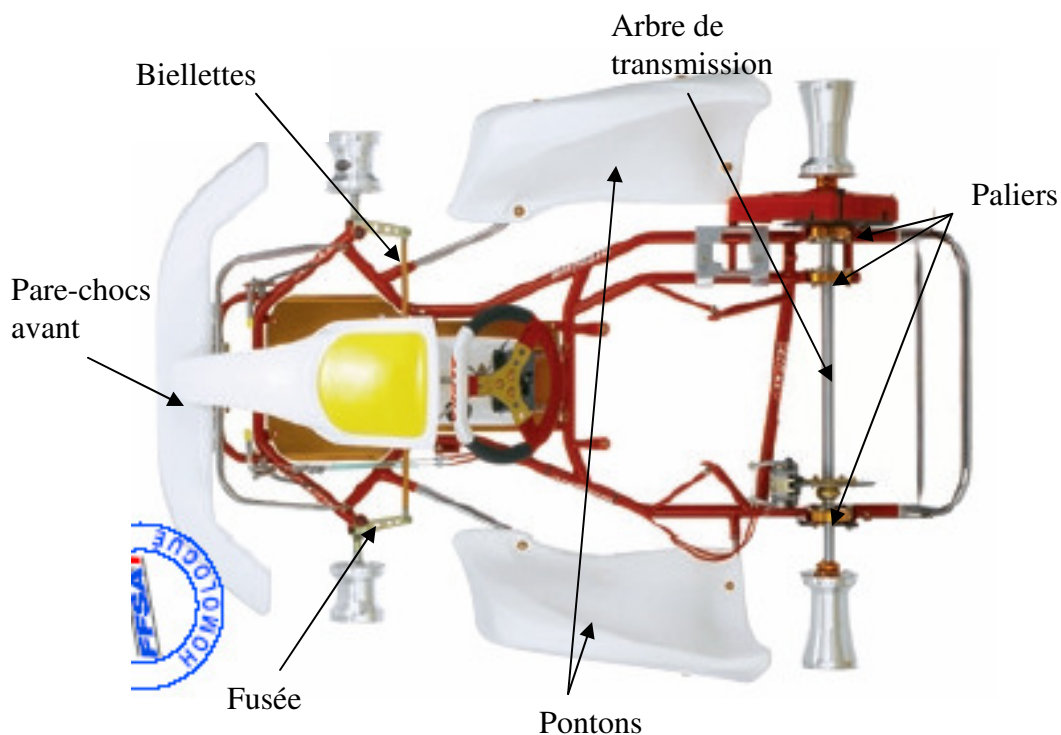
TI methode outils a dispo des études ref T70

Schéma de l'organisation du projet

## II. Etude préliminaire

Dans l'objectif d'obtenir un produit possédant un comportement routier équivalent au système existant, il est nécessaire de comprendre son fonctionnement et ses propriétés mécaniques.

### Description d'un kart



### Principe de fonctionnement

En l'absence de suspension, la souplesse d'un châssis de kart doit être soigneusement étudiée.

En effet, c'est la torsion du châssis qui permet de faire tourner le kart dans les courbes. Si le châssis est trop rigide, l'arbre de propulsion arrière oblige le kart à aller tout droit malgré les roues braquées. En réalité, avec la force centrifuge qui s'applique au centre de gravité du kart plus pilote, le kart a tendance à basculer vers l'extérieur du virage. Il s'appuie alors sur trois roues qui sont les deux roues avant et la roue arrière extérieure au virage. C'est ce

phénomène qui permet au kart de tourner facilement et au moteur de ne pas rencontrer une trop forte résistance à l'accélération.

La flexibilité du châssis peut être réglée par divers artifices comme la rigidité du siège, les fixations du siège plus ou moins souple, l'utilisation de raidisseurs ou les pièces secondaires participant à la rigidité (plancher, support de pontons, pare-chocs...).

Malgré tous ces artifices, la flexibilité de départ du cadre reste un élément très important.

On distingue deux types de déformation :

- la flexibilité transversale qui a peu d'influence sur le comportement routier car elle ne joue pas sur l'inclinaison du châssis.
- La flexibilité transversale qui se combine avec l'influence de l'épure de direction pour donner au châssis un comportement idéal en courbe.

#### Modélisation des forces de torsion :

Si le châssis était infiniment rigide, il ne reposerait que sur trois roues dans les virages. En réalité ce phénomène est atténué par une force verticale qui s'exerce sur une des fusées avant et qui tend à vriller le châssis. Que l'on prenne compte ou non de la force centrifuge, la masse du pilote s'applique à trois points et tend à redresser le châssis (sur deux des points d'appuis soient sur l'arbre arrière ou sur le train avant ne change rien aux forces qui s'exercent sur le cadre). Le schéma d'application des forces peut être ramené à un cas théorique relativement simple :

- Trois paliers bloqués en position longitudinale et transversale, et libre en rotation.
- Une des deux articulations de fusée bloquée en hauteur mais pas en inclinaison, ni en rotation, ce qui correspond à une articulation de type rotule.
- La deuxième articulation de fusée, entièrement libre, est le siège d'une force verticale qui entraîne la torsion du cadre.

#### Méthode de calcul par éléments finis

Comme le calcul des forces qui agissent dans une pièce complexe est extrêmement difficile, la méthode de calcul par éléments finis consiste à diviser cette forme complexe en

une multitude de formes simples, quadrilatères, sur lesquelles on sait facilement calculer les effets de l'action d'une force, et de lier entre eux ces différents éléments pour obtenir le résultat des forces sur l'ensemble de la structure.

On arrive ainsi à déterminer la matrice de rigidité globale de structures très complexes.

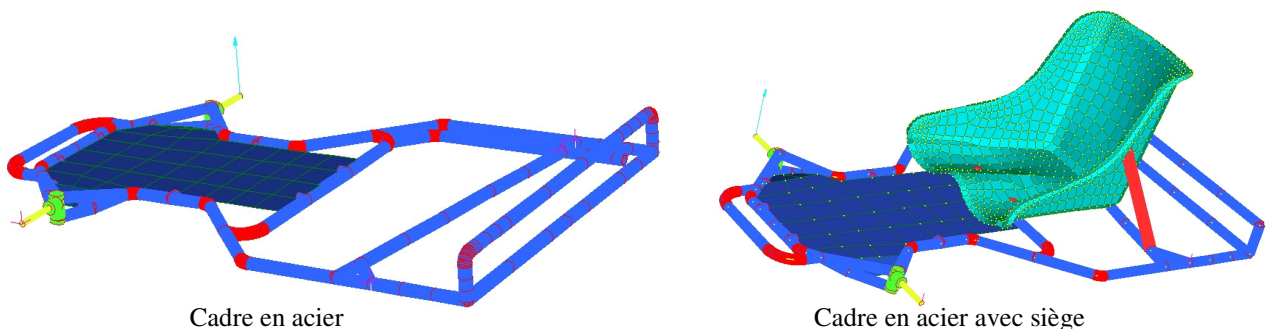
Cette méthode de calcul permet :

- D'étudier la déformation de chaque élément sous l'effet d'une force appliquée en un point précis de la structure, et bien sûr obtenir aussi la déformation de l'ensemble de la structure.
- De connaître le déplacement de n'importe quel point particulier
- De déterminer les contraintes qui sont appliquées à chaque élément fini.

L'intérêt de cette méthode pour l'étude du châssis de kart est de connaître les zones de concentration de contraintes, de mouvement des différents éléments notamment dans le cas de l'axe de fusée.

## Dessin du cadre tubulaire

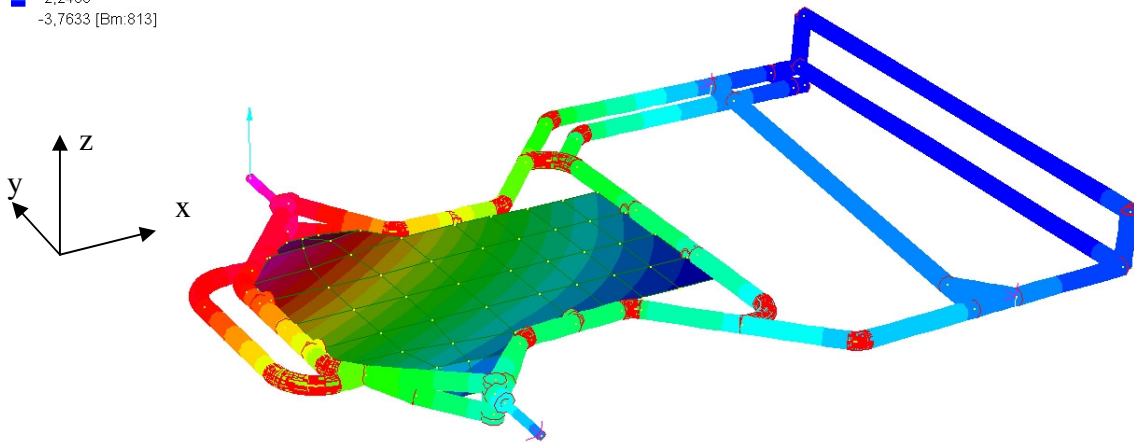
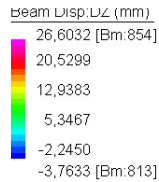
Pour dimensionner correctement le cadre, je me suis basé sur des documents techniques de quelques fabricants (AlphaKart, SodiKart...) et également sur des mesures directement prises sur des karts de location (circuit de Nevers).



Après avoir mesuré les tubes constitutifs d'un cadre de kart de type location, et dessiné celui-ci dans un logiciel de dessin industriel, une première simulation du comportement mécanique a permis d'obtenir les données qui vont servir de référence par la suite pour les études sur les châssis en matériaux composites.

La masse d'un châssis tubulaire comme celui-ci est d'environ **25Kg**.

Le déplacement en z maximum est de **27mm**



Résultat de la simulation de l'essai de torsion

Un autre élément nécessaire à la conception d'un produit est de vérifier si une norme existe pour sa validation. Après consultation auprès de l'organisme AFNOR (Association Française de Normalisation), la norme NF S52-002 a été répertoriée (**annexe X**). Elle rapporte des différentes exigences de sécurité applicable aux karts destinés à la location.

Elle renseigne sur les risques :

- d'entraînement de partie du corps humain ou vêtements par les pièces en rotation
- de retournement du kart
- de coupure et de fracture
- de brûlure et d'incendie
- de bruit...

En fin de compte, la norme n'agit pas directement sur la conception du châssis de kart mais plus sur les pièces de sécurité qui viennent s'ajouter par la suite sur la structure.

Il faut juste que l'ensemble puisse passer avec succès des tests de crash afin d'obtenir l'homologation du châssis.

Maintenant que les données de référence sont connues, il est alors possible de commencer à réfléchir sur le transfert technologique de la structure acier vers une solution composite et de concevoir le cahier des charges.

### III. Rédaction du cahier des charges

Le processus de conception est décomposé en trois phases :

- **l'avant projet : recherche de solutions**

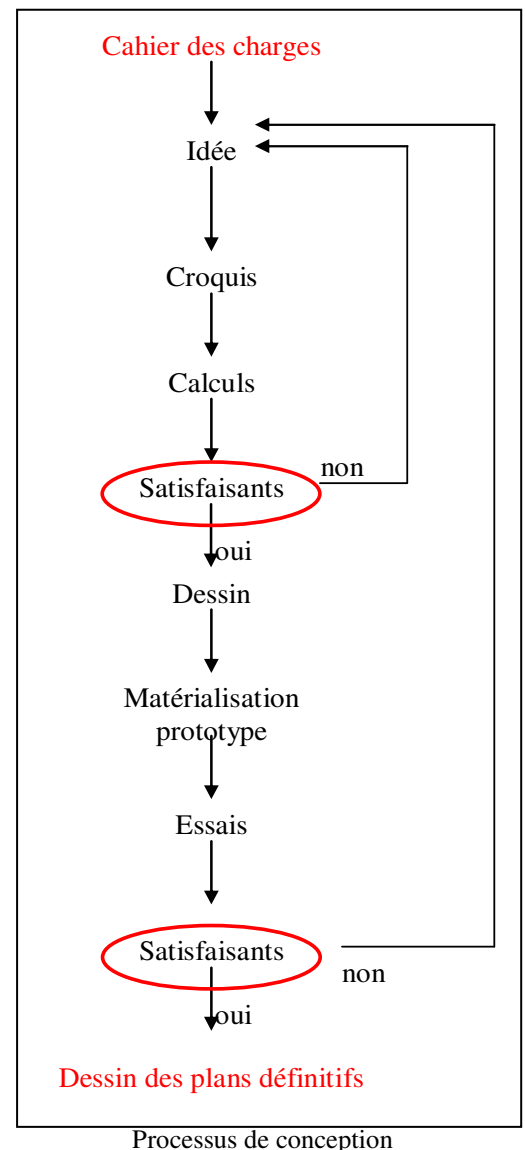
- réception du cahier des charges
- analyse de la problématique
- étude de pré dimensionnement
- recherche matériaux

- **le projet : choix et développement d'une solution**

- étude fine
- calculs affinés
- simulation du procédé de fabrication
- validation matériaux
- réalisation prototype ou maquette

- **l'étude définitive : industrialisation du projet**

- plan de développement
- dossier technique outillage
- le croquis et le calcul
- le dessin des plans définitifs et la validation.
- Fiches d'instruction (procédure de fabrication, contrôle)



Le schéma ci-contre montre le déroulement de ces travaux. Dans l'étude de faisabilité du châssis, c'est la phase d'avant projet qui est prédominante et qui a occupé la majorité de mon temps.

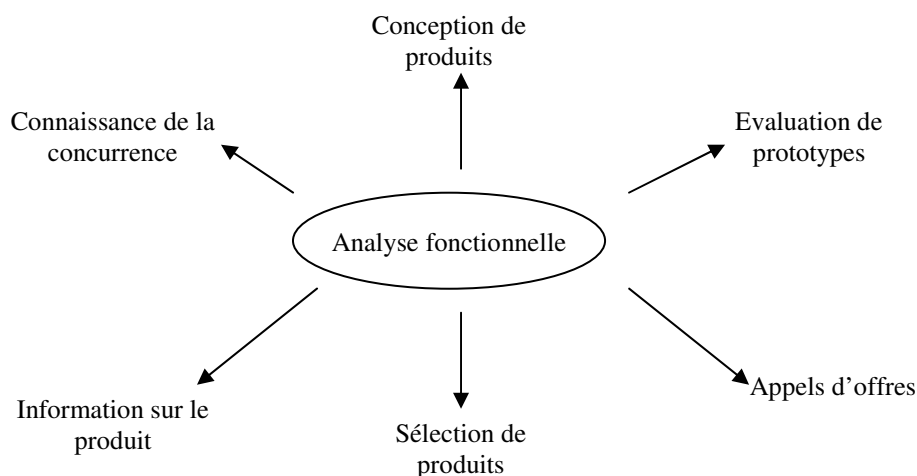
Le cahier des charges :

Le concept de karting en matériaux composites doit répondre aux conditions suivantes :

- Remplir les fonctions d'un karting traditionnel (analyse fonctionnelle),
- Etre plus léger que la version tubulaire
- Intégrer le plus de fonctions possibles (analyse des avantages et inconvénients de différentes versions),
- Avoir un comportement routier similaire au karting traditionnel (comportement sous charges, répartition des masses),
- Etre évalué en terme de :
  - Durée de vie (corrosion, accidents/chocs)
  - Réparabilité
  - Recyclage
  - Développement durable
- Disposer d'une bonne productivité (500 à 5000 exemplaires)
- Viser un objectif coût unitaire de 500-600 euros
- Avoir un esthétique agréable

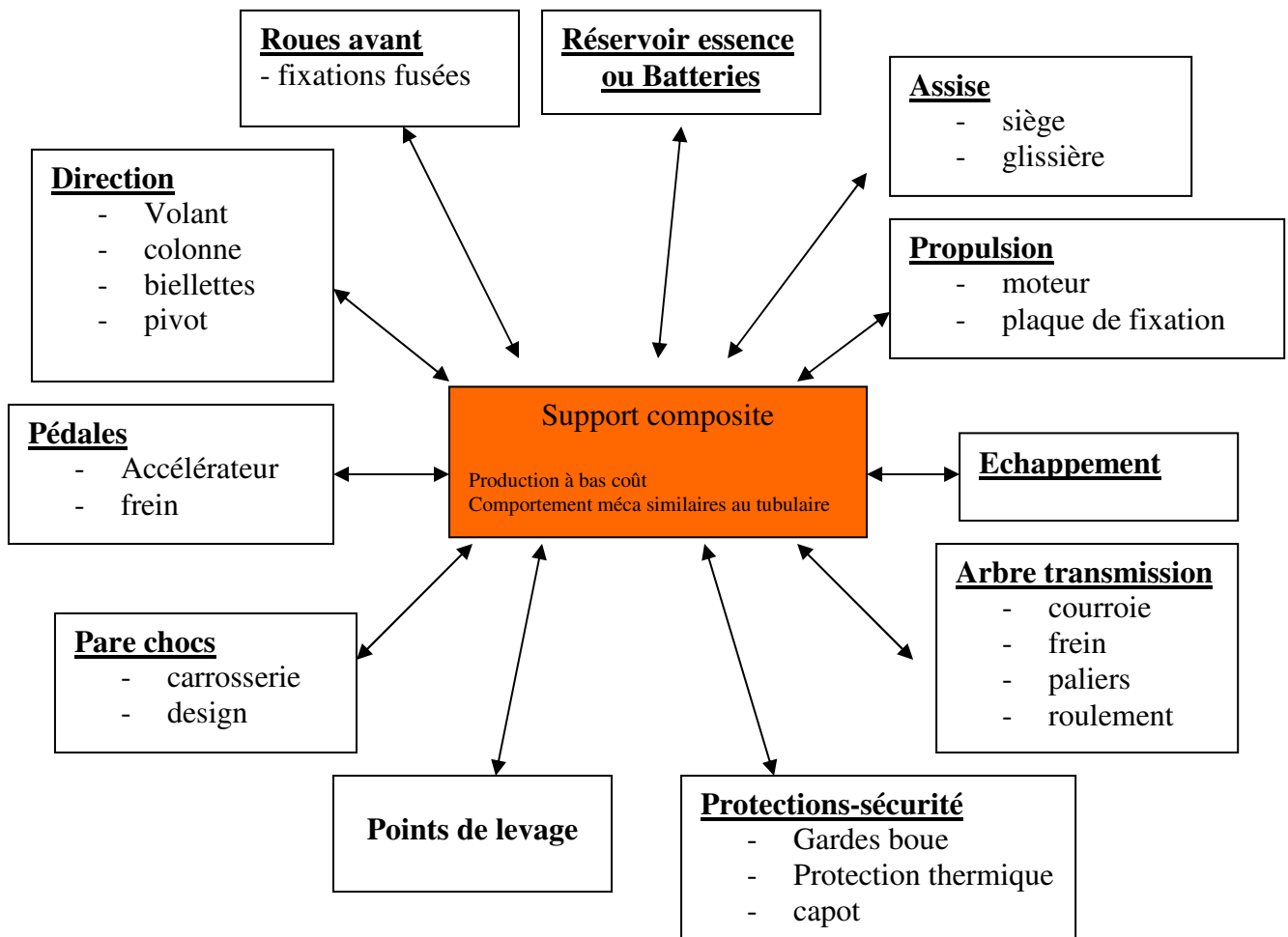
Etude fonctionnelle

L'étude fonctionnelle est une étape très importante lors de la conception d'un nouveau produit car elle permet d'intégrer au maximum celui-ci dans son milieu et de le faire correspondre au mieux au cahier des charges.



Champs d'application de l'analyse fonctionnelle

Dans le cas du châssis de kart appelé ici support composite, elle permet de répertorier les différents organes mécaniques ou de protections qui seront fixés dessus.



Une fois ce schéma réaliser on peut alors se poser des question du type :

- Quel matériau va-t-on utiliser ?
- Quel procédé de mise en forme ?
- Peut on simplifier la forme ?
- Peut on réparer facilement ?
- Peut on réduire le poids ?
- Peut on simplifier le mode fabrication ?
- Quelle est la durée de vie du produit ?...

Ces interrogations ont pour but durant le conception du produit de proposer au final une solution le plus en accord avec le besoin et le cahier des charges quelques soit la technique de mise en œuvre choisie et surtout de ne pas se limiter dans nos choix.



## Méthode

Afin d'avoir un suivi clair du projet une méthode de travail est nécessaire à mettre en place. Il faut qu'elle satisfasse la politique qualité de l'entreprise.

Pour cela tout au long du projet, les différentes versions seront :

- nommées comme suit :

COGITKart	-	V01	-	A
Dénomination standard		Incrémentation des versions		Sous évolution d'une même version

En effet, un nombre assez important de versions vont être testées et il est alors important de pouvoir s'y retrouver facilement. Un fichier de suivi permettra de commenter les différentes versions et d'avoir un suivi tout au long de l'avancement du projet.

- évaluées analytiquement selon des critères :
  - o de masse
  - o mécaniques (plusieurs cas de charges tels que torsion de la structure, appuis d'une personne dans le baquet...)
  - o économique (nombre de pièces, nombre de phases de la gamme de fabrication),
- répertoriées de manière synthétique avec un commentaire caractérisant la version, avec une photographie de la version.

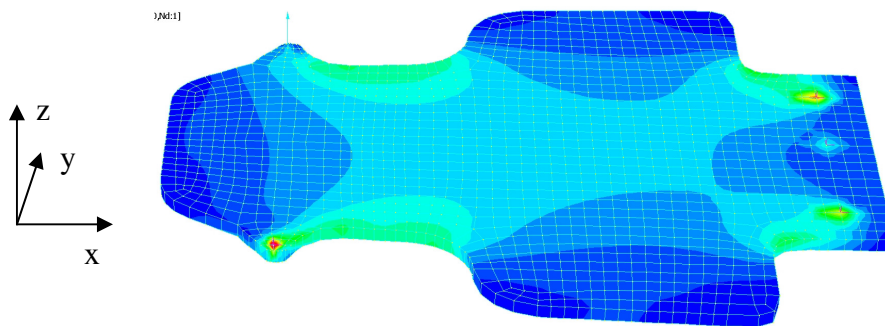
Toutes les études de simulations se feront de la même manière. C'est-à-dire que les points de bocages seront aux mêmes endroits sur le plancher et les forces ou pressions seront également aux mêmes positions.

Il y aura donc pour l'essai de torsion trois points de blocage en x, y et z à l'arrière sur la position des trois paliers et un autre point de blocage à l'avant au milieu de l'axe de la fusée gauche. La force verticale et vers le haut sera appliquée sur l'autre fusée, également au milieu de l'axe.

Pour le cas de charge « pilote » le blocage est le même à l'arrière mais sur les deux fusées avant il se fait uniquement dans la direction z et on applique une pression verticale vers le bas sur une surface équivalente à celle du siège.

Etude d'une plaque

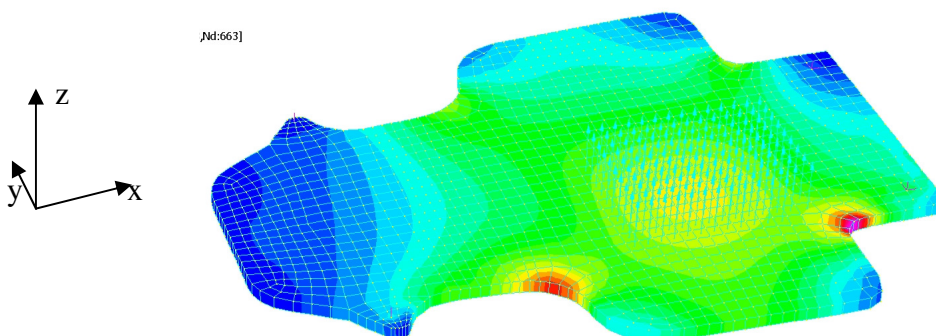
L'étude d'une plaque plane va permettre de pouvoir localiser la répartition des efforts lors des essais mécaniques. Pour cela il a été réalisé un plancher avec matériau homogène et isotrope. Il a été choisi de prendre une plaque en aluminium.



**Figure 1 simulation torsion sur plaque**

La figure ci-dessus montre la localisation des contraintes (max en rouge et min en bleu foncé). On remarque bien que les variations de section entraîne une concentration de contrainte lors de l'essai de torsion. Ce sont donc ces zones qui seront les plus critiques et qui porteront notre attention lors de chaque simulation. Les zones locales en jaune et rouge sont les ponts de blocage, il est donc normal d'y retrouver des contraintes élevées.

Le second cas de charge à considérer est la situation où le pilote est assis dans le baquet.

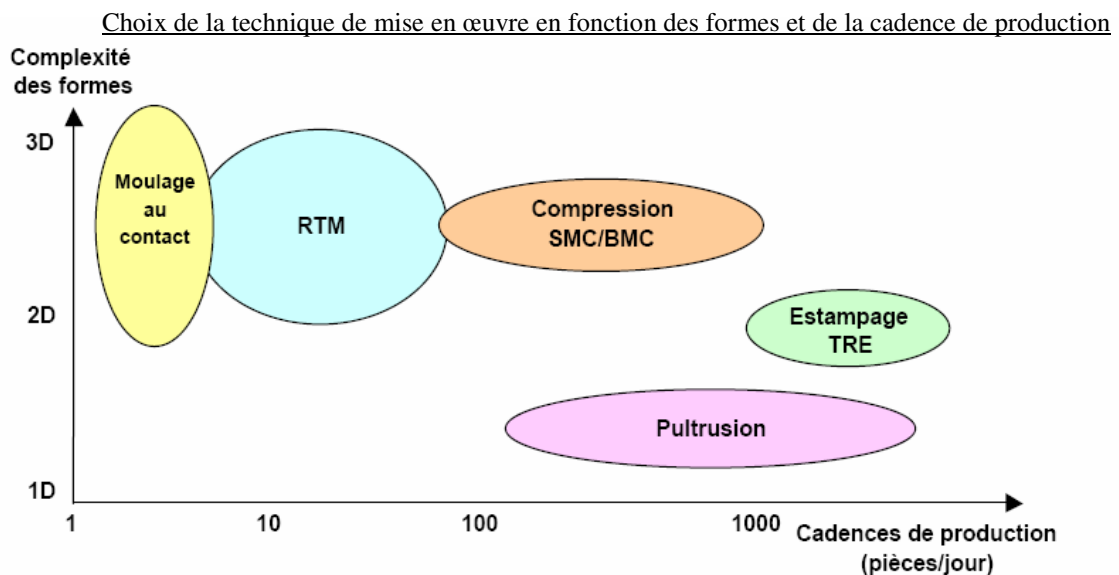


**Figure 2 simulation cas de charge pilote**

Il ne faut pas avoir un affaissement du plancher. La figure ci-dessus montre la localisation des contraintes dans la plaque.

## IV. Etude de solutions composites

D'après les spécifications du cahier des charges et la figure ci-dessous la première technique de mise en œuvre qui semble le mieux adapté est le SMC (Sheet Molding Compound). En effet cette méthode de compression permet d'obtenir un produit relativement rapidement (cycle de fabrication court) et avec un coût de main d'œuvre réduit. La seule contrainte sur ce process est qu'il nécessite une production relativement élevée pour pouvoir amortir de prix de l'outillage.



Cependant d'autres techniques de mise en œuvre et d'autres matériaux seront étudiées afin de réaliser une étude la plus complète possible.

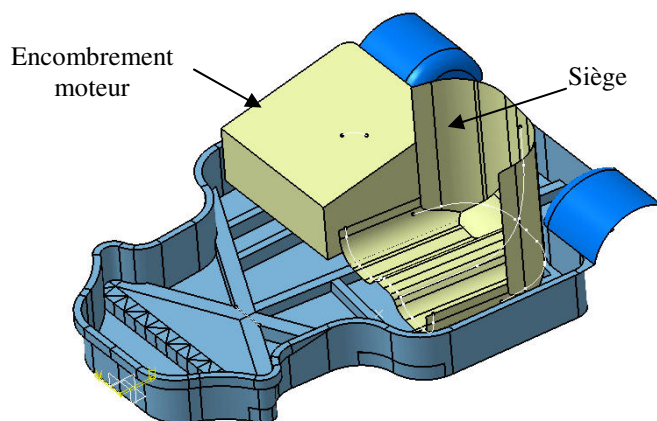
A chaque technique de mise en œuvre correspondent des contraintes de formes et de matériaux, c'est donc pour cette raison qu'il est nécessaire de connaître parfaitement le process de transformation.

Les schémas représentés sont pour la plupart des pré-études. Ce sont des formes relativement simples qui permettent d'avoir une idée rapide du comportement mécanique. La forme est affinée par la suite si les premiers résultats de calculs sont concluants.

## 1) Forme SMC

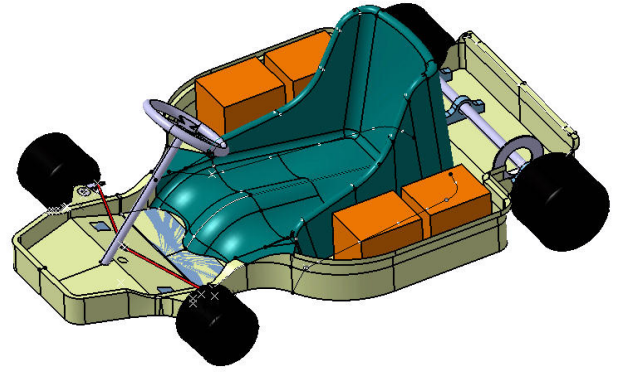
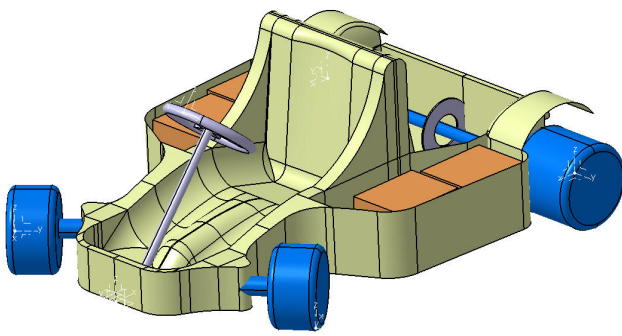
En partant du profil du plancher j'ai cherché dans un premier temps à ajouter un système de raidisseur dans plusieurs direction pour obtenir une structure rigide.

Plusieurs choix de matériaux ont été évalués. J'ai contacté le principal fabricant français de produit SMC, Menzolit, afin de connaître leur gamme de fabrication. Il a été étudié des SMC à base de fibre de verre et aussi de carbone. Etant donné le prix du carbone (50€/Kg) cette solution a été abandonnée rapidement. Cependant, le fabricant a proposé un produit à base de fibre de verre mais avec une résine hybride qui permet d'obtenir au final un matériaux aux propriétés mécaniques proche de celles du carbone au prix de verre (3€/Kg). Malheureusement ce produit est encore en phase d'étude et les propriétés seront disponibles à partir de septembre. La seule solution pour l'étude a donc été du SMC avec comme renfort de la fibre de verre.



En dessinant le châssis je me suis rapidement rendu compte que la taille d'un moteur thermique 4 temps (modèle utilisé en location) est relativement importante et qu'il était une contrainte sur les formes du kart. De plus la taille du moteur nécessite que le siège soit désaxé par rapport

au volant. Il a donc été convenu suite à une réunion d'évaluer la possibilité d'une propulsion électrique (exposé plus tard). Ce dispositif permet également d'avoir un plancher parfaitement symétrique.



### Formes SMC électrique

L'avantage du SMC est qu'il permet d'obtenir des formes relativement complexe du fait que les fibres soient courtes. Cette technique permet notamment d'insérer le siège dans le plancher et donc de limiter le nombre de pièces. On peut également avoir des pré-formes avec des renforts de fixation pour le positionnement des batteries, paliers, volant, fusée, pédales...

L'inconvénient avec ce type de matériau est que pour obtenir de bonnes propriétés mécaniques, donc une rigidité en torsion, il est nécessaire d'avoir des épaisseurs de l'ordre de 6 mm, ce qui conduit à une masse finale assez conséquente voisine des 30Kg. Ce résultat n'est pas acceptable compte tenu du fait qu'un châssis tubulaire pèse environ 23Kg. Dans ce type de conception (structure creuse), il est également nécessaire de venir rapporter une pièce sur le dessous pour pouvoir venir fixer les fusées.

#### a) Calcul :

##### Fonctions intégrées :

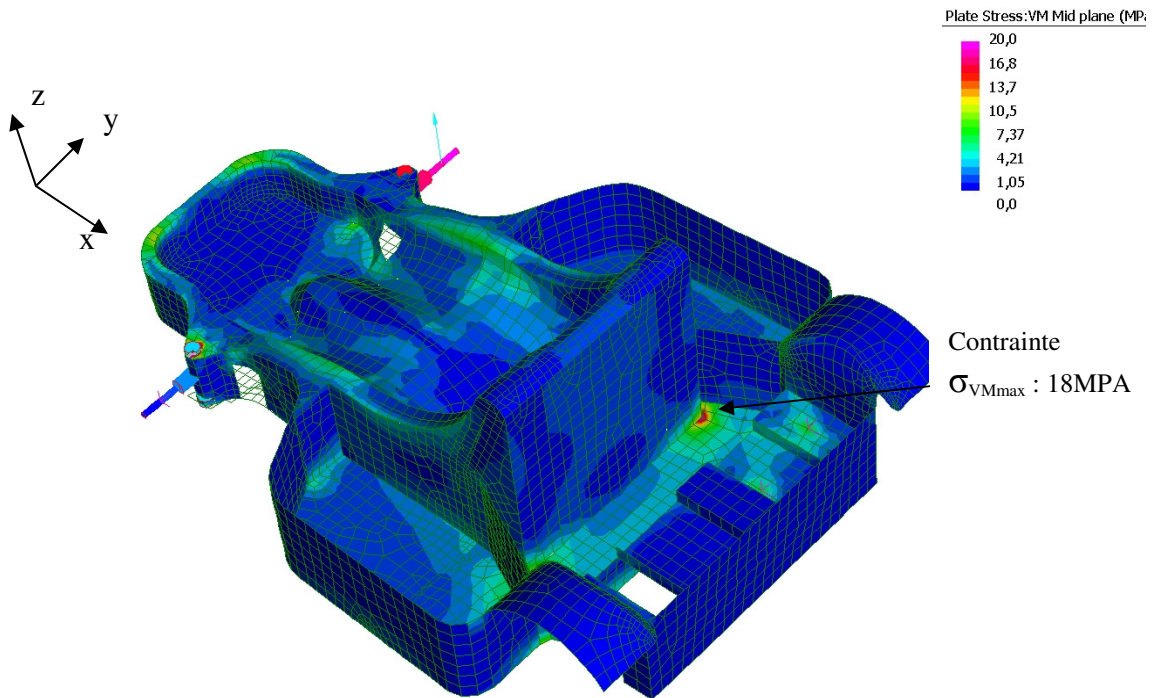
- châssis
- siège
- garde-boue
- fixations (moteur, palier, pédales, volant, logement batteries)

##### Propriétés matière :

- SMC verre épaisseur 5mm ( $E= 10,5 \text{ GPa}$ ,  $\rho=1,9\text{g/cm}^3$ )
- Masse totale 32Kg

Un matériau de type SMC est considéré comme isotrope et c'est donc pour cette raison que l'on peut utiliser le critère à la rupture de Von Mises. La contrainte obtenue permet alors de calculer le coefficient de sécurité par rapport à la contrainte maximal admissible.

Formule générale :  $\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\sigma_{xy}^2}$  et on relève la valeur maximal qui correspond au cas le plus critique.



b) Résultats :

- Déplacement Dz. max : 27mm
- $\sigma_{VM}$  max 18MPa avec  $\sigma_{max}$  du matériau : 150MPa  
→ D'où un coefficient de sécurité de 8

c) Bilan

Le fait d'avoir le siège solidaire du châssis empêche d'avoir la fonction glissière permettant le réglage du siège. De plus le siège ne joue pas vraiment un rôle de raidisseur contrairement à ce que l'on pouvait penser et génère des concentrations de contraintes en des points critiques.

Le montant tout autour du plancher oblige d'avoir un perçage pour permettre le passage des biellettes. Cette solution entraîne donc une retouche de la coque donc de la main d'œuvre et au final augmente le prix.

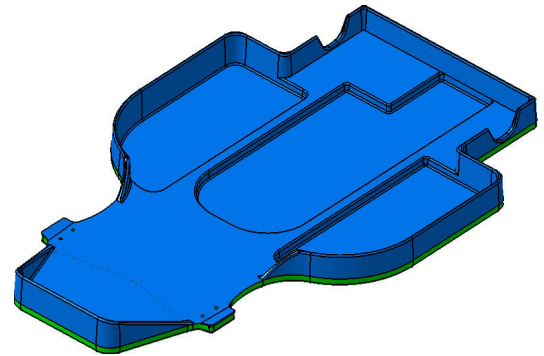
L'ajout des garde-boue oblige à venir fixer les paliers par le dessous afin de pouvoir assurer le démontage de l'axe de propulsion ce qui complique considérablement les formes. Il est donc convenu que la fonction garde-boue soit assurée par le capotage.

En conclusion, pour avoir un comportement mécanique identique au châssis tubulaire, il est nécessaire d'avoir de fortes épaisseurs ce qui alourdi la structure.

## 2) Forme RTM

Le RTM (resin transfer molding) est une autre technique de fabrication qui permet d'obtenir des formes en 3D. Cependant les cycles de réalisation sont plus longs et il nécessite de la main d'œuvre pour appliquer les tissus dans le moule.

Cette méthode consiste à injecter de la résine dans un moule dans lequel les tissus ont été préalablement positionnés.

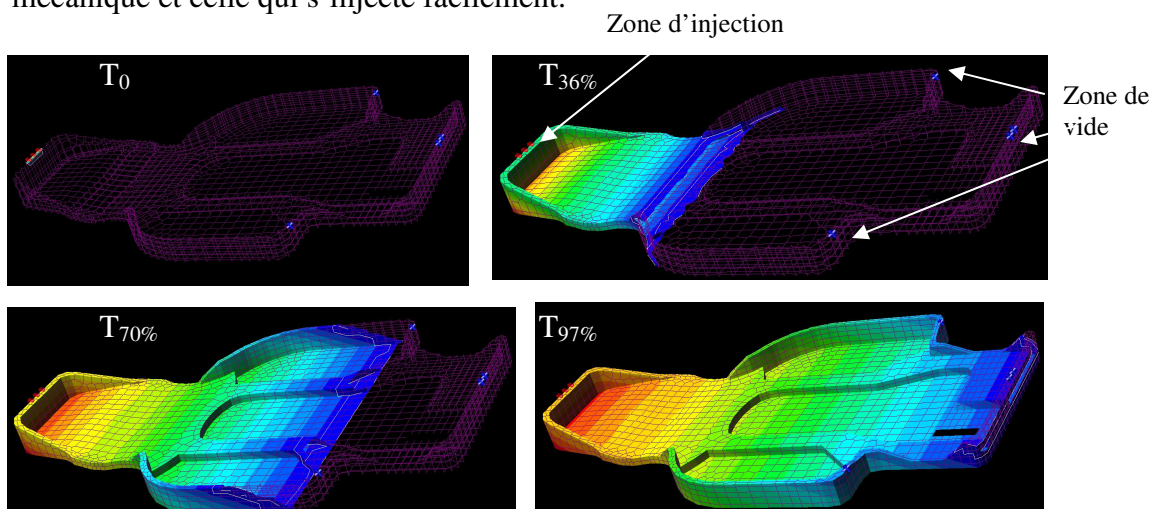


L'intérêt dans ce cas est que l'on peut avoir une structure avec une âme (mousse et inserts en aluminium localisés) et donc augmenter les propriétés mécaniques et diminuer le poids. Dans ce cas il a été étudié deux versions : un avec siège et une autre sans.

La forme est basée sur un squelette en mousse que sert de cadre et sur lequel on vient appliquer les tissus.

Afin d'avoir une bonne rigidité une traverse de renfort (en bleu sur le dessin) est positionnée sur le train avant. C'est un élément de mousse entouré de fibre qui permet d'obtenir localement un doublement de l'épaisseur et donc qui constitue un élément structurel.

Les formes présentées sont également le résultat d'une simulation d'injection. En effet pour avoir une injection régulière dans la pièce et surtout pour éviter les bulles d'air ainsi que des temps et pressions d'injection trop important, il faut adapter la forme. Il est nécessaire de trouver le bon compromis entre la forme qui possède de bonnes propriétés mécanique et celle qui s'injecte facilement.



Résultat de la simulation d'injection

La fabrication par la méthode RTM a également servi de support pour une recherche matériaux et mode de fabrication.

a. Matériaux étudiés :

- fibres naturelles :

Suite à la discussion sur l'emploi d'un moteur électrique, il est venu à l'idée de proposer une solution complètement écologique en utilisant des fibres naturelles organiques comme le chanvre ou le lin mais aussi des fibres minérales comme le basalt.

Le principal avantage du lin et du chanvre est leurs densités qui sont relativement faibles par rapport au verre. Malheureusement leurs modules sont très en deçà du verre ce qui ne permet pas d'obtenir une pièce structurale. Ceci est du à la longueur des fibres (environ 50cm) qui ne permettent pas d'avoir un tissu homogène. De plus comme se sont des fibres naturelles on ne contrôle pas la reproductibilité dans les propriétés mécaniques, c'est pour cette raison que les écarts dans les valeurs sont relativement importants. Le gain de masse engendré par leurs faibles densités est donc annulé par le nombre supplémentaire de plis à appliquer ce qui augmente le prix de production. Ces fibres ont également été étudié pour le cas du SMC mais les conclusions sont les mêmes, c'est-à-dire, un poids trop important pour obtenir de bonnes propriétés mécaniques.

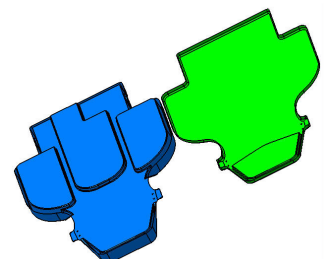
Compte tenu de ses propriétés mécanique, le basalt peut être une bonne alternative au verre car il permet de réduire le nombre de plis et donc le poids.

Tableau comparatif

	Unités	Verre E	Lin	Chanvre	Basalt
Densité	g/cm <sup>3</sup>	2,6	1,4 -1,54	1,07-1,48	2,66
Contrainte de traction	MPa	3200-3400	600-2000	390-900	4500
Module d'élasticité	GPa	72-74	12-80	35-70	85-91
Elongation à rupture	%	4,7	1-4	1-6	4

- tissus de préformage

Cette méthode consiste à utiliser un tissu de verre contenant de la poudre de résine et de le chauffer à basse température dans un moule pour qu'il prenne la forme des demi-coques. Après ça on a plus qu'à assembler les deux demi coques dans le moule et à injecter la résine. Cette technique permet une manipulation des tissus plus aisée et d'éviter le déplacement de fibres au court de l'injection. On obtient



Les deux demi coques



alors de meilleures propriétés.

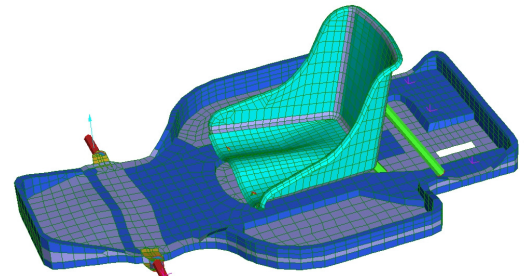
b. Calcul :

Fonctions intégrées :

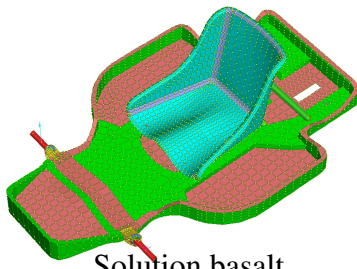
- châssis
- fixations (moteur, siège, palier, pédales, volant, logement batteries)

Propriétés matière :

- Tissu verre bidirectionnel (0/90°), épaisseur 0,235mm/pli et peaux de 2,35mm en bleu et de 4,7mm en gris sur le dessin.
  - E: 17400MPa,  $\sigma_{max}$ : 360MPa
  - Masse totale 19Kg
- Tissu basalt bidirectionnel (0/90°) épaisseur des peaux 1,88mm en vert et 3,76 en marron
  - E : 22 620MPa,  $\sigma_{max}$ : 450MPa



Solution verre



Solution basalt

Pour un stratifié, le critère de rupture à considérer est celui de TsaiWu. Ce critère permet d'avoir le coefficient de sécurité (>1) et de connaître le pli qui va rompre en premier (coefficient le plus faible). On a rupture lorsque l'égalité suivante est vérifiée :

$$F_1\sigma_{11} + F_2\sigma_{22} + F_6\tau_{12} + F_{11}\sigma_{11}^2 + F_{22}\sigma_{22}^2 + F_{66}\tau_{12}^2 + 2F_{12}\sigma_{11}\sigma_{22} = 1$$

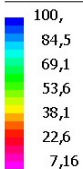
Les coefficients des contraintes  $F_i$  sont donnés par :

$$F_1 = \frac{1}{S_{Lt}} - \frac{1}{S_{Lc}} \quad F_2 = \frac{1}{S_{Tt}} - \frac{1}{S_{Tc}} \quad F_6 = 0$$

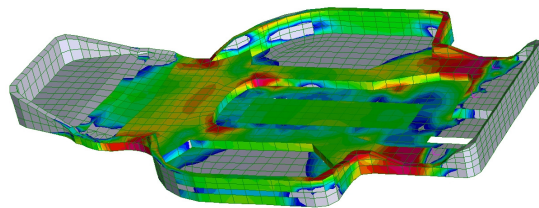
$$F_{11} = \frac{1}{S_{Lt}S_{Lc}} \quad F_{22} = \frac{1}{S_{Tt}S_{Tc}} \quad F_{66} = \frac{1}{S_{LTs}^2}$$

Avec S les résistances longitudinales ou transversales en traction ou en compression et  $S_{LTs}$  la résistance en cisaillement dans le plan interlaminaire

Plate RF:TsaiHill Min Value P

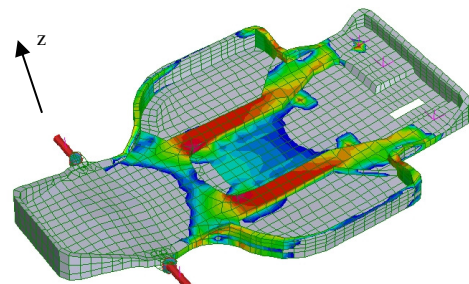


z



Essai de torsion

z



Charge pilote

c. Résultats

	Essai de torsion		Charge pilote (150Kg)		Masse (Kg)
	Déplacement Dz (mm)	TsaiWu mini (coef de sécurité)	Dz max (mm)	TsaiWu min	
Tissu verre	28	14	3	12,3	19
Tissu basalt	29	11,2	5	8,7	14

d. Bilan

Les concentrations de contraintes sont localisées soit dans les zones de changement de section pour le cas de la traction soit sur les renforts pour le cas de charge pilote. Cependant les coefficients de sécurités supérieur à 10 permettent de dire que le comportement du plancher est acceptable.

Malheureusement la technique du RTM ne permet pas d'avoir le siège compris dans la forme pour des problèmes de mise en place des tissus (continuité des fibres) et également d'injection. Pour le dernier cas, ceci est du au fait que la variation de hauteur est trop importante et donc que la résine ne pourra pas fluer correctement dans les tissus.

Des devis pour le chiffrage des moules et de la pièce on été réalisé pour cette technique afin d'avoir une idée du coût de fabrication d'une telle pièce et également de vérifier si on est en accord avec les conditions du cahier des charges.

### 3) Forme avec matériaux thermoplastiques

Un autre process de fabrication a été évalué. On a voulu regarder si l'utilisation d'un composite thermoplastique pouvait être envisagé avec la solution du moteur électrique, ce qui est impossible avec un moteur thermique du fait de la chaleur dégagée. En effet, à cause de leur nature ces matériaux ramollissent dès que l'on atteint la zone qui correspondant à la transition vitreuse.

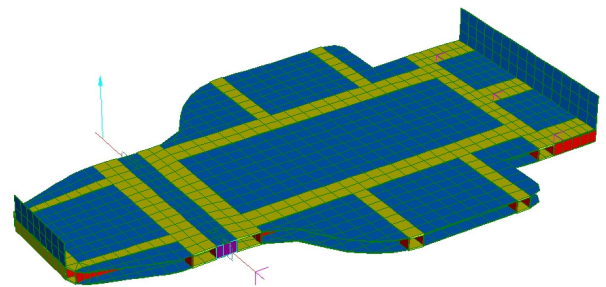
L'intérêt de cette solution est que cette fois on utilise des matériaux qui peuvent être recyclés.

Le choix du composite thermoplastique s'est fait en cherchant le bon compromis entre les propriétés mécaniques, thermiques et également la température de transformation.

La solution retenue a été du PA66 avec renfort fibre de verre.

	Densité	Module traction E	Contrainte de traction	Allongement avant rupture	Tg	T° de transformation
Unité	g/cm <sup>3</sup>	GPa	MPa	%	°C	°C
PA66 50% Fibre verre	1,8	22	400	2	70	260
Résine Polyester 50% Fibre verre	1,9	17	360	4		

L'objectif est de proposer une solution simple constituée d'empilement de plaques et d'utiliser des profilés pour renforcer et aussi pour avoir suffisamment d'épaisseur pour les fixations notamment des fusées.



Sur la figure ci-contre, les éléments jaunes correspondent à la position des profilés. En même temps qu'ils assurent leur fonction de raidisseur, ils vont aussi avoir pour fonction « guide » afin de venir fixer les pare chocs (à l'avant et à l'arrière) et les pontons (sur les côtés).

La solution idéale serait d'utiliser des pultrudés en thermoplastique pour réaliser les assemblages par soudage plastique. Mais après quelques recherches et consultations de spécialiste du composite thermoplastique, l'idée a dû être abandonnée car ces produits ne sont qu'à l'heure actuelle en phase de recherche et d'étude. Les seuls pultrudés existants

sont en therm durcissable et donc l'assemblage avec les plaques thermoplastiques ne peut se faire uniquement par simple collage ou rivetage.

Une solution par collage a donc été étudiée

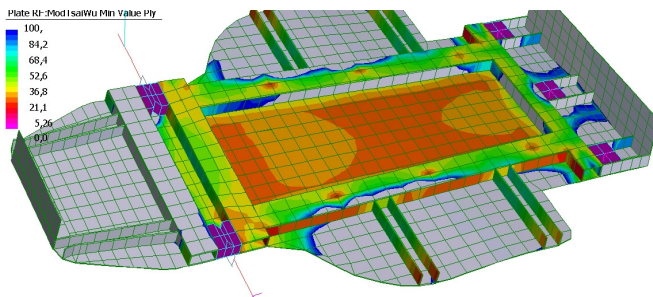
## a. Calcul

### Fonctions intégrées :

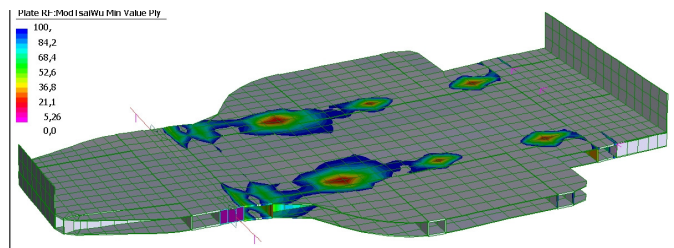
- châssis
- fixations (moteur, siège, palier, pédales, volant, batterie, pare-chocs, pontons)

### Propriétés matière :

- Tissu verre bidirectionnel (0/90°) avec PA 66 comme matrice, épaisseur 0,24mm/pli et peaux de 1,92mm et profilés pultrudés d'épaisseur 4 mm.
  - E: 21 800 MPa,       $\sigma_{max}$ : 400MPa
  - Masse totale 18Kg



Essai de torsion



Charge pilote

## b. Résultats

	Essai de torsion		Charge pilote (150Kg)		Masse (Kg)
	Déplacement Dz (mm)	TsaiWu mini (coef de sécurité)	Dz max (mm)	TsaiWu min	
Verre/PA66	22	21	1,8	9,2	18

4) Bilan sur le projet

**Tableau récapitulatif des résultats**

	Tubulaire	SMC	RTM			Thermo plastique
			Fibre Verre	Basalt	Avec Préforme	
Masse (Kg)	25	32	19	14		18
Déformation max (mm)	27	27	28	29		22
Coef de sécurité		8	14	11,2		21
Cadence de production		5 pièces/h	2 pièces/h			

Suite aux différentes études réalisées, il n’y a pas de réellement de solution envisageable soit elles n’apportent pas d’avantage par rapport à une structure tubulaire soit le prix de réalisation est trop important pour pouvoir en assurer les ventes.

Le seul argument qui est valable pour le moment est la masse inférieure à la solution en acier ce qui permet de consommer moins d’énergie donc d’augmenter la durée de vie des batteries ou alors d’en diminuer le nombre pour la version électrique.

Il faut également attendre le nouveau produit avec résine hybride de Menzolit qui permettrait de réduire le poids de la version SMC. Ce qui permettrait de proposer une solution dont le prix serait légèrement inférieur à la version tubulaire.

En fin de compte, le sujet bien qu’il n ait pas de perspective de fabrication à l’heure actuelle, a servit de support pour des recherches techniques et a permis d’enrichir la mémoire technologique de l’entreprise.

Par contre cette étude réalisée sur le modèle d’un karting peut être adaptée à d’autres véhicules à vocation électrique. La société X, qui produit des petits utilitaires électriques et véhicules sans permis, serait intéressée par cette solution de transfert technologique vers le composite.

## V. CONCLUSION

Ce stage ingénieur de six mois m'a été très enrichissant tant sur le plan technique qu'humain.

Même si le sujet proposé n'a pas eu de réel aboutissement, la démarche suivie pour réaliser ce projet m'a été très bénéfique. J'ai pu appréhender les différentes tâches que peut être amené à réaliser un chef de projet comme la rédaction de cahier des charges et d'étude fonctionnelle mais également la gestion d'un planning pour le bon avancement du projet.

Les activités que j'ai eues dans cette société ont été très variées en commençant par de la conception CAO et le calcul de structure puis la recherche de nouveaux produit ou process de fabrication.

L'ouverture vers la solution électrique m'a permis de voir un autre domaine et de me rendre compte de la polyvalence dont doit être capable d'avoir un ingénieur.

La participation aux réponses d'appelles d'offre accompagnées de phases de pré étude m'a permis de m'insérer entièrement dans l'activité de l'entreprise et de me rendre compte des différents enjeux, spécialement ceux économiques ou de délais.

Le bilan personnel est très positif. Il a fallu que je sois autonome dans mes recherches et dans l'organisation de mon travail. J'ai dû également m'auto former aux logiciels de CAO et de calculs car il y a une énorme différence entre ce que l'on apprend en cours et lorsque l'on se retrouve seul devant le logiciel en milieu industriel.

Durant ces six mois, il a fallu que je fasse preuve de rigueur dans mon travail que se soient dans son organisation ou dans l'interprétation des résultats. Cependant le manque d'expérience sur les calculs a provoqué dans certains cas un manque de recul par rapport à ceux-ci.

Ce stage m'a permis d'avoir plus d'assurance en moi notamment lors des rendez-vous avec les fournisseurs ou les sous-traitants.

Ce projet a été en général une bonne illustration des cours de composite reçu durant la formation. J'ai pu enrichir mes connaissances dans ces domaines et découvrir de nouvelles techniques.

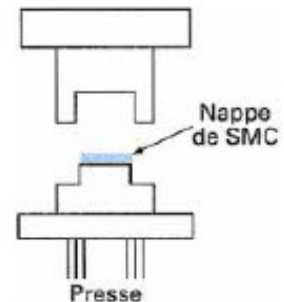
En conclusion grâce à ce stage, j'ai pu me rendre compte du travail qui pourrait m'être demandé en temps qu'ingénieur dans le domaine des matériaux.

## VI. ANNEXES

### Glossaire

On appelle **stratifié** ce qui résulte de plusieurs couches (ou pli) de nappes unidirectionnelles ou de tissus avec des orientations propres à chaque pli

**Moulage à la presse voie sèche SMC** : moulage sous presse à chaud, de préimprégné SMC (*Sheet Moulding Compound*) en nappes prédécoupées, constitué de renfort (par exemple, 20-30% de mat de verre) imprégné par une résine chargée, catalysée et inhibée (l'inhibiteur est détruit par la chaleur du moule).



**Moulage par injection de résine RTM** (*Resin Transfer Molding*) : une nappe de fibres (tissus, mats) est déposée dans un moule fermé étanche et la résine est injectée à basse pression (<10 bar). La résine peut être introduite dans le moule par aspiration à l'aide du vide (combinaison pression et vide possible).

