

Modélisation du véhicule à partir des recherches de style (rough)

Design extérieur



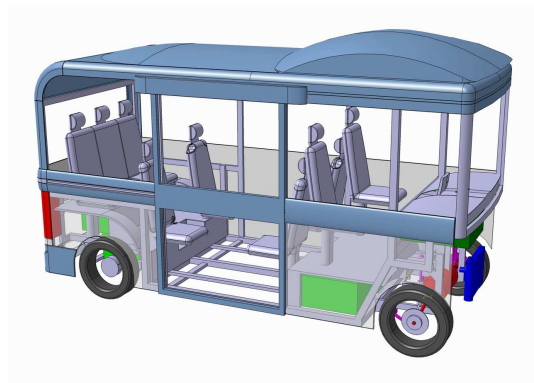
A partir des études de style consécutives à l'analyse d'opportunité, nous avons envisagé différentes piste pour concevoir la carrosserie du véhicule.

L'une d'entre elle avait pour but de reprendre les lignes générales du Microbus, développé par la société GRUAU, partenaire du projet Nanobus.

L'idée générale consistait à reproduire sur le Nanobus l'identité visuelle du Microbus dans le but de renforcer l'image de gamme de produit : Nanobus, Microbus.



Microbus Gruau



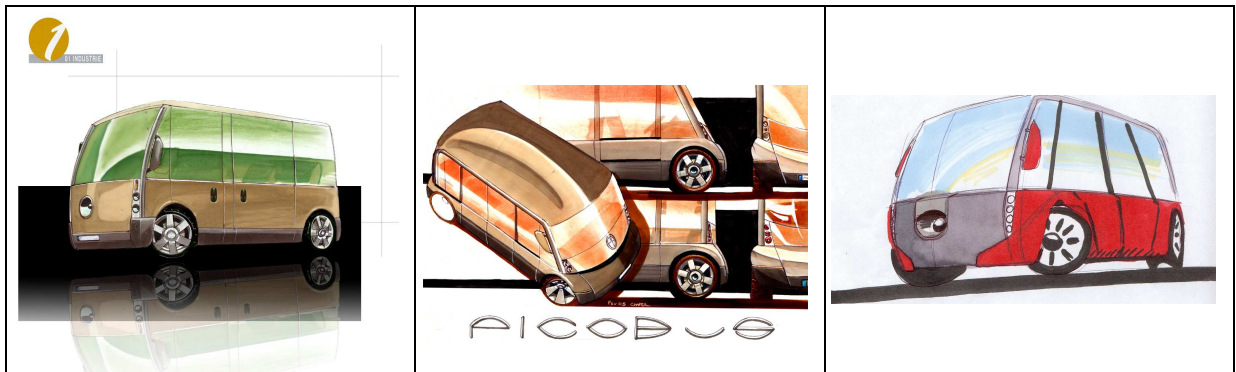
Nanobus



Cette piste fut rapidement abandonnée, les caractéristiques d'encombrement du Microbus ne correspondant pas à celles du Nanobus

Solution retenue en avant projet :

Le style et les composants du Nanobus sont largement conditionné par le prix de revient cible du véhicule.



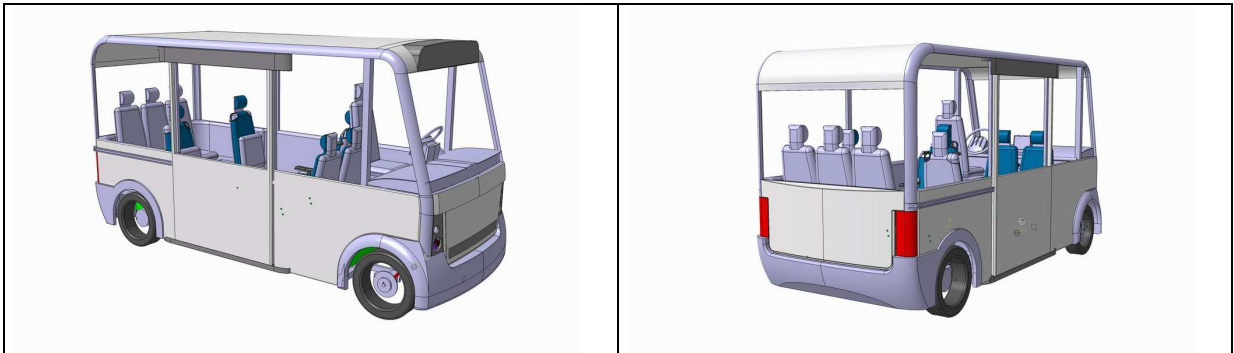
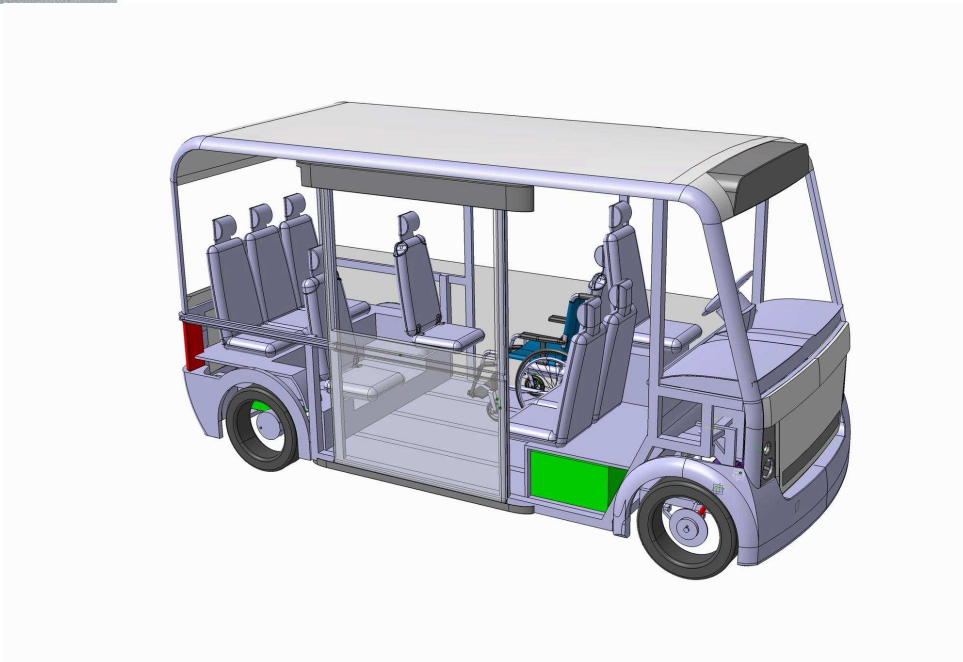
Dans le cadre du projet Microbus, la société Gruau a adopté certaines solutions techniques. Dans ce projet, l'étude du processus d'industrialisation et la recherche de solutions technique ont été menés conjointement.

Le projet Nanobus est bâti de la même manière. Nous irons donc dans la même direction ce qui nous permettra de profiter pleinement du retour d'expérience de notre partenaire (Bilan de l'expérience).

Ainsi, en phase de conception 3D, nous devons déjà intégrer le processus de fabrication et d'assemblage des différents constituants du véhicule : Structure, carrosserie, ...

De manière à limiter le coût de réalisation des outillages, les formes générales du véhicule sont simples. Par exemples, les panneaux latéraux du véhicule sont plans.

Ce choix nous permet d'aménager un système d'ouverture de la porte latérale simple à concevoir, simple à l'usage et robuste.



Design intérieur

La modélisation de la planche de bord permet de 'matérialiser' fidèlement l'étude de style réalisée sur papier (rough). Elle permet également de juger de la cohérence fonctionnelle et dimensionnelle des aménagements intérieurs par rapport à la structure.



D'autre part, la modélisation de cette planche de bord nous donne suffisamment d'informations pour obtenir un chiffrage (devis) de l'ensemble de ces composants.



Grâce à la maquette numérique, les différentes pièces des sous-ensembles (planche de bord, châssis, panneaux de carrosserie, ...) sont cotés précisément ce qui facilite les démarches de prospection pour obtenir des devis précis de la part de sous traitants.

Conclusions et synthèse : Design/ergonomie



L'avant projet a permis de pré-dimensionner le Nanobus. Une base de donnée numérique qui servira à pour la suite de l'étude (Design, intégration) a été créé durant cette période.

Cette base de donnée a plusieurs objectifs :

- Dimensionner le véhicule pour juger de la cohérence dimensionnelle entre les différents composants et de l'ergonomie,
- Anticiper le processus d'assemblage des sous ensembles à l'intérieur du véhicule.

La maquette numérique permet également d'échanger et de communiquer :

- Dialoguer avec les partenaires du projet (ingénierie collaborative),
- Consulter les sous traitants et les fournisseurs,
- Communiquer sur l'état d'avancement des travaux.

Afin de soutenir le projet, notamment auprès d'investisseurs potentiels, la maquette numérique permet de donner une vision concrète et réaliste de :

- La nature du projet,
- L'état d'avancement du projet,
- Nos objectifs et de notre vision.

Ainsi, nous souhaitons exploiter au mieux le potentiel que constitue la maquette numérique du Nanobus de manière à anticiper la prochaine étape du projet dont le point de départ est prévue pour janvier 2006.

Prochaine étape : Démonstrateur technique Nanobus.

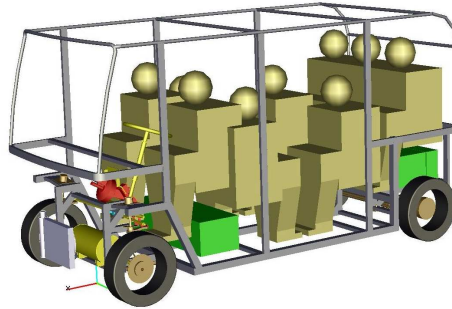


Dossier technique préliminaire

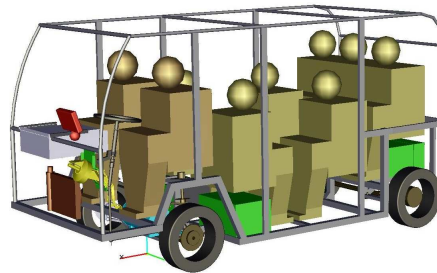
Dimensionnement du châssis et calcul de RDM (Résistance Des Matériaux)	60
Cahier des charges pour le dimensionnement du châssis	61
Conditions de chargement	62
Cas de charges de l'étude de RDM	64
Essais comparatifs entre les deux versions du châssis	64
Déformation du châssis lors d'un cas de charge avant	65
Déformation du châssis lors d'un cas de charge arrière	66
Déformation lors d'un cas de charge sur une seule roue (AV, AR)	66
Indice de performance	67
Essais et analyses de 46 versions de châssis (VB0 à VB45)	68
Catégories de renforts : plancher, latéraux, toit, ...	69
Résultats d'essais	72
Ensemble des résultats et indices de performance	73
Version finale (VB45)	76
Optimisation de la version VB45	77
Résultats obtenus (sections de poutre)	78
Analyse des résultats	79
Conclusions et perspectives d'évolution : Essais de RDM	81

Le dimensionnement du châssis a débuté parallèlement à la première phase d'intégration de la maquette numérique. A ce moment, le modèle CAO se limitait à la définition des principaux encombrements du véhicule dans ces deux déclinaisons.

Version de base :



Version « cabine avancée » :



Cahier des charges de l'étude de dimensionnement de la structure (RDM)

- Respecter le plus possible les principales dimensions du véhicule,
- Respecter l'encombrement intérieur, la position des passagers et des batteries,
- Ne pas dépasser une masse de 500 kg pour un châssis en acier et 400 kg pour un châssis en aluminium,
- Garder une marge de sécurité par rapport à la limite élastique (Von Mises) du matériau sous contrainte,
- Obtenir une rigidité de la structure suffisante ⁽¹⁾
- Matériaux testés⁽²⁾ : acier (limite élastique : 250 Mpa)
- Ne pas dépasser des sections de 120x120 mm, et si possible 80 mm de hauteur de plancher.

⁽¹⁾ Au départ de l'étude, nous nous sommes fixé comme cible, une déformation maximale de la structure de 3 mm durant les essais de contrainte. Il est vite apparu que cet objectif était difficilement réalisable compte tenu de la longueur du Nanobus. Une flèche si faible rapportée au 4 mètres de longueur de châssis était difficilement atteignable.

Nous avons augmenté la tolérance de déformation pour l'établir entre 10 mm et 15 mm selon les cas de charge.

⁽²⁾ Matériau testé en avant projet dans le but d'obtenir un premier dimensionnement de la structure. En phase projet, des essais seront poursuivis notamment sur une structure en aluminium car la recherche du meilleur compromis rigidité/masse/coût est une des dominantes pour suite du projet.

Le dimensionnement du châssis se décompose en 3 étapes distinctes :

- Définir les conditions de chargement
- Etudier la structure en charge (calcul de RDM)
- Optimiser la structure

Les essais sont réalisés en boucle à partir du modèle d'origine modifié pas à pas jusqu'à l'obtention de résultats satisfaisants en rapport avec le cahier des charges initial.

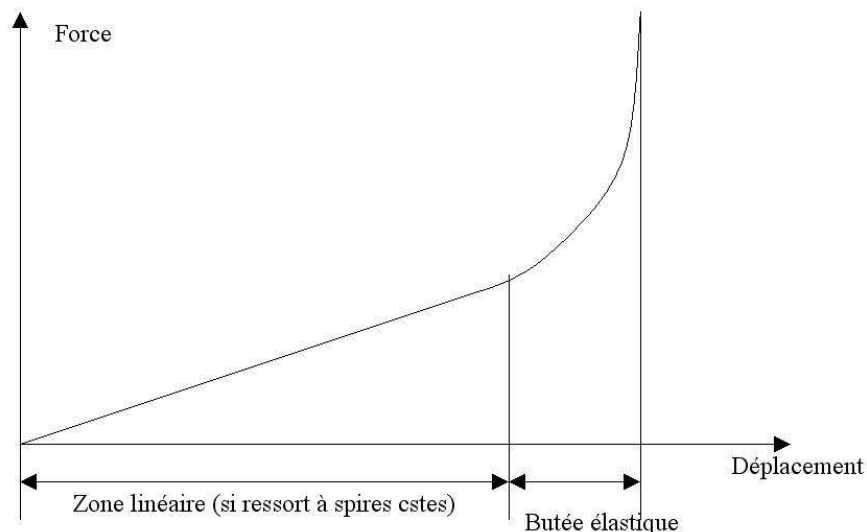
Conditions de chargement

Afin d'être le plus représentatif possible de la réalité, et bien que l'analyse ne soit que statique, nous avons évalué certains cas de charge en utilisation courante du NANOBUS. Ceci afin de mieux cerner les contraintes appliquées sur le châssis. Ces exemples sont définis ci après :

- A l'arrêt et à pleine charge.
- Lors d'une accélération maxi, à vide et en pleine charge
- Lors d'un freinage maxi, à vide et en pleine charge
- Lors d'un virage à vitesse max., charge max. et rayon de braquage maxi à la limite du glissement
- Lors d'un franchissement d'obstacle (bosse, nid de poule,...) à vitesse max et charge max.

Pour estimer les efforts maxi exercés par les suspensions il nous faut connaître les caractéristiques de celle-ci (raideur du ressort, etc..). Ce qui dans la pratique est impossible en début de projet. Pour résoudre cette problématique, nous nous sommes inspirés de méthodes mis en œuvre lors de précédents projets.

Diagramme Force=f(déplacement) pour une suspension



En théorie, la masse du véhicule correspond à environ 20000N répartie de façon équivalente sur les 4 roues.

Lors d'un franchissement d'obstacle (dos d'âne, trottoir, ...) la masse exercée sur les points d'ancrage des suspensions peut atteindre 3 fois la masse du véhicule exercée localement (coéf. multiplicateur de 3).

Dans ces conditions, lors du franchissement d'un obstacle, le châssis du Nanobus devrait subir au maximum une force de 30000 N sur l'essieu avant (15000N par roue avant).

Ce qui n'est pas le cas car dans la réalité.

En réalité, les amortisseurs sont là pour éviter la structure d'encaisser cette contrainte d'un seul coup. De plus, le châssis n'est pas encastré comme c'est le cas dans les essais en statique que nous avons réalisés.

Pour connaître l'influence du combiné amortisseur nous avons modélisé cette force de 15000 sous le logiciel AMESIM (Estaca) en utilisant les caractéristiques variables des ressorts et amortisseurs. Après calcul, une valeur moyenne d'effort par essieu a été ramenée à 10000N.

Par conséquent, nous avons réalisé nos tests de RDM avec l'effort sans coefficient multiplicateur, mais avec l'encastrement du véhicule dans les conditions ci-dessous.

Ainsi, pour débiter l'étude, nous avons estimé que chaque support d'amortisseur du châssis encaisse une charge équivalente à 5000N ce qui correspond à $\frac{1}{4}$ du PTAC du Nanobus.

Poids équivalent du Picobus en charge 20000N



Cette hypothèse permet d'orienter la suite de l'étude. Notre objectif est d'appliquer des cas de charges par des moyens simples de façon à obtenir rapidement une représentation de la structure qui sera optimisée dans la seconde partie du projet par des méthodes complémentaires : essais en dynamique.

Cas de charges de l'étude de RDM

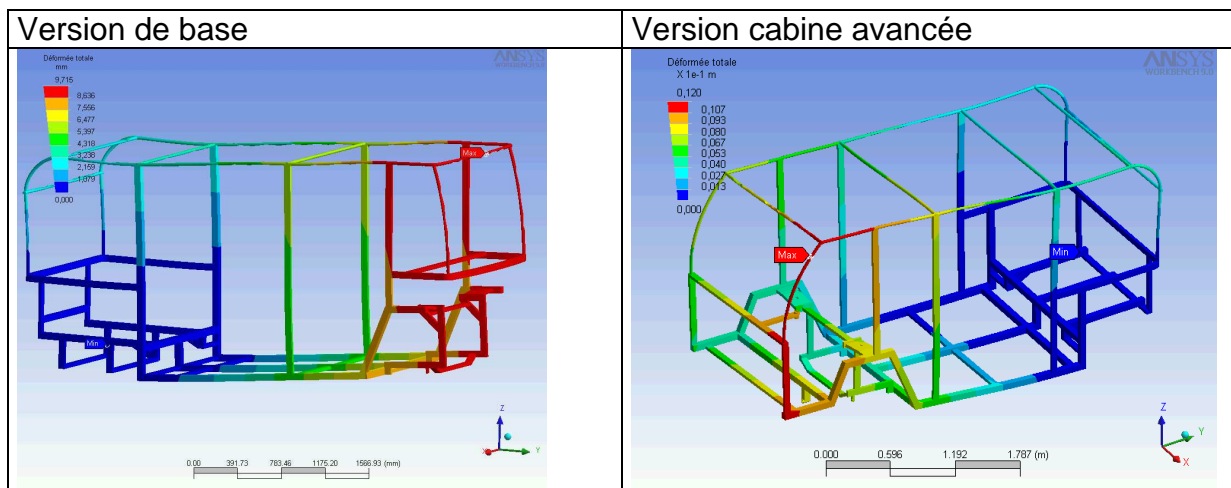
- 5000N par support d'amortisseur avant, supports arrière encastrés (équivalent aux 2 roues avant en appui sur un trottoir)
- 5000N par support d'amortisseur arrière, supports avant encastrés (équivalent aux 2 roues arrière en appui sur un trottoir)
- 5000N pour un support d'amortisseur avant, 0N pour l'autre, support arrière encastré (équivalent à 1 roue avant en appui sur un trottoir)
- 5000N pour un support d'amortisseur arrière, 0N pour l'autre support avant encastré (équivalent à 1 roue arrière en appui sur un trottoir)
- 5000N pour un support d'amortisseur arrière et 5000N pour un support avant, les autres supports sont encastrés (équivalent à 2 roues d'un même coté en appui sur un trottoir)

Les cas de charges que nous avons testés nous permettent d'évaluer :

- la déformé de la structure
- les contraintes de 'Von Mises'

Bien que la mesure de la déformé apporte une information pertinente, nous nous intéressons principalement aux contraintes de Von Mises. Il s'agit du critère déterminant pour comparer la contrainte de limite élastique. Cette limite correspond à la valeur au-delà de laquelle la pièce commence à plastifier. Elle est fixée à 250 MPa pour le matériau de nos essais (acier courant).

Essais comparatifs entre les deux versions du châssis



Essais réalisés sur ANSYS Workbench

Ces premiers essais comparatifs nous renseignent sur le comportement des deux châssis subissant les mêmes contraintes.

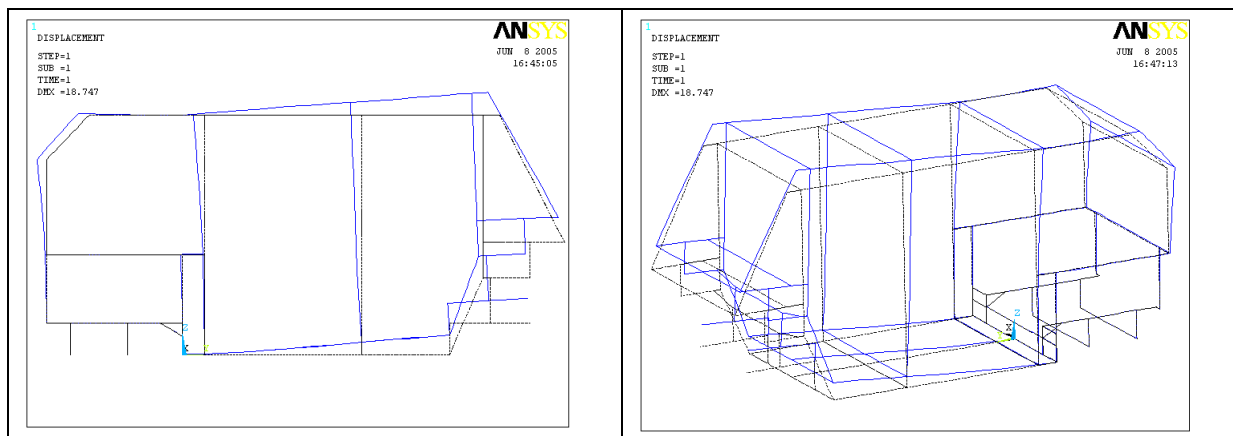
Ces essais nous démontrent que la version 'cabine avancée' dont le plancher est plus court se comporte à priori mieux que celui de la version de base dans les mêmes conditions de charge et pour la même valeur de contrainte.

Dans le même temps, l'étude de l'ergonomie et de l'accessibilité du véhicule avantage la version de base.

Se faisant, nous décidons de privilégier les essais sur la version de base qui est la plus critique lors de essais de RDM.

Déformation du châssis en cas de charge avant

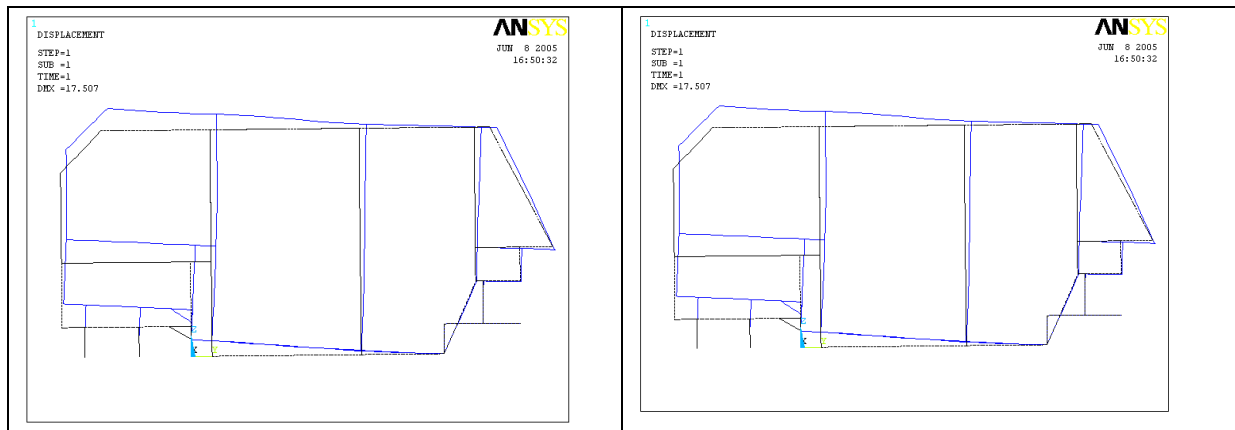
On remarque facilement que la structure bascule autour des points d'ancrages des longerons arrière. On peut imaginer que l'augmentation de la section des poutres du plancher ou de l'arceau permettrait de réduire cette déformation.



A noter que pour permettre à l'opérateur d'évaluer les effets de la contrainte, le logiciel accentue graphiquement la déformation de la structure. Ce qui se déplace de quelques millimètres donne l'impression de se déplacer de plusieurs centimètres.

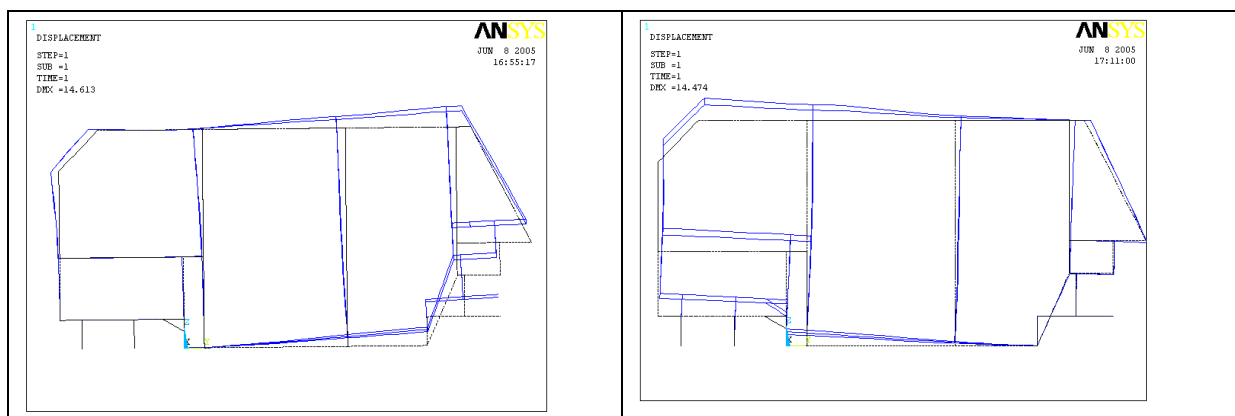
Déformation lors d'un cas de charge arrière

Nous retrouvons là encore le même phénomène de basculement, mais cette fois ci autour des longerons avant. Il s'explique par la forme de la structure du NANOBUS, elle s'apparente à un parallélépipède, qui se comporte comme un parallélogramme déformable.



Déformation lors d'un cas de charge sur une seule roue (AV, AR)

Lorsque le châssis est soumis à une charge sur une seule roue (avant ou arrière), on observe une déformation similaire (basculement) mais couplée avec un « vrillage » de la structure. En effet, la force sur une seule roue induit un couple et donc de la torsion. Cette torsion se visualise très bien ci-dessous.



Indice de performance

Pour comparer les résultats des essais, nous avons cherché à établir un indice de performance permettant de nous éclairer facilement sur le meilleur compromis masse/rigidité.

Pour que notre structure soit performante il faut que :

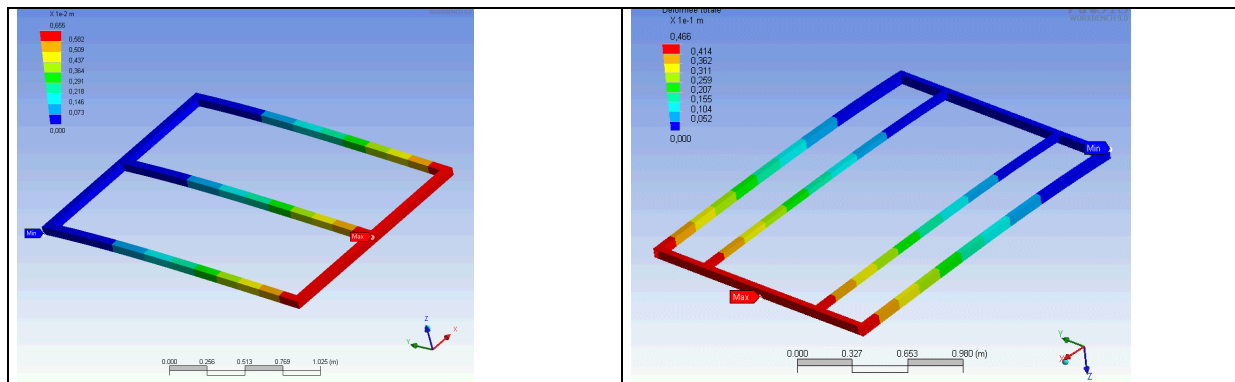
Sa masse soit la plus faible possible **ET** que sa déformation soit la plus faible

Soit l'indice de performance suivant :

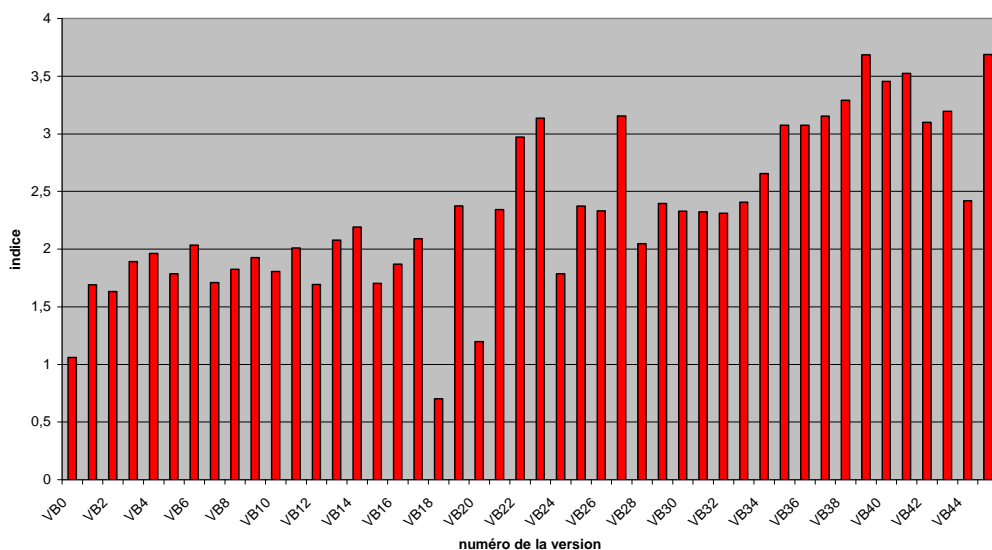
$$indice = \frac{1}{masse \times déformation}$$

Avec cette formule, une masse faible multipliée par une déformation faible donnera un indice élevé, ce qui ne sera pas le cas si la masse, la déformation ou les deux à la fois sont trop importantes.

Comparaisons de 2 types de plancher avec variation de sections



indice de performance 1roue AV

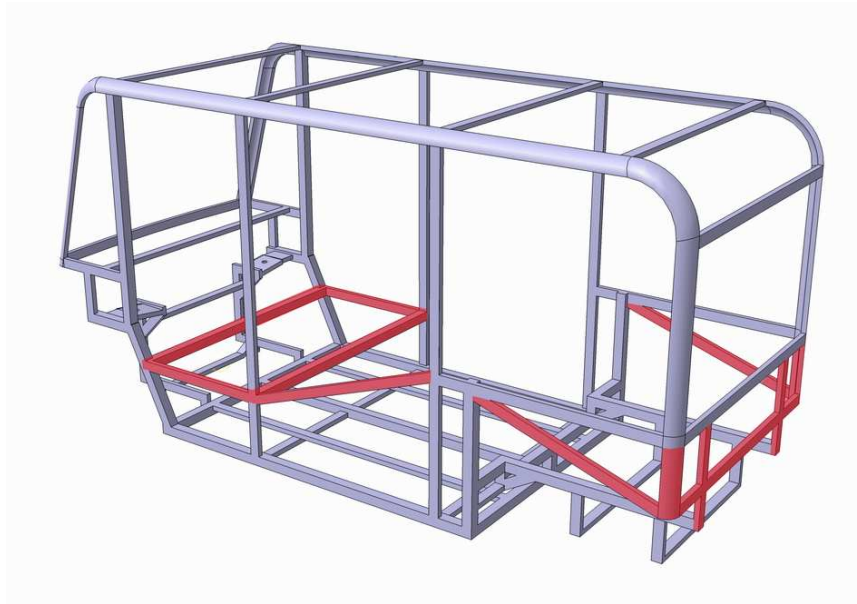


Recherche du meilleur indice de performance

Essais et analyses de 46 versions de châssis (VB0 à VB45) :

Pas a pas, nous avons testé différentes évolutions du châssis. Chaque version se différencie d'une autre principalement par :

- Le positionnement d'une poutre,
- L'ajout ou la suppression de renforts.

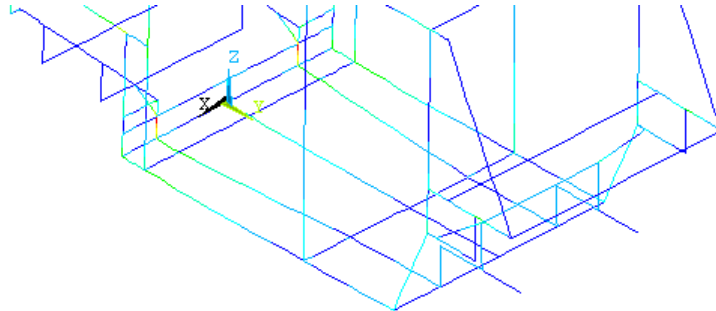


En règle générale, il n'y a pas plus d'une modification par version afin d'en mesurer l'influence sur le comportement général de la structure. Certains châssis regroupent plusieurs idées qui se sont développées au fil des tests.

La version 45 est celle qui présente le meilleur compromis dans le respect du cahier des charges.

Catégories de renforts : plancher, latéraux, toit, ...

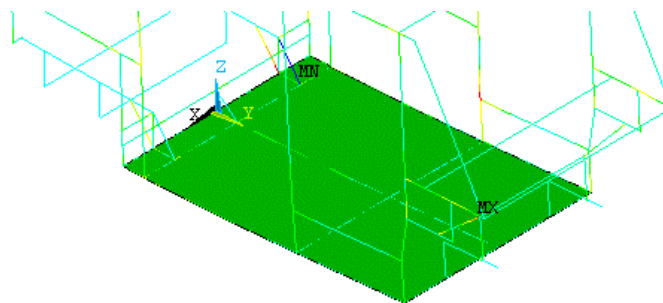
Renforts de plancher



Exemple de renforts de plancher

Ce type de renfort apporte énormément de gain en rigidité. Comme nous l'avons constaté tout au long de cette étude le plancher est une pièce maîtresse de la structure. Ajouter des poutres à cet endroit limite la déformation surtout dans les cas de charge avant et arrière. L'inconvénient est une prise de « poids » importante.

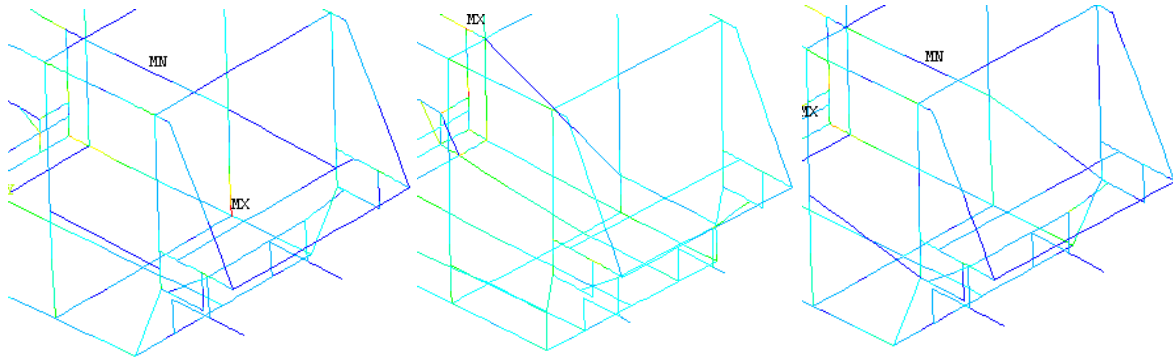
Cas particulier : Planchers en composite



Exemple de plancher en composite de type sandwich

Le plancher en composite de type sandwich (peau en aluminium avec une âme en nid d'abeille) semble être la meilleure solution pour le Nanobus. En effet, il améliore fortement la rigidité au prix d'une augmentation de masse mesurée. Le problème réside dans son coût de fabrication très élevé. Pour pouvoir étudier précisément le comportement du plancher en nid d'abeille, il nous faut connaître précisément ses caractéristiques (matériau orthotrope, caractéristiques variant suivant les directions).

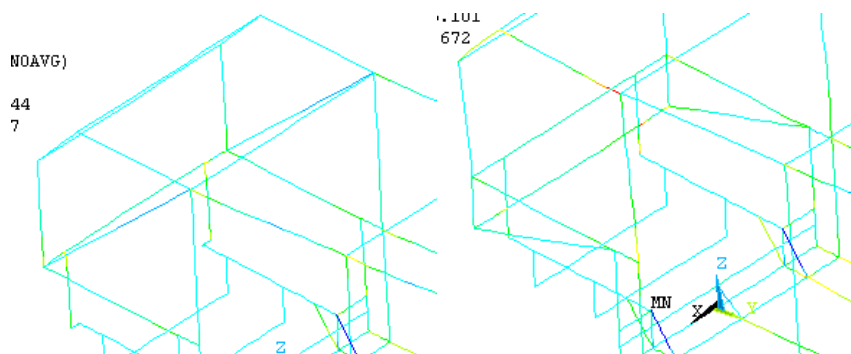
Renforts latéraux



Exemples de renforts latéraux

Les renforts latéraux sont probablement les plus adaptés au problème de déformation de la structure du Nanobus. Ils limitent l'effet « parallélogramme déformable » et permettent une meilleure répartition des efforts vers les autres poutres. Malheureusement ils ne répondent pas tous au cahier des charges car ils obstruent les accès à bord. Seul les renforts bas, image du centre, répondent à cette contrainte, ce ne sont néanmoins pas les plus efficaces même s'ils améliorent grandement la rigidité.

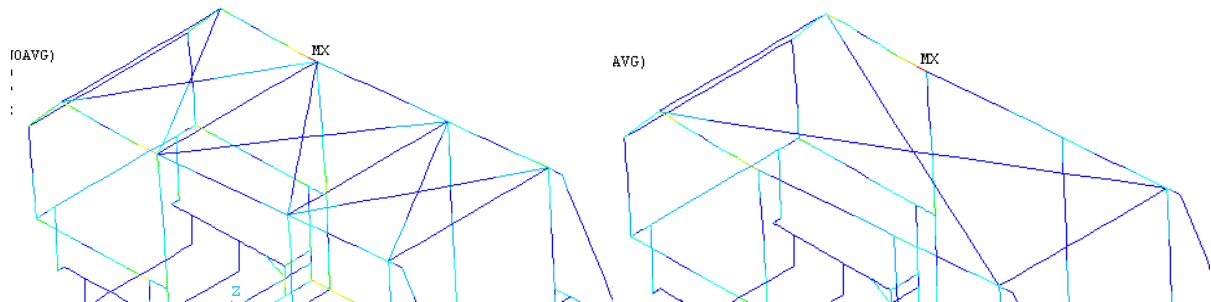
Renforts latéraux sur l'arrière du véhicule



Exemples de renforts à l'arrière du véhicule

Les renforts sur la partie arrière donnent des résultats très intéressants. En bloquant le basculement du toit et en répartissant les efforts vers les poutres fixes, ils augmentent assez nettement la rigidité. Ils sont d'autant plus pertinents dans le cas de charge avant comme dans les cas de charge arrière.

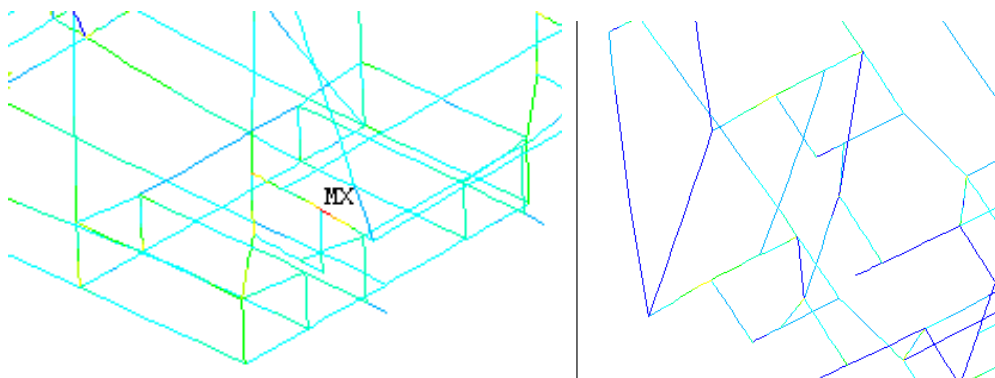
Renforts de toit



Exemples de renforts de toit

Ce type de renfort n'apporte pas de gain significatif dans l'augmentation de rigidité du châssis surtout dans les cas de charge avant et arrière car les poutres du toit sont éloignées des parties encastrees (les renforts subissent le phénomène de basculement). En revanche ce type de renfort permet d'améliorer la performance dans les cas de charge sur 1 roue, où le véhicule est soumis à de la torsion. Ce gain s'explique par le fait que les poutres croisées du toit permettent de transmettre des efforts vers une partie moins sollicitée du châssis.

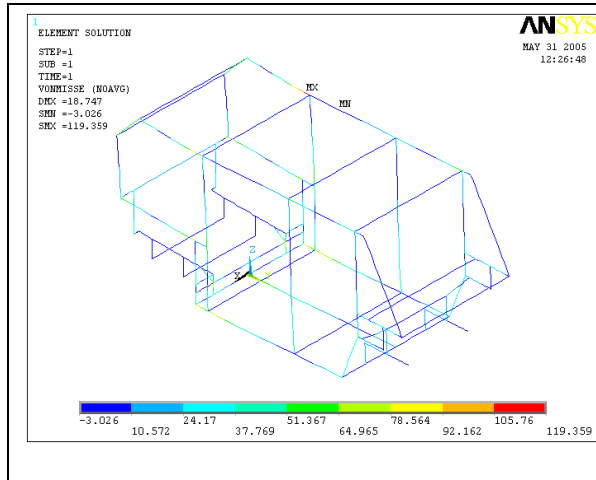
Renforts avant



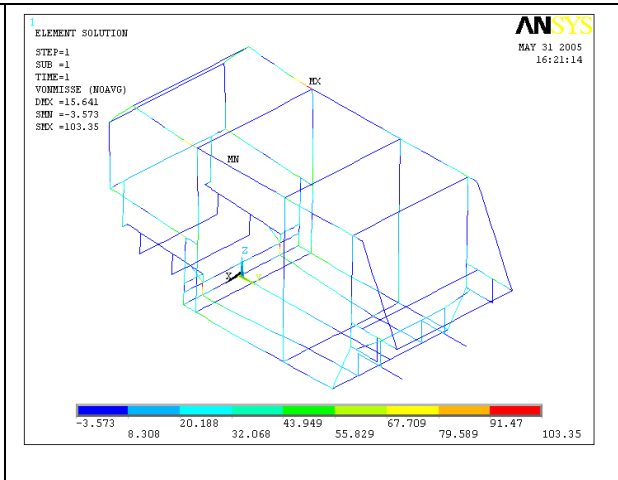
Exemples de renforts avant

Les renforts avant jouent un rôle essentiel dans la rigidité de la structure lorsqu'elle est soumise à un cas de charge arrière. Ces poutres permettent en effet de délester les têtes d'amortisseur, les efforts sont mieux répartis, la raideur est accrue. Sans ces renforts, la contrainte maximale atteint des valeurs critiques, bien au-delà de la limite élastique de l'acier. De ce fait, malgré une influence moindre sur les autres cas de charge, ces renforts sont absolument indispensables à la bonne tenue du châssis.

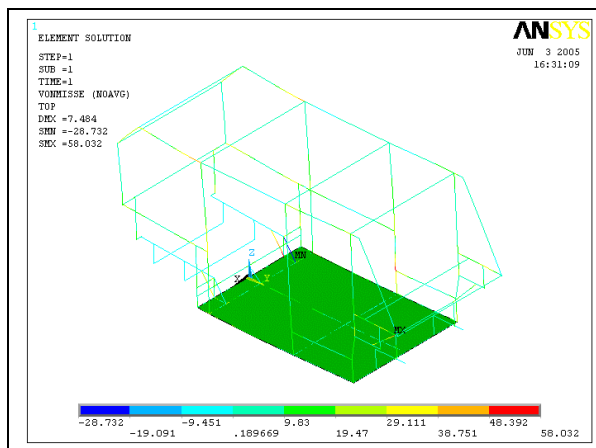
Résultats d'essais



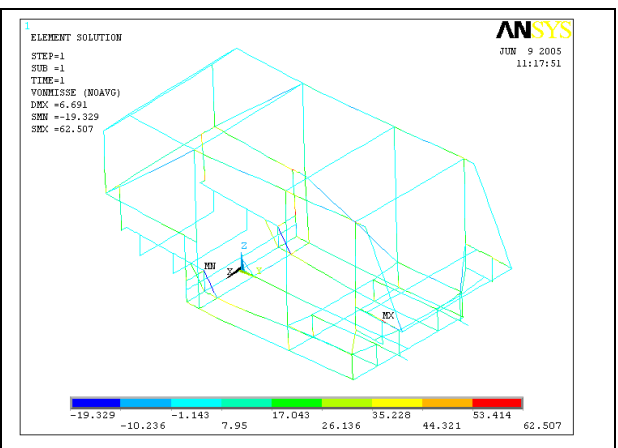
VB1 : version de base



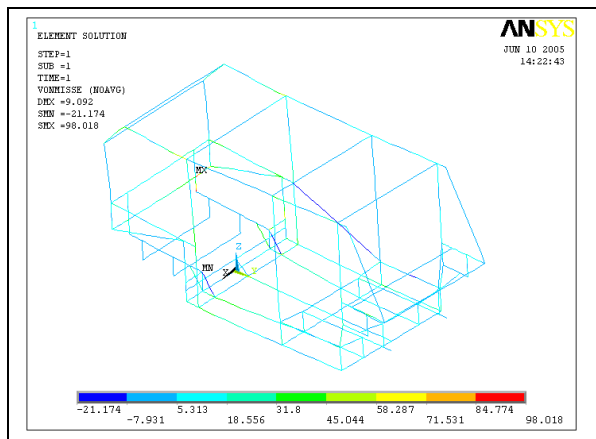
VB1 + renforts de plancher



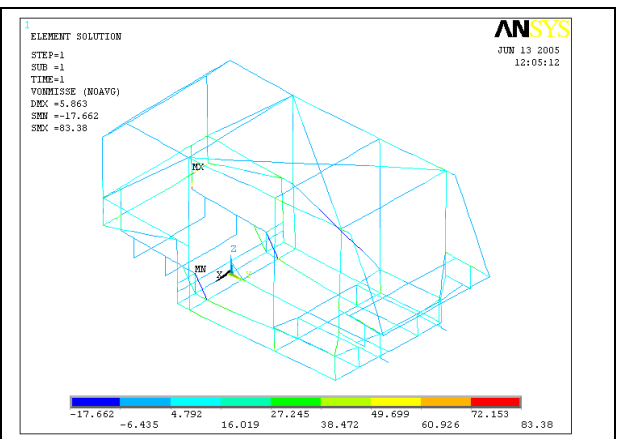
Plancher composites



Renforts latéraux



Essai chargement AV



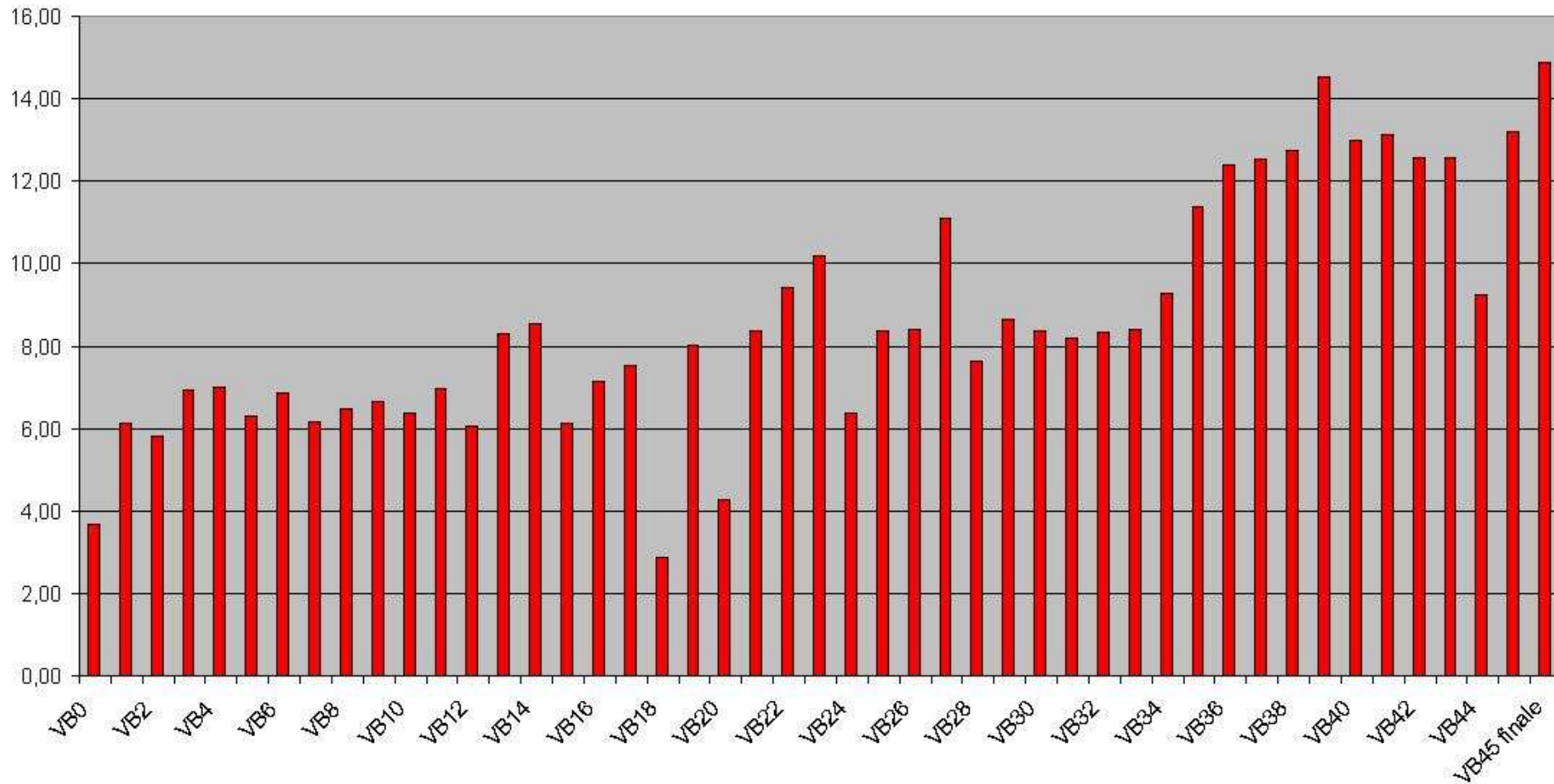
Croisillons toit



Ensemble des résultats et indices de performance

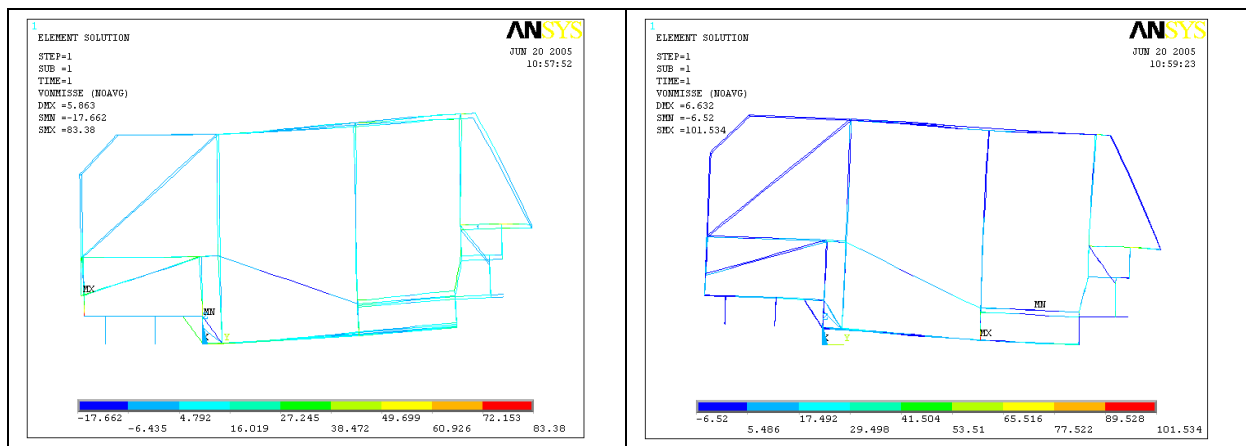
N° version	volume	masse vol	masse	DMX AY	SMX AY	DMX AR	SMX AR	DMX 1AY	SMX 1AY	DMX 1AR	SMX 1AR	indice de perfo. AY	indice de perfo. AR	indice de perfo. 1 R AY	indice de perfo. 1 R AR	indice global
VB0	0,39	7800,00	307,68	38,53	222,64	39,80	168,91	30,68	160,79	33,40	134,97	0,84	0,82	1,06	0,97	3,69
VB1	0,52	7800,00	404,65	18,75	119,36	17,51	155,28	14,61	82,77	14,47	118,95	1,32	1,41	1,69	1,71	6,13
VB2	0,60	7800,00	466,51	17,59	99,88	16,43	156,81	13,14	71,75	12,81	111,84	1,22	1,30	1,63	1,67	5,83
VB3	0,54	7800,00	418,29	15,90	96,48	14,41	199,80	12,63	62,71	12,77	126,49	1,50	1,66	1,89	1,87	6,93
VB4	0,54	7800,00	417,68	15,00	99,46	15,02	192,52	12,19	64,11	12,95	123,87	1,60	1,59	1,89	1,85	7,00
VB5	0,52	7800,00	406,51	17,57	115,22	17,51	155,17	13,78	79,68	14,46	118,81	1,40	1,40	1,79	1,70	6,29
VB6	0,62	7800,00	482,11	13,21	97,77	14,36	192,15	10,20	61,87	11,44	135,71	1,57	1,44	2,03	1,81	6,86
VB7	0,53	7800,00	410,05	18,63	112,20	17,41	155,33	14,25	79,61	13,99	113,91	1,31	1,40	1,71	1,74	6,16
VB8	0,53	7800,00	415,90	17,12	119,45	16,47	158,35	13,16	83,08	13,40	112,54	1,40	1,46	1,83	1,79	6,48
VB9	0,54	7800,00	421,57	15,92	99,44	16,34	158,37	12,32	63,02	13,30	111,71	1,49	1,45	1,93	1,78	6,65
VB10	0,53	7800,00	409,87	17,04	107,23	17,21	155,91	13,51	71,08	14,33	118,29	1,43	1,42	1,81	1,70	6,36
VB11	0,54	7800,00	422,31	13,62	96,12	16,08	170,50	11,78	63,58	13,69	111,21	1,74	1,47	2,01	1,73	6,95
VB12	0,55	7800,00	426,04	18,37	137,80	17,40	154,87	13,86	98,66	13,49	108,95	1,28	1,35	1,69	1,74	6,06
VB13	0,57	7800,00	447,54	12,69	97,30	10,36	249,40	10,75	63,29	9,70	144,88	1,76	2,16	2,08	2,30	8,30
VB14	0,58	7800,00	449,40	11,75	92,80	10,34	249,59	10,15	60,82	9,67	145,10	1,89	2,15	2,19	2,30	8,54
VB15	0,54	7800,00	419,12	17,92	104,76	16,88	157,98	14,01	73,92	14,09	118,12	1,33	1,41	1,70	1,69	6,14
VB16	0,56	7800,00	440,37	15,64	103,35	13,15	110,58	12,14	79,33	10,93	86,45	1,45	1,73	1,87	2,08	7,13
VB17	0,57	7800,00	444,12	13,70	106,64	13,15	110,83	10,77	83,56	10,90	86,65	1,64	1,71	2,09	2,07	7,51
VB18	1,92	7800,00	1497,90	12,70	112,57	9,22	73,82	9,51	82,44	7,33	58,98	0,53	0,72	0,70	0,91	2,86
VB19	0,57	7800,00	446,85	11,81	87,36	13,16	110,73	9,42	59,89	10,90	86,53	1,90	1,70	2,37	2,05	8,02
VB20	0,78	7800,00	606,20	18,48	113,86	17,26	155,32	13,79	82,83	13,37	111,05	0,89	0,96	1,20	1,23	4,28
VB21	0,59	7800,00	459,69	11,47	72,20	11,29	177,13	9,29	50,35	9,90	122,19	1,90	1,93	2,34	2,20	8,37
VB22	3,60	7800,00	583,55	7,48	58,03	9,33	166,59	5,77	61,81	7,42	104,32	2,29	1,84	2,97	2,31	9,41
VB23	3,65	7800,00	620,30	6,69	57,04	7,78	131,60	5,14	60,91	6,27	83,12	2,41	2,07	3,14	2,57	10,19
VB24	0,78	7800,00	608,83	11,32	72,90	11,18	180,35	9,19	49,92	9,82	124,52	1,45	1,47	1,79	1,67	6,38
VB25	0,59	7800,00	460,04	10,49	23,20	12,14	163,57	9,16	52,43	10,18	125,57	2,07	1,79	2,37	2,13	8,37
VB26	0,60	7800,00	470,28	10,71	84,39	11,06	186,15	9,12	51,13	9,89	120,19	1,99	1,92	2,33	2,15	8,39
VB27	0,60	7800,00	471,67	7,58	68,95	8,89	162,76	6,72	57,05	7,71	128,25	2,80	2,39	3,16	2,75	11,09
VB28	0,60	7800,00	471,47	13,24	105,97	11,22	165,58	10,36	66,815	10,22	122,53	1,60	1,89	2,05	2,07	7,62
VB29	0,61	7800,00	473,11	10,80	86,07	10,65	194,15	8,83	52,31	9,20	149,90	1,96	1,99	2,39	2,30	8,64
VB30	0,59	7800,00	462,17	11,45	72,30	10,90	156,14	9,29	50,35	9,99	122,19	1,89	1,98	2,33	2,17	8,37
VB31	0,60	7800,00	471,12	10,48	85,71	12,13	162,64	9,14	52,74	10,17	125,05	2,03	1,75	2,32	2,09	8,19
VB32	0,60	7800,00	471,64	11,51	73,13	10,62	172,12	9,17	49,30	9,76	119,22	1,84	2,00	2,31	2,17	8,32
VB33	0,61	7800,00	475,49	10,62	76,67	11,15	178,33	8,74	48,76	9,80	121,38	1,98	1,89	2,41	2,15	8,42
VB34	3,65		520,88	9,15	60,69	9,28	150,22	7,23	41,90	7,82	101,06	2,10	2,07	2,65	2,45	9,28
VB35	0,64	7800,00	498,46	6,86	69,51	8,70	130,65	6,53	58,46	6,52	90,20	2,92	2,31	3,07	3,08	11,38
VB36	0,64	7800,00	502,36	6,78	65,31	6,33	97,45	6,48	55,56	6,12	84,00	2,94	3,14	3,07	3,25	12,41
VB37	0,63	7800,00	492,12	6,69	62,51	6,70	102,41	6,44	54,18	6,13	86,56	3,04	3,03	3,15	3,31	12,53
VB38	0,63	7800,00	492,42	6,61	64,21	6,69	113,92	6,17	45,22	6,05	93,03	3,07	3,04	3,29	3,35	12,75
VB39	0,65	7800,00	506,93	5,31	72,38	5,77	82,21	5,35	54,47	5,31	65,51	3,72	3,42	3,69	3,72	14,54
VB40	0,66	7800,00	517,32	6,57	61,43	6,70	102,16	5,59	53,76	5,24	82,30	2,94	2,89	3,46	3,69	12,97
VB41	0,66	7800,00	511,44	6,55	60,57	6,68	101,96	5,55	52,97	5,30	82,20	2,99	2,93	3,52	3,69	13,13
VB42	0,64	7800,00	500,02	6,68	63,60	6,28	97,77	6,46	54,56	6,11	84,51	2,99	3,18	3,10	3,28	12,55
VB43	0,65	7800,00	507,92	6,10	81,56	6,66	101,98	6,16	53,14	6,18	86,29	3,23	2,96	3,20	3,19	12,57
VB44	0,64	7800,00	495,95	9,09	98,02	9,32	114,28	8,34	60,39	8,20	91,46	2,22	2,16	2,42	2,46	9,26
VB45	0,68	7800,00	527,24	5,86	83,38	6,63	101,53	5,14	56,23	5,54	81,85	3,23	2,86	3,69	3,42	13,21
VB45 finale	0,66	7800,00	515,29	5,59	97,29	5,82	106,66	4,88	64,46	4,76	86,41	3,47	3,34	3,98	4,08	14,86

indice de performance global



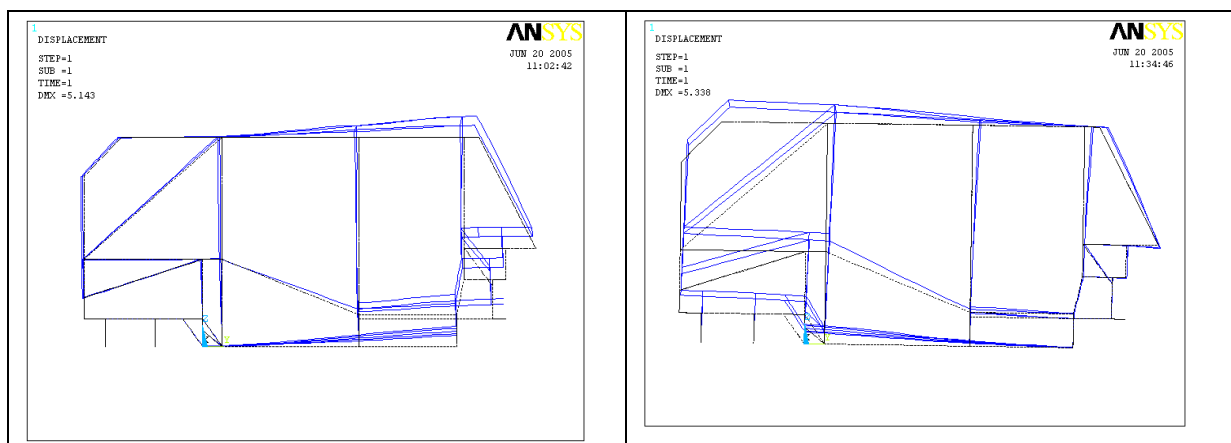
Version finale (VB45) :

Cette version regroupe de nombreuses modifications élaborées et testées au fur et à mesure de l'avancement des travaux. Si l'augmentation de masse n'est pas négligeable, elle n'est rien face au gain en rigidité (cf. indice de performance global). On remarquera que la déformation n'est plus symétrique du fait du renfort latéral placé au niveau de la partie centrale. Il n'y a qu'une seule poutre car il est indispensable d'avoir un accès à bord par le centre pour les passagers. Ce phénomène est moins perceptible dans un cas de charge arrière.



La déformation dissymétrique est encore plus flagrante avec le cas le plus défavorable: la charge sur la roue avant droite. Il faut garder à l'esprit l'allure générale de la structure est exagérée par le logiciel et prendre en compte les chiffres : 5,1 mm, à comparer au 14,6 de la version numéro 1 du départ de l'étude.

Résultat : une flèche divisée par 3 par rapport à la première version du châssis.



Optimisation de la version VB45

La version VB45 nous donne le meilleur indice de performance global tout en respectant les éléments du cahier des charges (accès à bord, vitre latérale non obstruée, etc....). De fait, c'est cette version que nous avons choisi d'optimiser. Pour ce faire, nous avons utilisé le module du logiciel ANSYS spécialement dédié à l'optimisation.

Objectif de l'optimisation

Les modifications successives de la structure nous ont permis d'améliorer pas à pas le comportement du châssis L'étape d'optimisation a pour but de :

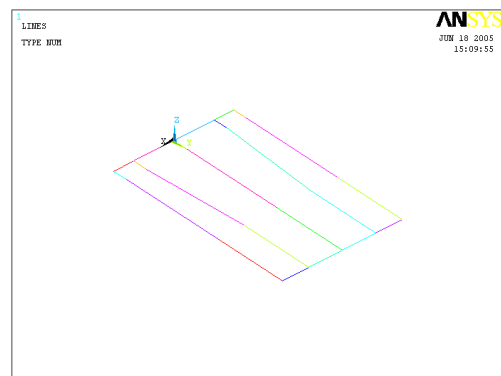
- Améliorer le comportement du châssis en contrainte,
- Uniformiser les sections de poutre,
- Alléger le châssis.

La méthode consiste à chercher à optimiser les sections des poutres pour une valeur de déformation maximum imposée au logiciel. La recherche de la solution optimale nécessite la définition de variables (section des poutres : hauteur, largeur) de conception dont la valeur sera ajustée par itérations.

Chaque type de poutre est référencé, les résultats des calculs vont permettre de proposer une optimisation des poutres de la version VB45.

Terminologie des paramètres :

BT1 : hauteur de la poutre type 1
 HT1 : largeur de la poutre type 1,
 BT2 : hauteur de la poutre type 2,



Exemple de poutre de type 1

Méthodologie d'optimisation :

- Optimisation, cas de charge avant
- Optimisation, cas de charge arrière
- Optimisation, cas de charge 1 roue avant
- Optimisation, cas de charge 1 roue arrière
- Comparaison et synthèse des résultats

Résultats obtenus (sections de poutre)

Pour faciliter la mise en œuvre de l'optimisation, on distingue les variables primaires dont la modification a la plus grande incidence sur le comportement de la structure (longerons, traverses, ...), des variables secondaires dont la modification affecte peu la structure (toit, ...)

Variables primaires						
unité: mm		AV	AV2	AR	1AV	1AR
limite		10	10	11,5	4,5	7,5
UMAX	(SV)	9,9837	10,264	11,278	4,485	7,4614
BT1	(DV)	96,746	113,23	81,682	100	99,906
HT1	(DV)	96,95	87,112	101,33	94,23	99,55
BT2	(DV)	93,89	66,993	101,38	119,8	100,67
HT2	(DV)	100,94	60,572	102,55	96,43	94,16
BT3	(DV)	99,196	89,251	98,624	84,972	57,979
HT3	(DV)	99,9	81,973	98,007	88,834	28,524
BT4	(DV)	82,164	99,529	78,075	99,289	36,915
HT4	(DV)	82,567	100,7	79,115	119,87	68,082
BT5	(DV)	55,44	60,649	57,434	32,374	22,87
HT5	(DV)	52,899	62,128	58,603	61,088	48,03
BT6	(DV)	62,252	93,184	73,627	86,251	76,945
HT6	(DV)	31,971	60	42,111	22,269	44,684
REXT8	(DV)	17,922	10	20,129		14,045

Résultats de l'optimisation des variables principales

Variables secondaires			
unité: mm		AV	AR
UMAX	(SV)	10,94	11,469
BT7	(DV)	44,95	58,541
HT7	(DV)	10	27,838
BT9	(DV)	21,099	27,488
HT9	(DV)	55,899	57,31
BT11	(DV)	47,561	39,625
HT11	(DV)	44,89	39,621
BT12	(DV)	54,989	38,952
HT12	(DV)	36,197	38,666
BT13	(DV)	25,891	38,44
HT13	(DV)	26,926	38,439
BT14	(DV)	36,921	35,838
HT14	(DV)	44,04	35,365
BT15	(DV)	20,167	37,47
HT15	(DV)	15,552	37,447
BT16	(DV)	35,497	39,55
HT16	(DV)	35,932	39,586

Résultats de l'optimisation des variables secondaires

Analyse des résultats

Cas de charge avant :

On note que les valeurs sont assez proches des conditions initiales avant optimisation. Les sections des poutres du plancher et des longerons restent de dimensions relativement importantes par rapport aux autres. On remarque également la légère diminution du rayon de l'arceau, passant de 20 à 18 mm.

Cas de charge arrière :

Les résultats sont en partie similaires à ceux que nous retrouvons pour le cas de charge avant. Les légers écarts se justifient par une sollicitation de nature différente mais aussi par la valeur de la fonction d'état. Plus elle est contraignante, plus importantes seront les dimensions et plus lourde sera la structure.

Cas de charge 1 roue avant :

Initialement de 5,143 mm nous avons choisi d'abaisser le seuil de déformation à 4,5 mm. Nous remarquons à la lecture des chiffres ci-dessous que les dimensions sont notablement supérieures aux simulations précédentes. La limite de 4,5 mm était un peu trop restrictive, occasionnant un surdimensionnement. On note également l'importance des poutres de fixation des longerons arrière par rapport à cette sollicitation.

Cas de charge 1 roue arrière :

Pour la charge sur 1 roue arrière nous avons augmenté la valeur cible de 5,338 à 7,5 mm. Ainsi, les dimensions ont diminué dans leur ensemble. Certaines poutres gardent une certaine constance quel que soit le cas de charge. On remarque surtout une baisse globale des valeurs plus qu'une augmentation radicale des sections les plus sollicitées, sauf pour les fixations des baies de pare brises.

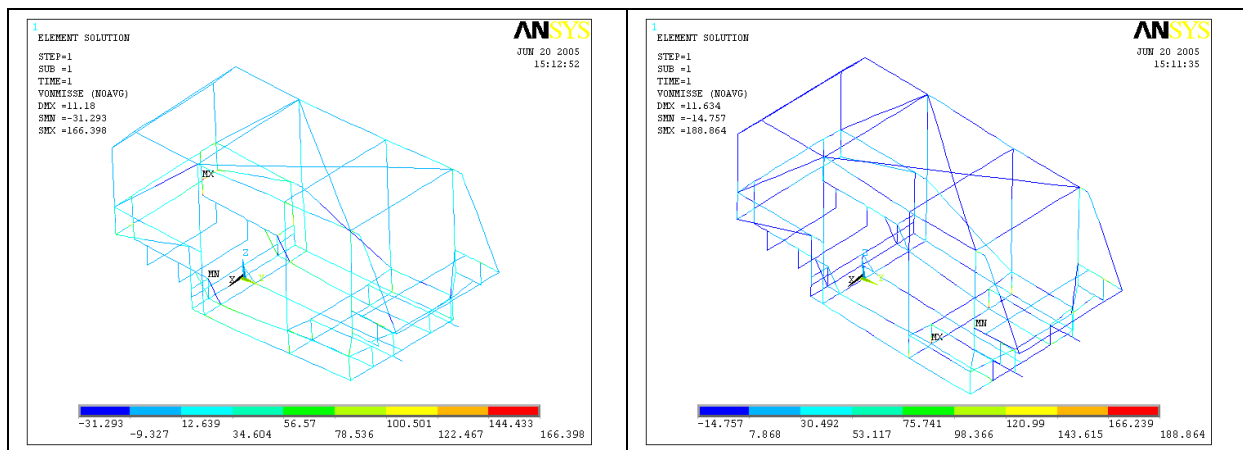
Le résultat de ces calculs nous permettent de distinguer les modifications qui affectent le résultat des essais de celles qui ont un moindre impact. Cela permet de hiérarchiser l'importance des zones à modifier pour la poursuite de l'étude.

Arrondis des variables (sections de poutre)

En faisant la synthèse des ces résultats on obtient un ensemble de valeurs moyennes pour chacune des variables principales. Ces valeurs sont avant tout un compromis entre les différents cas de charge, elles ne représentent donc pas l'optimum pour une situation donnée.

BT1: 90 mm	HT1: 105 mm
BT2: 105 mm	HT2: 105 mm
BT3: 100 mm	HT3: 100 mm
BT4: 80 mm	HT4: 80 mm
BT5: 55 mm	HT5: 55 mm
BT6: 70 mm	HT6: 40 mm
BT7 : 50.000 mm	HT7 : 20.000 mm
BT9 : 25.000 mm	HT9 : 55.000 mm
BT11 : 45.000 mm	HT11 : 40.000 mm
BT12 : 45.000 mm	HT12 : 35.000 mm
BT13 : 30.000 mm	HT13 : 30.000 mm
BT14 : 35.000 mm	HT14 : 40.000 mm
BT15 : 30.000 mm	HT15 : 25.000 mm
BT16 : 35.000 mm	HT16 : 35.000 mm
Rext8: 20 mm	

Tableau des variables après optimisation



VB45 après optimisation

Conclusions et perspectives d'évolution : Essais de RDM

Ces essais de RDM ont permis de progresser efficacement dans l'étude du châssis.

La masse obtenue pour cette configuration est de 515 kg, soit légèrement plus que l'objectif de départ (< 500 kg). Néanmoins, grâce à ces essais, la rigidité est désormais bien meilleure (flèche divisée par 3) par rapport au premier modèle de châssis

Ces résultats donnent des pistes sérieuses pour la poursuite du projet Nanobus.

Dans une prochaine étape, il sera nécessaire de tester des cas de charge en dynamique pour compléter les premiers résultats obtenus en statique.

En complément à cette étude, nous pourrions, avec la société GRUAU, explorer à très court terme, une solution de plancher sandwich nid d'abeille inspirée de celle utilisée pour le Microbus.

Parallèlement, nous souhaitons réunir les conditions pour engager, avec des organismes de recherche et des industriels du secteur des matériaux et de la transformations des matériaux, un projet d'étude et de collaboration (industrie et recherche), si possible dans le cadre d'un pôle de compétitivité.

Objectif du projet de R&D :

- Allègement du véhicule dans une démarche d'éco-conception

Projet qui tiendra compte des spécificités et contraintes relatives au projet Nanobus :

- Petites séries,
- Faibles coûts, ...

Dossier technique préliminaire

Dynamique du véhicule	82
Plate forme envisagée pour le démonstrateur Nanobus	84
Train avant	85
Train arrière	86
Système de direction	87
Modèle Adams	88
Première simulation « à vide »	89
Différentes configurations envisagées	89
Hypothèses pour la version « standard»	90
Hypothèses pour la version « cabine avancée»	91
Pré-dimensionnement de la suspension	92
Couple ressort-amortisseur du train avant	92
Pré-dimensionnement du train arrière	93
Pré-dimensionnement de la barre stabilisatrice	93
Caractéristiques de suspension de 6 configurations différentes	96
Simulation dynamique du modèle S2 (version standard)	102
Simulation en ligne droite (accélération, décélération)	103
Simulation en courbe	105
Conclusions et perspectives d'évolutions : comportement dynamique	107

L'étude de la dynamique du véhicule a pour but de simuler le comportement routier de différentes versions du Nanobus et de déterminer le meilleur compromis (architecture, répartition des masses : position des passagers et des batteries, ...).

Point de départ de l'étude :

- L'architecture du Nanobus : version de base et 'cabine avancée'
- La liaison au sol (trains AV, trains AR, suspensions, ...) du Berlingo de PSA.

Les simulations en dynamique s'effectuent sur le logiciel Adams.

Comme pour l'étude du châssis, deux configurations de véhicule sont envisagées :

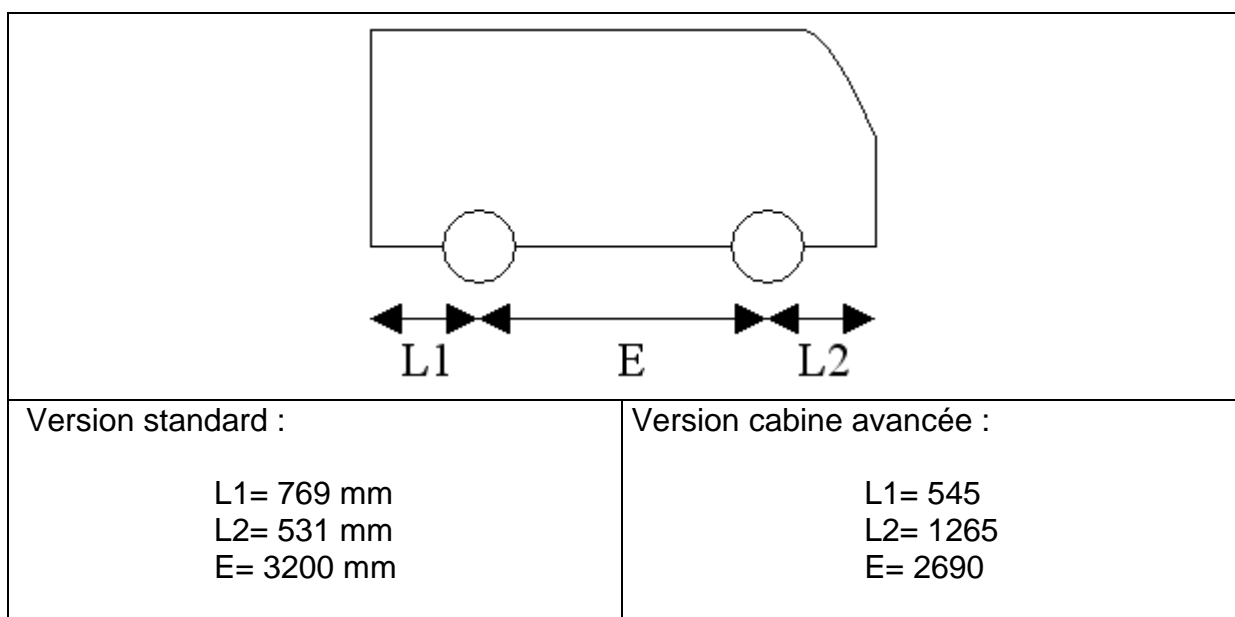
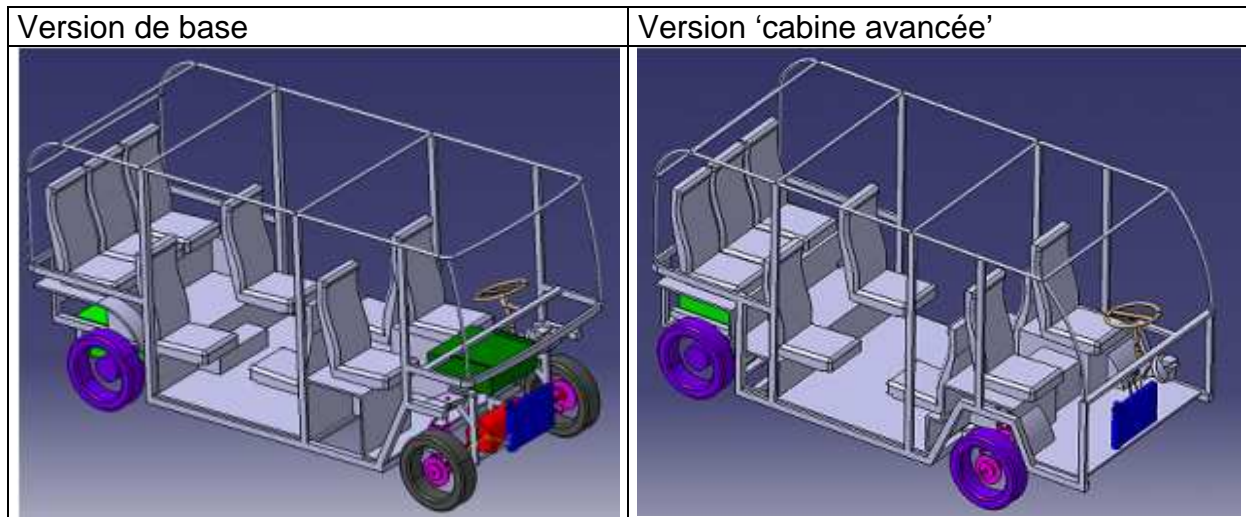
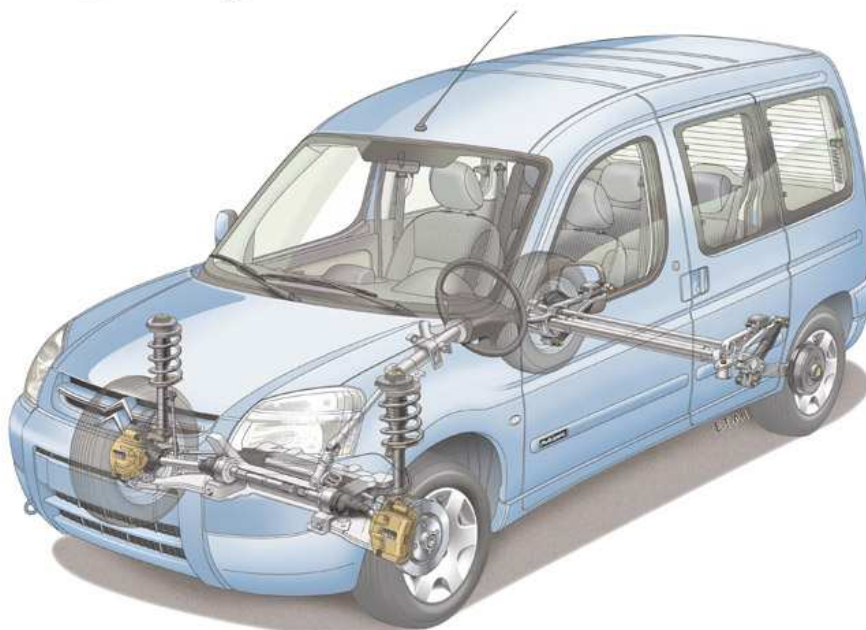


Plate forme envisagée pour le démonstrateur Nanobus : Berlingo Citroën (PSA)

Berlingo



Caractéristiques (Poids, dimensions) :

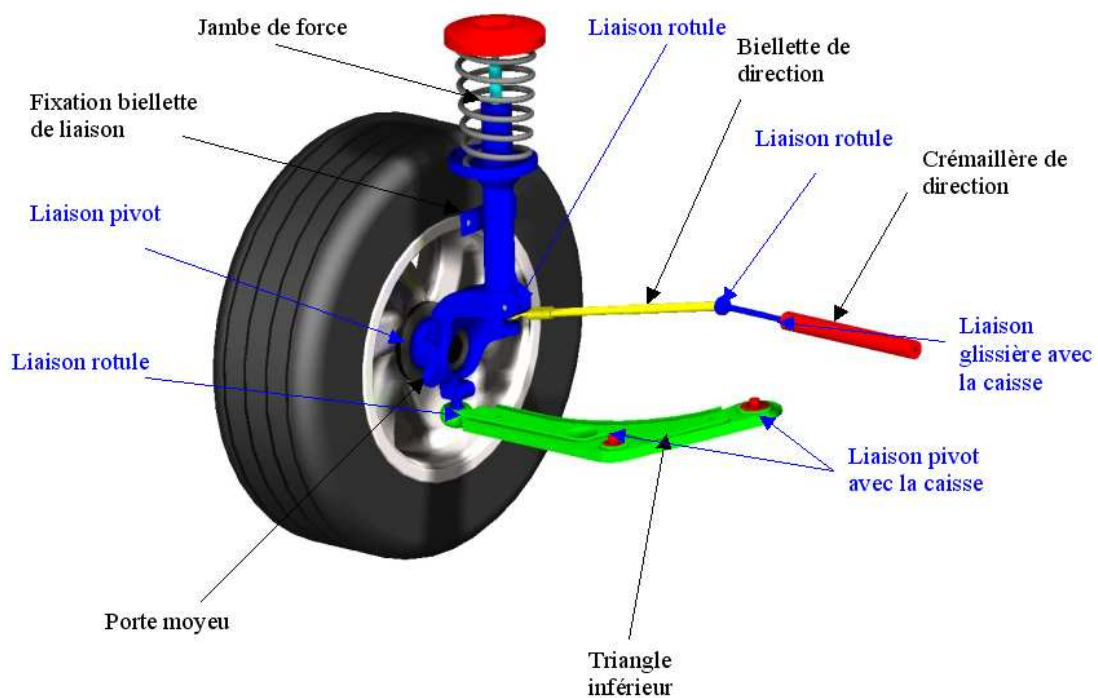
- Longueur hors tout : 4108 mm.
- Largeur hors tout : 1719 mm.
- Hauteur (à vide) : 1802 mm.
- Empattement : 2690 mm.
- Voie avant : 1422 mm.
- Voie arrière : 1440 mm.
- PTAC (maxi) : 1955 Kg.
- PVOM : 1155 Kg.

Performance : Vitesse maximale : 135 Km/h.

Train avant :

Suspension à roues indépendantes de types pseudo Mc-Pherson avec triangle inférieur et barre stabilisatrice.

La suspension est assurée par un couple ressort hélicoïdal et amortisseur, et la barre stabilisatrice est fixée au berceau par des paliers élastiques et liés aux éléments de suspension par des biellettes de liaison.

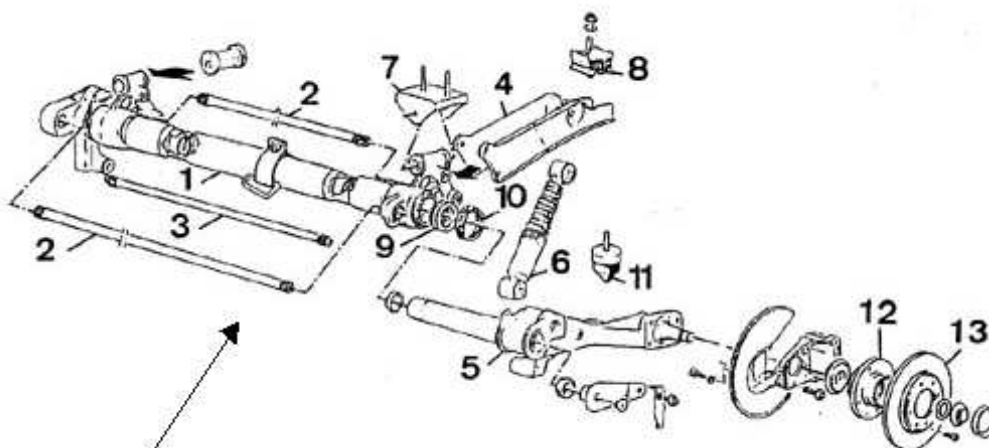


Train arrière :

Suspension à roues indépendantes par bras tiré et barres de torsion transversales avec les amortisseurs hydrauliques horizontaux et la barre stabilisatrice reliant les deux bras de suspension.

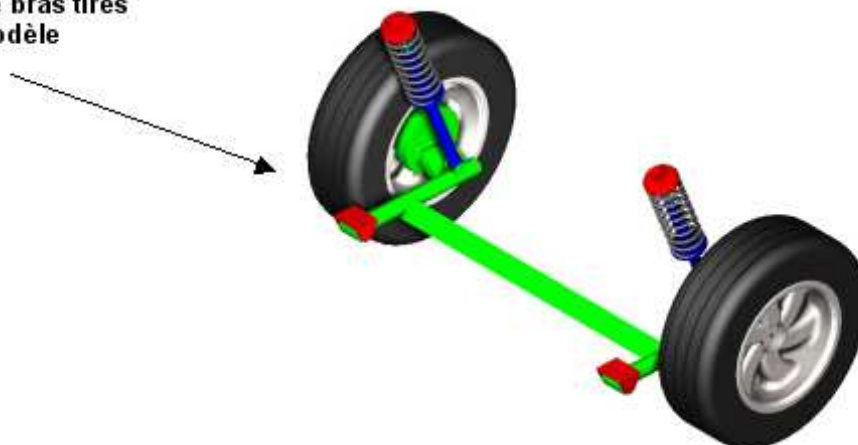
SUSPENSION -TRAIN AR - MOYEUX .

1. Traverse - 2. Barres de torsion - 3. Barre stabilisatrice - 4. Console de maintien - 5. Bras de suspension - 6. Amortisseur - 7. Bride de train AR - 8. Support élastique - 9. Douille à aiguilles - 10. Bague d'étanchéité - 11. Butoir - 12. Moyeu - 13. Disque de frein.



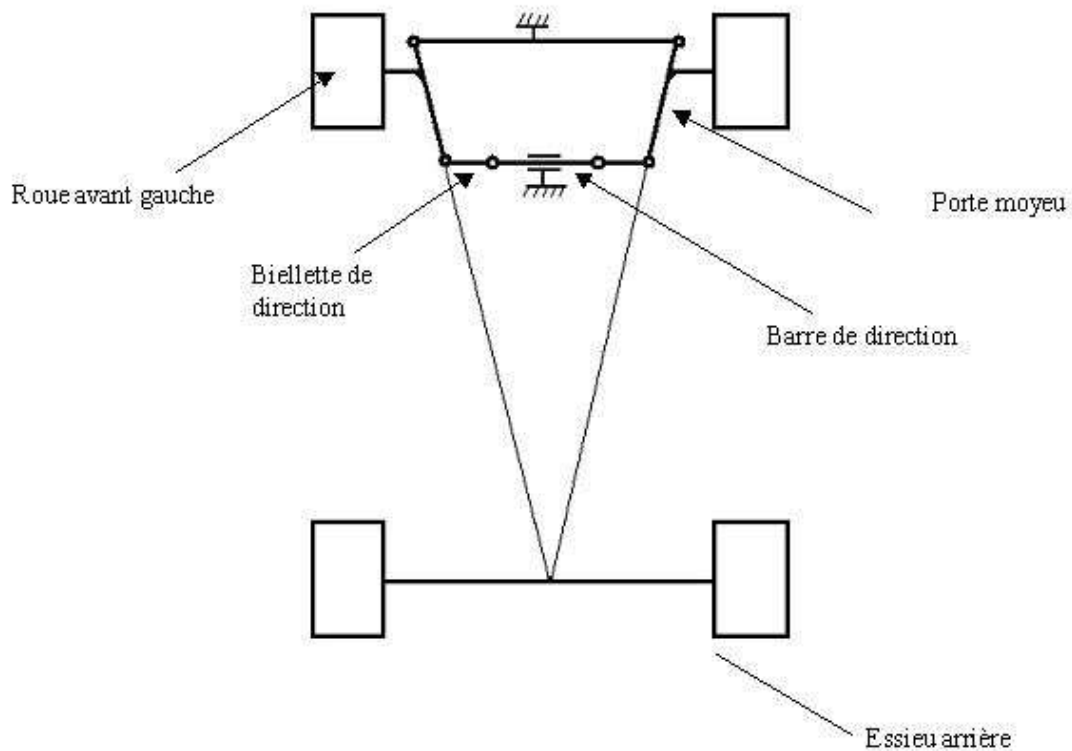
Présentation du type de bras tiré équipant le Berlingo

Présentation du type de bras tirés mis en place dans le modèle



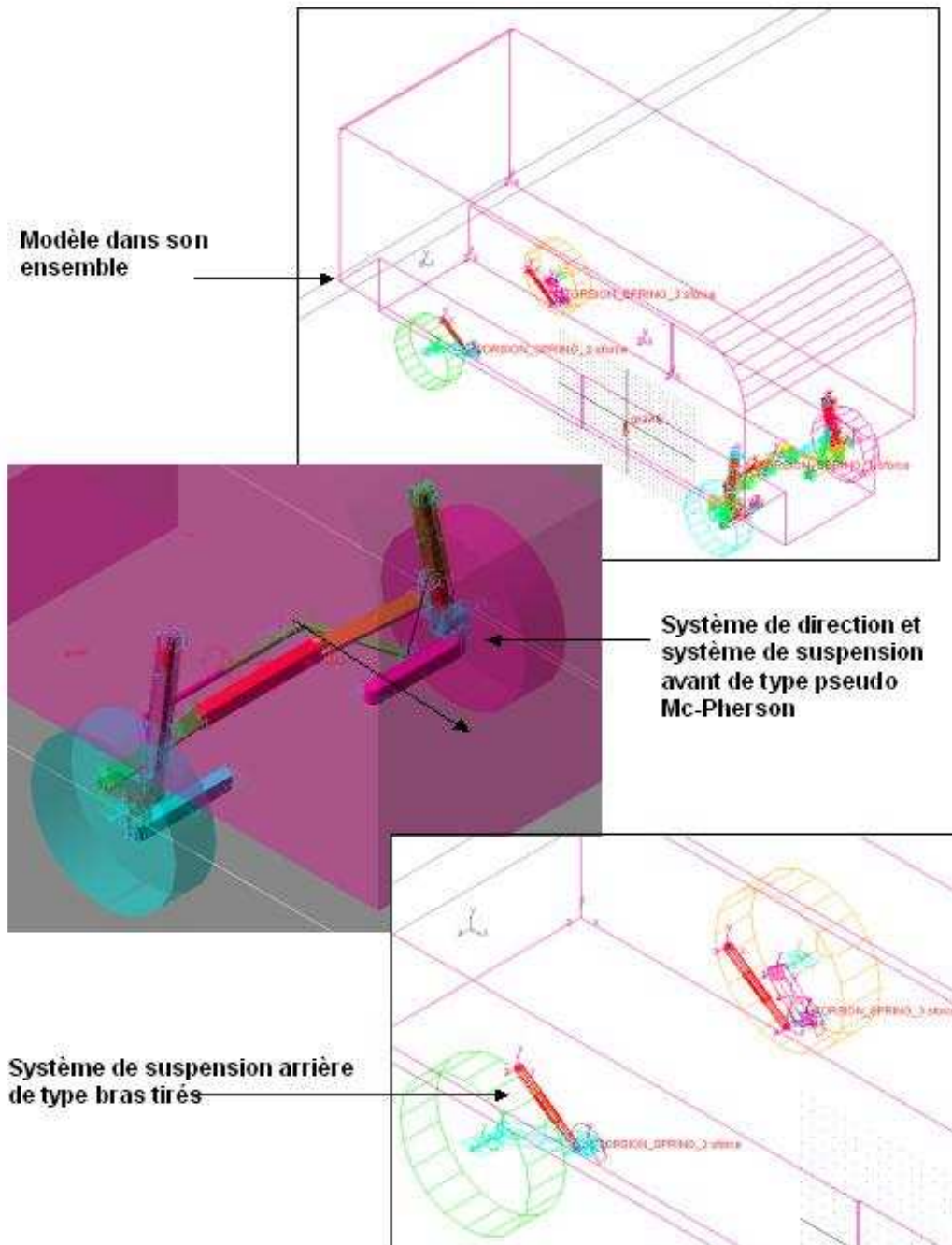
Système de direction :

Afin d'avoir un modèle le plus réaliste possible, nous avons réalisé un système de direction mécanique qui respecte l'épure de Jeantaud. Les prolongements des lignes passant par les pivots et les rotules des bras de direction sont concourants, en ligne droite, au centre de l'axe de l'essieu arrière.



Modèle Adams³

Implantation et dimensionnement (Modélisation) des éléments de direction (bielles de direction et barre de direction) et de suspension.



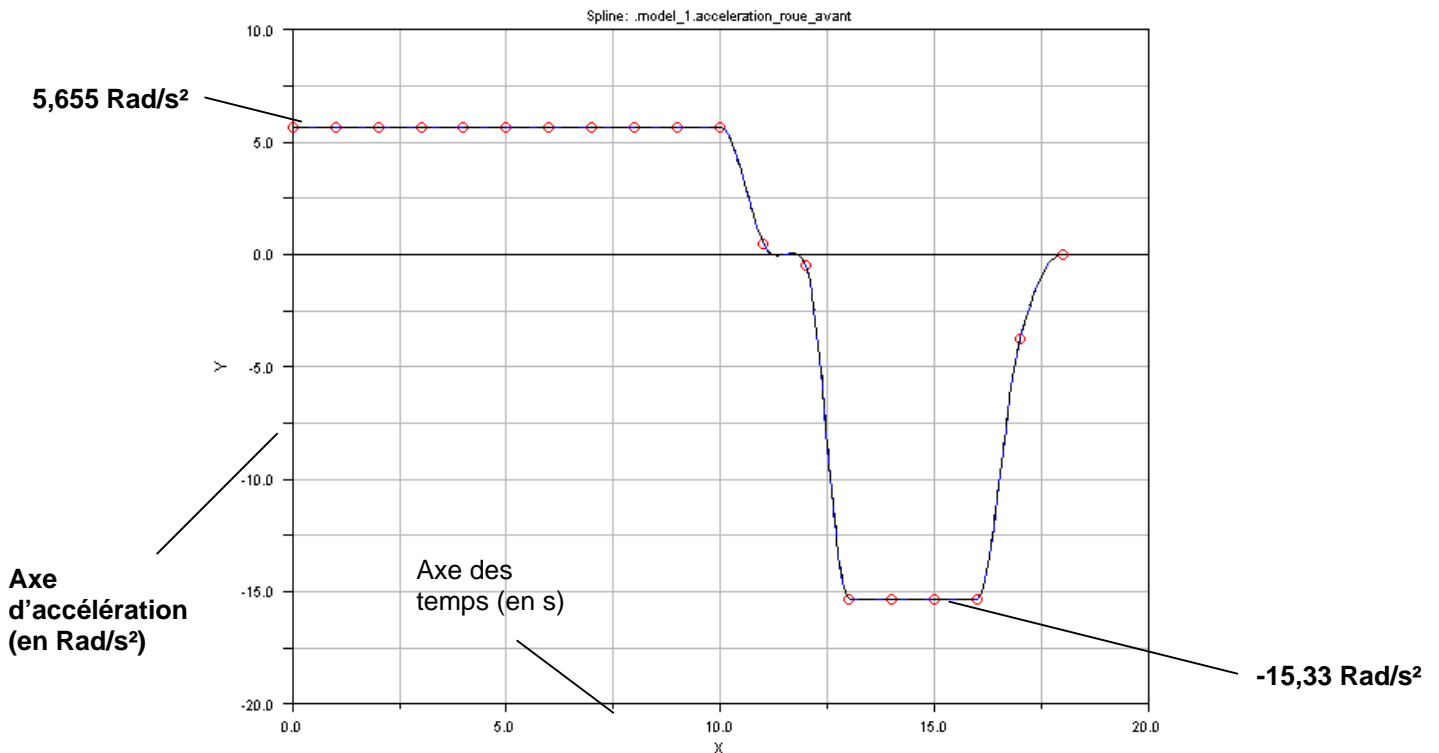
³ Adams est un logiciel que l'on classe dans la catégorie des "solveurs". Il permet entre autre, la création, le développement et la validation de modèles de simulation de stabilités statique et dynamique de plate forme de véhicules.

Première simulation « à vide » :

Le véhicule passe de 0 à 60 Km/h en 10 secondes.

Nous constatons que la courbe d'accélération du véhicule présente le profil que nous souhaitons.

Courbe d'accélération :



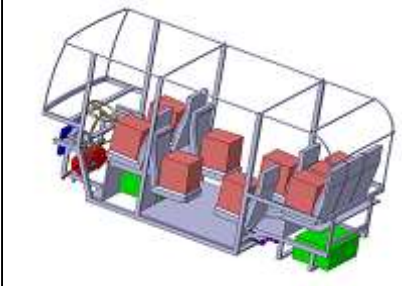
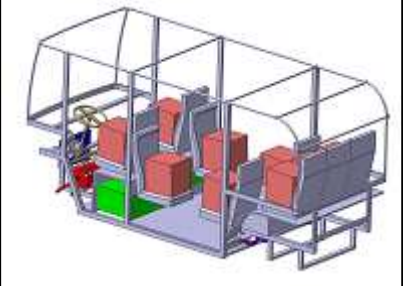

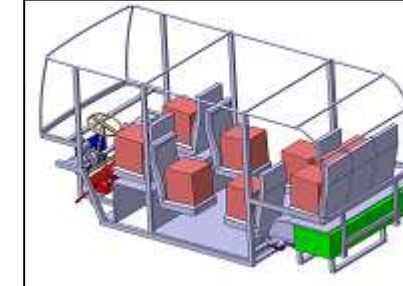
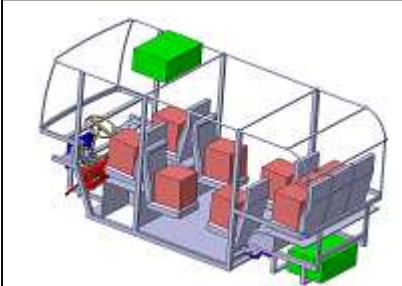
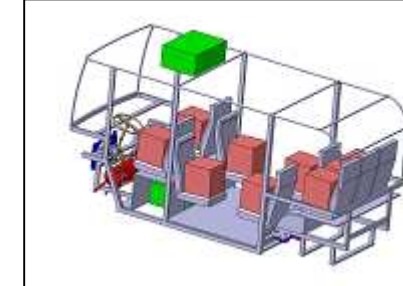
Le modèle ainsi obtenu peut servir de base de travail pour simuler et analyser le comportement routier de différentes configurations de véhicules.

Différentes configurations envisagées

Plusieurs configurations d'aménagements sont possibles, compte tenu :

- des deux versions de Nanobus envisagées,
- de l'emplacement choisi pour les batteries.

Hypothèses pour la version « standard »

<i>Modèle S1</i>		<i>Modèle S2</i>	
			
<i>Modèle S3</i>		<i>Modèle S4</i>	
			
<i>Modèle S5</i>		<i>Modèle S6</i>	
			
<i>Modèle S7</i>			
