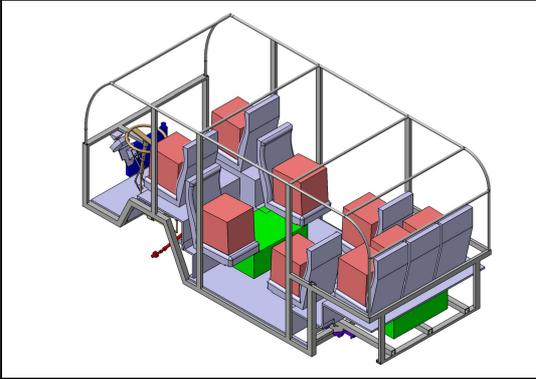
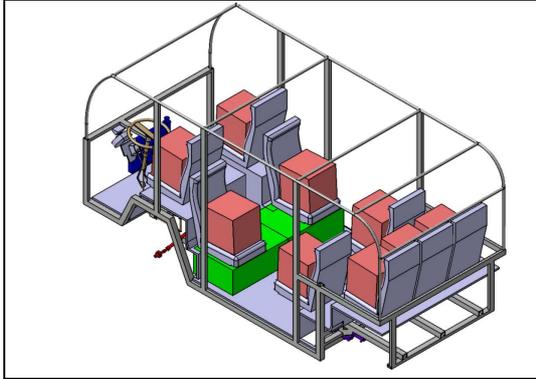
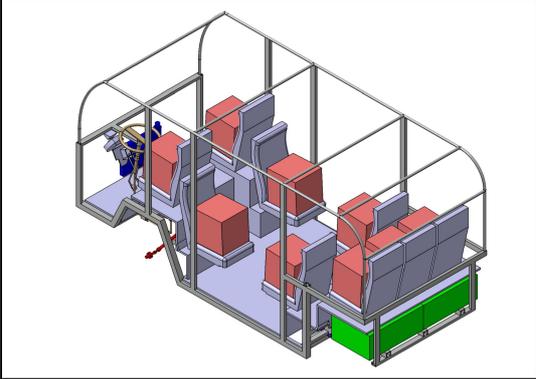
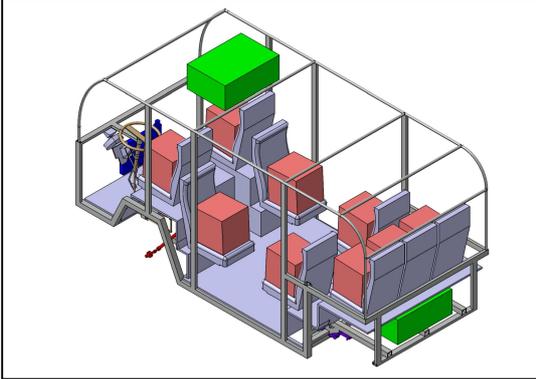
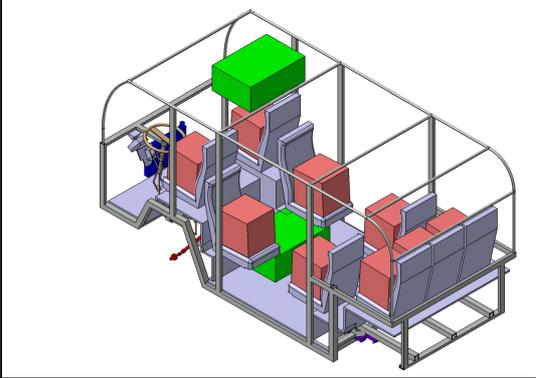
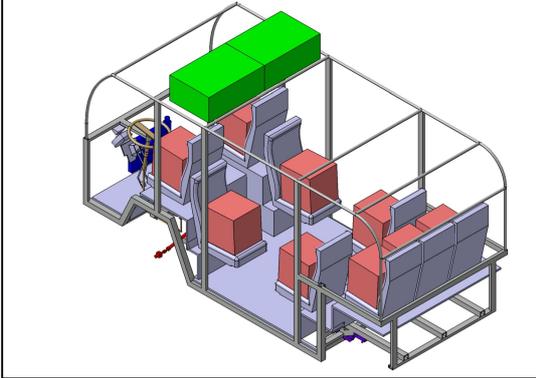


Hypothèses pour la version « cabine avancée »

<p><i>Modèle CA1</i></p> 	<p><i>Modèle CA2</i></p> 
<p><i>Modèle CA3</i></p> 	<p><i>Modèle CA4</i></p> 
<p><i>Modèle CA5</i></p> 	<p><i>Modèle CA6</i></p> 

Parmi toutes ces hypothèses, 6 modèles seront étudiés en priorité

Berlingo	Berlingo Citroën
S1	modèle 1 de la version « standard »
S2	modèle 2 de la version « standard »
S6	modèle 6 de la version « standard »
CA3	modèle 3 de la version « cabine avancée »
CA4	modèle 4 de la version « cabine avancée »

Pré-dimensionnement de la suspension

Il est nécessaire d'obtenir un premier dimensionnement de la liaison au sol avant de lancer les simulations. La méthode calculatoire ci-dessous permettra d'obtenir des valeurs caractéristiques de raideur des ressorts, de coefficient d'amortissement des amortisseurs et de diamètre de la barre stabilisatrice.

Couple ressort-amortisseur du train avant

Pour définir le dimensionnement des éléments d'un couple ressort amortisseur de type jambe de force incliné d'un angle α , nous nous sommes basées sur la méthode de calcul dynamique d'un ensemble masse – ressort – amortisseur.

Pour avoir un bon comportement routier, le véhicule doit avoir une fréquence propre de l'ordre de 1,15 Hz.

En appliquant ces deux principes on obtient les résultats suivant :

$$k = \frac{(2 \cdot \pi \cdot 1,15)^2 \cdot m}{\cos(\alpha)}$$

k étant la raideur du ressort.

M étant la masse suspendue.

α étant l'angle de la jambe de force avec la verticale

Par la suite nous obtenons :

$$c = 2 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{k \cdot m}{\cos(\alpha)}}$$

c étant le coefficient d'amortissement de l'amortisseur.

b étant le taux d'amortissement.

Pour avoir un bon comportement routier il nous faut un coefficient d'amortissement de l'ordre de 0,25

Pré-dimensionnement du train arrière

Ce dimensionnement se base sur le même principe que celui présenté précédemment à la différence près que l'on considère dans les hypothèses de départ que la barre de torsion se comporte comme un ressort à spire situé à la verticale de la masse suspendue et que seul l'amortisseur est incliné par rapport à la verticale d'un angle α .

On obtient alors les résultats suivants :

$$k' = (2 \cdot \pi \cdot 1,15)^2 \cdot m$$

k' étant la raideur équivalente de la barre de torsion
 m étant la masse suspendue.

On obtient la valeur de la raideur de la barre de torsion par le calcul suivant :

$$k = \frac{k' \cdot L \cdot \pi}{\sin^{-1}\left(\frac{1}{L}\right) \cdot 180}$$

k étant la raideur de la barre de torsion
 k' étant la raideur équivalente de la barre de torsion
 L étant la longueur du bras de suspension

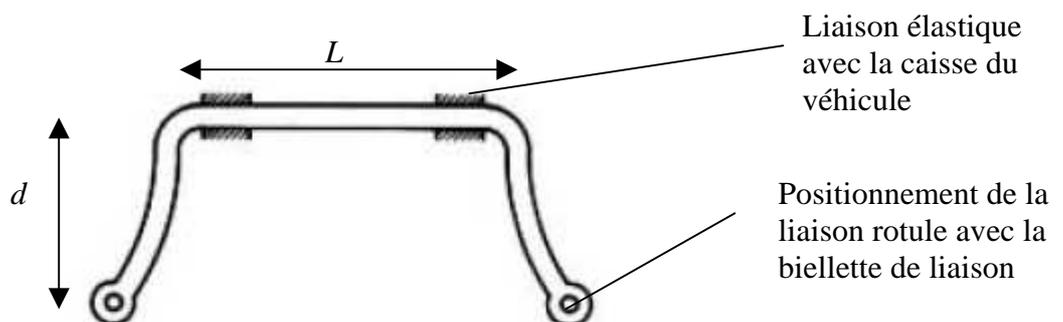
La définition du coefficient d'amortissement se fait de la manière suivante :

$$c = 2 \cdot b \cdot \frac{\sqrt{k \cdot m}}{\cos(\alpha)}$$

c étant le coefficient d'amortissement de l'amortisseur.
 b étant le taux d'amortissement.

Pré-dimensionnement de la barre stabilisatrice

La barre stabilisatrice autrement appelée barre anti-roulis permet d'atténuer le phénomène de roulis de la caisse du véhicule lorsque celui-ci s'inscrit dans une courbe.



Lors d'un virage à droite, par le phénomène de la force centrifuge, la charge sur le coté droit du véhicule sera plus importante que celle du coté gauche. Afin de conserver une certaine stabilité du véhicule, nous prendrons comme critère de stabilité une répartition latérale de charge de 80% de la charge du véhicule avec tous les passagers sur les roues extérieures au virage et 20 % de cette même charge sur les roues intérieures.

De plus, afin de déterminer le pré dimensionnement de la barre stabilisatrice, il nous faut imposer une condition de fonctionnement de notre barre.

Cette condition est la compensation de variation de prise de charge latérale qu'impose la barre stabilisatrice. Afin de déterminer cette compensation de variation de prise de charge latérale, nous prenons comme hypothèse que le combiné ressort amortisseur effectue une course de compression maxi de 200 mm. Nous souhaitons que la barre stabilisatrice compense la variation de charge latérale du véhicule à mi-course du ressort amortisseur soit une course de 100mm.

On pose :

$C_{t.av}$: la charge avant du véhicule avec la totalité des passagers.

Δ_C : La variation de charge latérale avant du véhicule.

M : le moment créé sur la barre stabilisatrice par la variation de prise de charge latérale.

L : La longueur de la barre stabilisatrice.

l : la longueur du déport de la barre stabilisatrice entre la liaison à la caisse et la liaison aux biellettes de liaison.

d : le diamètre de la barre stabilisatrice.

k : la raideur de la barre stabilisatrice.

θ : l'angle de torsion de la barre stabilisatrice sous la variation de hauteur de 100 mm.

θ_u : l'angle de torsion unitaire de la barre stabilisatrice.

G : le module d'élasticité transversal de la barre stabilisatrice.

c : la demie course de l'amortisseur

En ligne droite, la charge sur la roue avant gauche ainsi que sur la roue avant droite est de $0,5 * C_{t.av}$.

En virage à droite en prenant le critère de stabilité imposé un peu plus haut, la charge sur la roue avant gauche est de $0,8 * C_{t.av}$, tandis que la charge sur la roue avant droite n'est plus que de $0,2 * C_{t.av}$.

Nous avons donc eu une variation de charge latérale avant du véhicule de :

$$\Delta_C = 0,3 * C_{t.av}$$

$$M = 0,3 * C_{t.av} * l$$

$$M = k * \theta$$

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{c}{l}\right)$$

$$\text{d'où : } 0,3 * C_{t,av} * l = k * \tan^{-1}\left(\frac{c}{l}\right)$$

$$\text{or : } M = G * \theta_u * I_0$$

$$I_0 = \frac{\pi * d^4}{32}$$

$$\theta_u = \frac{\theta}{L}$$

$$M = G * \frac{\theta}{L} * \frac{\pi * d^4}{32}$$

d'où :

$$0,3 * C_{t,av} * l = G * \frac{\tan^{-1}\left(\frac{c}{l}\right)}{L} * \frac{\pi * d^4}{32}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{0,3 * C_{t,av} * l * L * 32}{G * \tan^{-1}\left(\frac{c}{l}\right) * \pi}}$$

On peut donc désormais déterminer la raideur angulaire associée à la barre de torsion :

$$k * \theta = G * \frac{\theta}{L} * \frac{\pi * d^4}{32}$$

$$k = G * \frac{\pi * d^4}{32 * L}$$

Dans nos calculs nous prendrons $G = 84MPa$ qui est la valeur des aciers à ressort.

Par la suite, nous avons référencé sous Excel les caractéristiques propres à chaque modèle en fonction de sa masse et de sa répartition de charge. Cette méthode de calcul a été également appliquée au Berlingo ce qui peut être une bonne base de travail et de réflexion afin de déterminer le modèle qui se rapproche le plus des caractéristiques du Berlingo ainsi calculé.



01 INDUSTRIE

Caractéristiques de suspension de 6 configurations différentes (en commençant par le Berlingo de Citroën, valeur étalon par rapport au reste de configurations testées)

accélération gravitationnelle (en m/s ²)	9,80665
charge suspendue totale roue avant droite (en Newton)	
charge suspendue totale roue avant gauche (en Newton)	
charge suspendue totale roue arrière droite (en Newton)	
charge suspendue totale roue arrière gauche (en Newton)	
masse suspendue totale avant (en kg)	930
masse suspendue totale arrière (en kg)	1080
charge suspendue à vide roue avant droite (en Newton)	
charge suspendue à vide roue avant gauche (en Newton)	
charge suspendue à vide roue arrière droite (en Newton)	
charge suspendue à vide roue arrière gauche (en Newton)	
masse suspendue à vide avant (en kg)	704
masse suspendue à vide arrière (en kg)	451
Fréquence propre (en Hertz)	1,15
Taux d'amortissement	0,25
Longueur du bras de suspension (en mm)	260
angle d'inclinaison des pivots (en d°)	10,8
angle entre l'amortisseur arrière et la verticale au sol (en d°)	55
Longueur barre stabilisatrice (en mm)	665
déport barre stabilisatrice (en mm)	240
course verticale barre stabilisatrice (en mm)	100
module de coulomb de la barre stabilisatrice (en Pa)	84000
Raideur ressort avant (en Newton/mm)	24,71552531
course du ressort à vide / en charge (en mm)	44,83624731
raideur équivalente à la roue arrière (en Newton/mm)	28,19351193
course du ressort équivalent entre à vide et en charge (en mm)	109,3936588
Variation d'angle bras de suspension en charge/à vide (en d°)	24,88162138
Moment appliqué à un ressort de torsion arrière (en N.mm)	801889,7705
Raideur ressort arrière (en N.mm/d°)	33263,82369
angle axe amortisseur avant / verticale au sol (en d°)	10,8
coefficient amortissement amortisseur avant (en N.s/mm)	1,710280079
angle entre l'amortisseur arrière et la verticale au sol (en d°)	55
coefficient amortissement amortisseur arrière (en N.s/mm)	3,40134098
moment créé sur la barre stabilisatrice avant par la variation de	63480,65264
angle de torsion de la barre stabilisatrice avant lors de la	24,62431835
raideur barre stabilisatrice (en N.mm/d°)	2577,865385
angle de torsion unitaire de la barre stabilisatrice avant (en	0,000646279
diamètre barre stabilisatrice	13,90826747

Berlingo

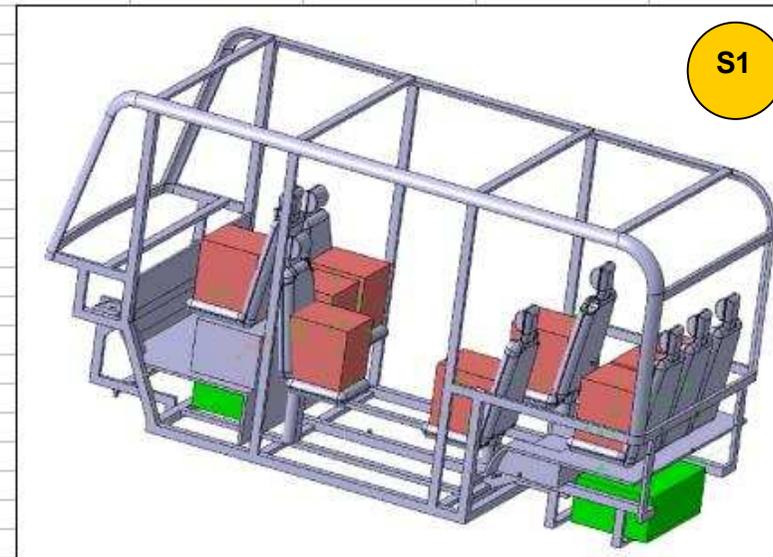




01 INDUSTRIE

accélération gravitationnelle (en m/s ²)	9,80665
charge suspendue totale roue avant droite (en Newton)	2715
charge suspendue totale roue avant gauche (en Newton)	2820
charge suspendue totale roue arrière droite (en Newton)	5385
charge suspendue totale roue arrière gauche (en Newton)	5539
masse suspendue totale avant (en kg)	564,4129239
masse suspendue totale arrière (en kg)	1113,937991
charge suspendue à vide roue avant droite (en Newton)	1888
charge suspendue à vide roue avant gauche (en Newton)	1881
charge suspendue à vide roue arrière droite (en Newton)	3214
charge suspendue à vide roue arrière gauche (en Newton)	3209
masse suspendue à vide avant (en kg)	384,3310407
masse suspendue à vide arrière (en kg)	654,9637236
Fréquence propre (en Hertz)	1,15
Taux d'amortissement	0,25
Longueur du bras de suspension (en mm)	260
angle d'inclinaison des pivots (en d°)	10,8
angle entre l'amortisseur arrière et la verticale au sol (en d°)	55
Longueur barre stabilisatrice (en mm)	665
déport barre stabilisatrice (en mm)	240
course verticale barre stabilisatrice (en mm)	100
module de coulomb de la barre stabilisatrice (en Pa)	84000

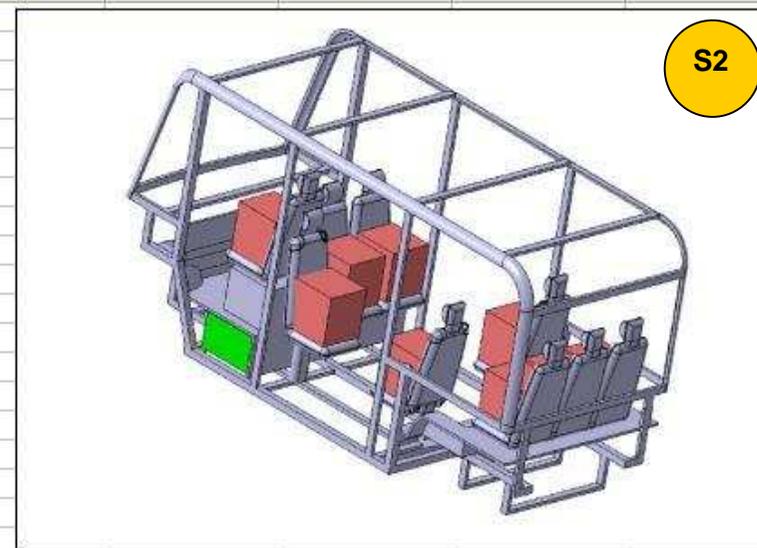
Raideur ressort avant (en Newton/mm)	14,99974459
course du ressort à vide / en charge (en mm)	58,86766903
raideur équivalente à la roue arrière (en Newton/mm)	29,07946671
course du ressort équivalent entre à vide et en charge (en mm)	77,391378
Variation d'angle bras de suspension en charge/à vide (en d°)	17,31706013
Moment appliqué à un ressort de torsion arrière (en N.mm)	585130
Raideur ressort arrière (en N mm/d°)	34309,10627
angle axe amortisseur avant / verticale au sol (en d°)	10,8
coefficient amortissement amortisseur avant (en N s/mm)	1,037949345
angle entre l'amortisseur arrière et la verticale au sol (en d°)	55
coefficient amortissement amortisseur arrière (en N s/mm)	3,606224947
moment créé sur la barre stabilisatrice avant par la variation de angle de torsion de la barre stabilisatrice avant lors de la	38526,12986
angle de torsion de la barre stabilisatrice avant lors de la	24,62431835
raideur barre stabilisatrice (en N mm/d°)	1564,556196
angle de torsion unitaire de la barre stabilisatrice avant (en	0,000646279
diamètre barre stabilisatrice	12,2758489



Cas avec tous les passagers		Cas du véhicule à vide	
Masse	1678,719	Masse	1039,359
XG	-404,704	XG	-297,786
YG	805,425	YG	684,206
ZG	-11,391	ZG	0,706
lxx	609,384	lxx	428,844
lyy	2866,657	lyy	1983,168
lzz	2844,462	lzz	2029,053
lxy	32,269	lxy	-6,614
lxz	17,188	lxz	4,844
lyz	20,058	lyz	6,392



accélération gravitationnelle (en m/s ²)	9,80665
charge suspendue totale roue avant droite (en Newton)	3531
charge suspendue totale roue avant gauche (en Newton)	3651
charge suspendue totale roue arrière droite (en Newton)	4568
charge suspendue totale roue arrière gauche (en Newton)	4707
masse suspendue totale avant (en kg)	732,3601842
masse suspendue totale arrière (en kg)	945,7867875
charge suspendue à vide roue avant droite (en Newton)	2709
charge suspendue à vide roue avant gauche (en Newton)	2704
charge suspendue à vide roue arrière droite (en Newton)	2391
charge suspendue à vide roue arrière gauche (en Newton)	2386
masse suspendue à vide avant (en kg)	551,9723861
masse suspendue à vide arrière (en kg)	487,1184349
Fréquence propre (en Hertz)	1,15
Taux d'amortissement	0,25
Longueur du bras de suspension (en mm)	260
angle d'inclinaison des pivots (en d°)	10,8
angle entre l'amortisseur arrière et la verticale au sol (en d°)	55
Longueur barre stabilisatrice (en mm)	665
déport barre stabilisatrice (en mm)	240
course verticale barre stabilisatrice (en mm)	100
module de coulomb de la barre stabilisatrice (en Pa)	84000

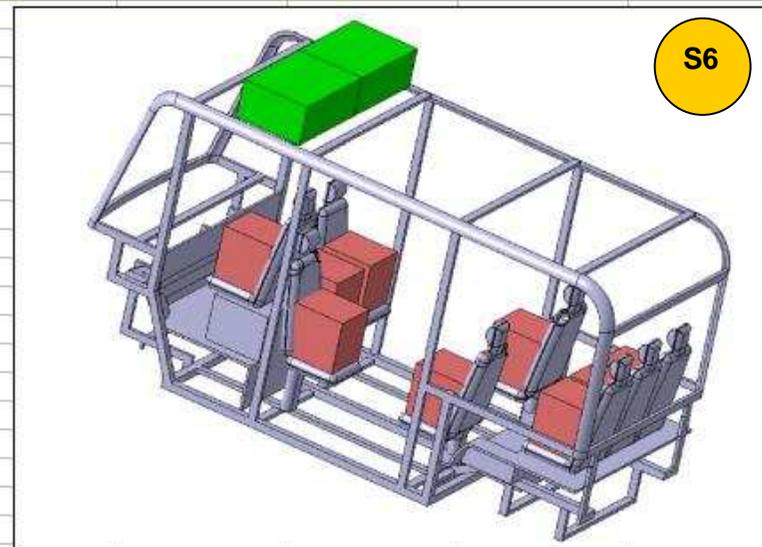


raideur ressort avant (en Newton/mm)	15,46306322
course du ressort à vide / en charge (en mm)	45,4450094
raideur équivalente à la roue arrière (en Newton/mm)	24,68986211
course du ressort équivalent entre à vide et en charge (en mm)	91,09001864
Variation d'angle bras de suspension en charge/à vide (en d°)	20,50849327
Moment appliqué à un ressort de torsion arrière (en N.mm)	584740
raideur ressort amorti (en N/mm/d°)	201,29,07066
angle axe amortisseur avant / verticale au sol (en d°)	10,8
coefficient amortissement amortisseur avant (en N.s/mm)	1,346802586
angle entre l'amortisseur arrière et la verticale au sol (en d°)	55
coefficient amortissement amortisseur arrière (en N.s/mm)	2,973851258
moment créé sur la barre stabilisatrice avant par la variation de angle de torsion de la barre stabilisatrice avant lors de la	49990,00264
raideur barre stabilisatrice (en N.mm/d°)	2,30,1071,84
angle de torsion unitaire de la barre stabilisatrice avant (en	0,000646279
diamètre barre stabilisatrice	13,1018758

	Cas avec tous les passagers	Cas du véhicule à vide
Masse	1678,719	1039,359
XG	-84,813	218,884
YG	808,999	689,978
ZG	-11,391	0,706
Ixx	661,713	482,614
Iyy	2627,337	1523,345
Izz	2542,881	1508,411
Ixy	256,268	156,111
Ixz	11,071	5,223
Iyz	20,789	6,396



accélération gravitationnelle (en m/s ²)	9,80665
charge suspendue totale roue avant droite (en Newton)	3531
charge suspendue totale roue avant gauche (en Newton)	3651
charge suspendue totale roue arrière droite (en Newton)	4568
charge suspendue totale roue arrière gauche (en Newton)	4707
masse suspendue totale avant (en kg)	732,3601842
masse suspendue totale arrière (en kg)	945,7867875
charge suspendue à vide roue avant droite (en Newton)	2709
charge suspendue à vide roue avant gauche (en Newton)	2704
charge suspendue à vide roue arrière droite (en Newton)	2391
charge suspendue à vide roue arrière gauche (en Newton)	2386
masse suspendue à vide avant (en kg)	551,9723861
masse suspendue à vide arrière (en kg)	487,1184349
Fréquence propre (en Hertz)	1,15
Taux d'amortissement	0,25
Longueur du bras de suspension (en mm)	260
angle d'inclinaison des pivots (en d°)	10,8
angle entre l'amortisseur arrière et la verticale au sol (en d°)	55
Longueur barre stabilisatrice (en mm)	665
déport barre stabilisatrice (en mm)	240
course verticale barre stabilisatrice (en mm)	100
module de coulomb de la barre stabilisatrice (en Pa)	84000

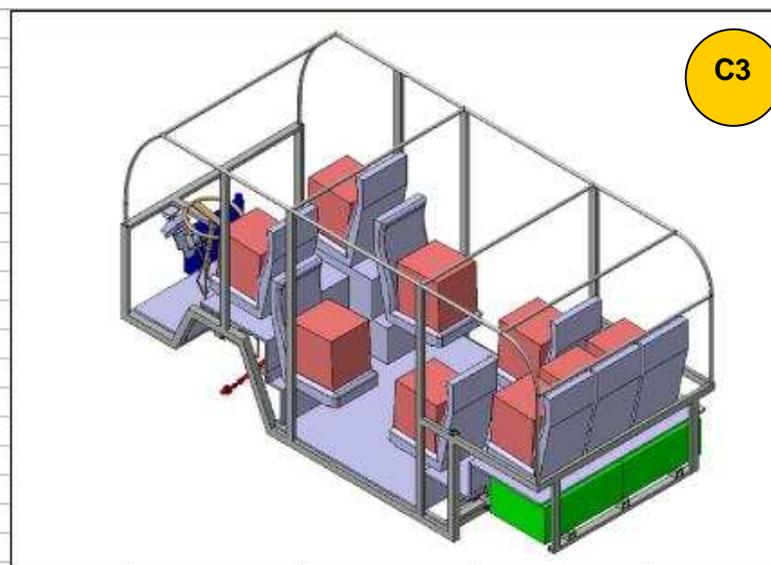


Raideur ressort avant (en Newton/mm)	19,46308322
course du ressort à vide / en charge (en mm)	45,4450094
raideur équivalente à la roue arrière (en Newton/mm)	24,68986211
course du ressort équivalent entre à vide et en charge (en mm)	91,09001864
Variation d'angle bras de suspension en charge/à vide (en d°)	20,50849327
Moment appliqué à un ressort de torsion arrière (en N.mm)	584740
Raideur ressort arrière (en N.mm/d°)	29130,07365
angle axe amortisseur avant / verticale au sol (en d°)	10,8
Coefficient amortissement amortisseur avant (en N.s/mm)	1,346802566
angle entre l'amortisseur arrière et la verticale au sol (en d°)	55
Coefficient amortissement amortisseur arrière (en N.s/mm)	2,978651358
moment créé sur la barre stabilisatrice avant par la variation de angle de torsion de la barre stabilisatrice avant lors de la	49990,00264
angle de torsion de la barre stabilisatrice avant lors de la	24,62431835
Raideur barre stabilisatrice (en N.mm/d°)	2050,107064
angle de torsion unitaire de la barre stabilisatrice avant (en	0,000646279
diamètre barre stabilisatrice	13,1018758

	Cas avec tous les passagers	Cas du véhicule à vide
Masse	1678,719	1039,359
XG	-84,813	218,884
YG	1302,828	1487,585
ZG	-11,391	0,706
Ixx	1306,373	1072,779
Iyy	2627,337	1523,345
Izz	3187,541	2098,576
Ixy	-487,227	-337,619
Ixz	11,071	5,223
Iyz	11,346	6,981



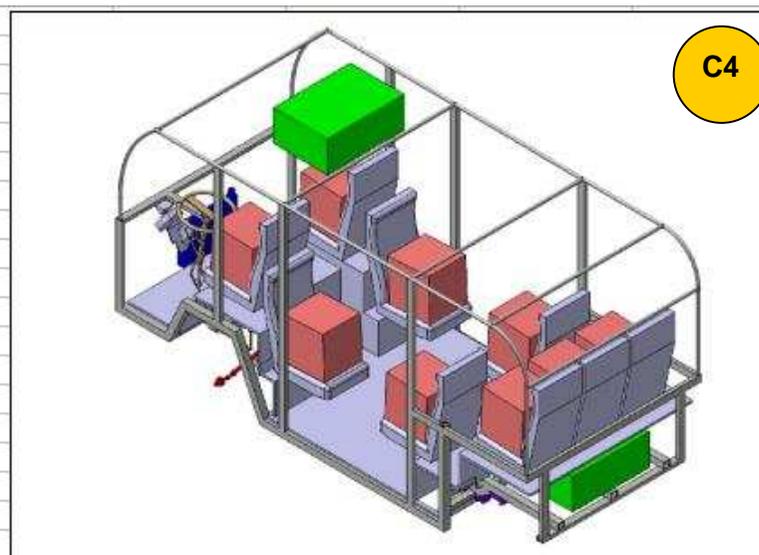
accélération gravitationnelle (en m/s ²)	9,80665
charge suspendue totale roue avant droite (en Newton)	3361
charge suspendue totale roue avant gauche (en Newton)	3450
charge suspendue totale roue arrière droite (en Newton)	5273
charge suspendue totale roue arrière gauche (en Newton)	5388
masse suspendue totale avant (en kg)	694,5287127
masse suspendue totale arrière (en kg)	1087,119455
charge suspendue à vide roue avant droite (en Newton)	1990
charge suspendue à vide roue avant gauche (en Newton)	2078
charge suspendue à vide roue arrière droite (en Newton)	3505
charge suspendue à vide roue arrière gauche (en Newton)	3628
masse suspendue à vide avant (en kg)	414,8205554
masse suspendue à vide arrière (en kg)	727,3635747
Fréquence propre (en Hertz)	1,15
Taux d'amortissement	0,25
Longueur du bras de suspension (en mm)	260
angle d'inclinaison des pivots (en d°)	10,8
angle entre l'amortisseur arrière et la verticale au sol (en d°)	55
Longueur barre stabilisatrice (en mm)	665
déport barre stabilisatrice (en mm)	240
course verticale barre stabilisatrice (en mm)	100
module de coulomb de la barre stabilisatrice (en Pa)	84000
Raideur ressort avant (en Newton/mm)	18,45763029
course du ressort à vide / en charge (en mm)	74,30511194
raideur équivalente à la roue arrière (en Newton/mm)	28,37936603
course du ressort équivalent entre à vide et en charge (en mm)	62,15783671
Variation d'angle bras de suspension en charge/à vide (en d°)	13,83157507
Moment appliqué à un ressort de torsion arrière (en N.mm)	458640
Raideur ressort arrière (en N.mm/d°)	33483,10173
angle axe amortisseur avant / verticale au sol (en d°)	10,8
Coefficient amortissement amortisseur avant (en N.s/mm)	1,277230694
angle entre l'amortisseur arrière et la verticale au sol (en d°)	55
Coefficient amortissement amortisseur arrière (en N.s/mm)	3,423762917
moment créé sur la barre stabilisatrice avant par la variation de angle de torsion de la barre stabilisatrice avant lors de la	47407,67307
angle de torsion de la barre stabilisatrice avant lors de la	24,62431835
Raideur barre stabilisatrice (en N.mm/d°)	1825,237968
angle de torsion unitaire de la barre stabilisatrice avant (en	0,000646279
diamètre barre stabilisatrice	12,9292951



Cas avec tous les passagers		Cas du véhicule à vide	
Masse	1781,909	Masse	1142,549
XG	-656,288	XG	-728,07
YG	840,418	YG	725,394
ZG	-8,35	ZG	-13,463
Ixx	615,394	Ixx	413,215
Iyy	3161,57	Iyy	2301,385
Izz	2974,947	Izz	2184,804
Ixy	-21,381	Ixy	-4,36
Ixz	35,081	Ixz	35,718
Iyz	0,269	Iyz	2,191



accélération gravitationnelle (en m/s ²)	9,80665
charge suspendue totale roue avant droite (en Newton)	4234
charge suspendue totale roue avant gauche (en Newton)	4334
charge suspendue totale roue arrière droite (en Newton)	4398
charge suspendue totale roue arrière gauche (en Newton)	4500
masse suspendue totale avant (en kg)	873,6928513
masse suspendue totale arrière (en kg)	907,3434863
charge suspendue à vide roue avant droite (en Newton)	2861
charge suspendue à vide roue avant gauche (en Newton)	2967
charge suspendue à vide roue arrière droite (en Newton)	2635
charge suspendue à vide roue arrière gauche (en Newton)	2738
masse suspendue à vide avant (en kg)	594,2906089
masse suspendue à vide arrière (en kg)	547,8935212
Fréquence propre (en Hertz)	1,15
Taux d'amortissement	0,25
Longueur du bras de suspension (en mm)	260
angle d'inclinaison des pivots (en d°)	10,8
angle entre l'amortisseur arrière et la verticale au sol (en d°)	55
Longueur barre stabilisatrice (en mm)	665
déport barre stabilisatrice (en mm)	240
course verticale barre stabilisatrice (en mm)	100
module de coulomb de la barre stabilisatrice (en Pa)	84000



Raideur ressort avant (en Newton/mm)	23,21911663
course du ressort à vide / en charge (en mm)	59,00310551
raideur équivalente à la roue arrière (en Newton/mm)	23,68629575
course du ressort équivalent entre à vide et en charge (en mm)	74,4101154
Variation d'angle bras de suspension en charge/à vide (en d°)	16,63015827
Moment appliqué à un ressort de torsion arrière (en N.mm)	458250
Raideur ressort arrière (en N.mm/d°)	27946,03135
angle axe amortisseur avant / verticale au sol (en d°)	10,8
Coefficient amortissement amortisseur avant (en N.s/mm)	1,806711634
angle entre l'amortisseur arrière et la verticale au sol (en d°)	55
Coefficient amortissement amortisseur arrière (en N.s/mm)	2,862578317
moment créé sur la barre stabilisatrice avant par la variation de angle de torsion de la barre stabilisatrice avant lors de la	59637,19614
raideur barre stabilisatrice (en N.mm/d°)	2421,882112
angle de torsion unitaire de la barre stabilisatrice avant (en	0,000646279
diamètre barre stabilisatrice	13,69279141

Cas avec tous les passagers		Cas du véhicule à vide	
Masse	1781,909	Masse	1142,549
XG	-385,278	XG	-305,404
YG	1025,019	YG	1013,297
ZG	-8,294	ZG	-13,376
Ixx	914,531	Ixx	754,045
Iyy	2925,993	Iyy	2061,901
Izz	3153,094	Izz	2400,735
Ixy	-222,297	Ixy	-234,549
Ixz	31,202	Ixz	29,377
Iyz	-2,44	Iyz	-2,201



A l'issue de ces calculs préliminaires, nous pouvons déjà faire un premier tri pour distinguer le véhicule le plus apte à recevoir les suspensions de Berlingo.

En appliquant les mêmes essais à toutes les versions du Nanobus, un premier choix s'oriente sur le modèle S2.

Cette version possède en effet les valeurs caractéristiques de suspension (notamment suspension AV) les plus proches de celles du Berlingo. De plus sa répartition de masse avant / arrière en charge totale proche du 50 / 50 lui procure de base une bonne stabilité.

Les premiers essais en dynamique seront donc réalisés sur ce modèle.

Simulation dynamique du modèle S2 (version standard)

Simulation en deux parties :

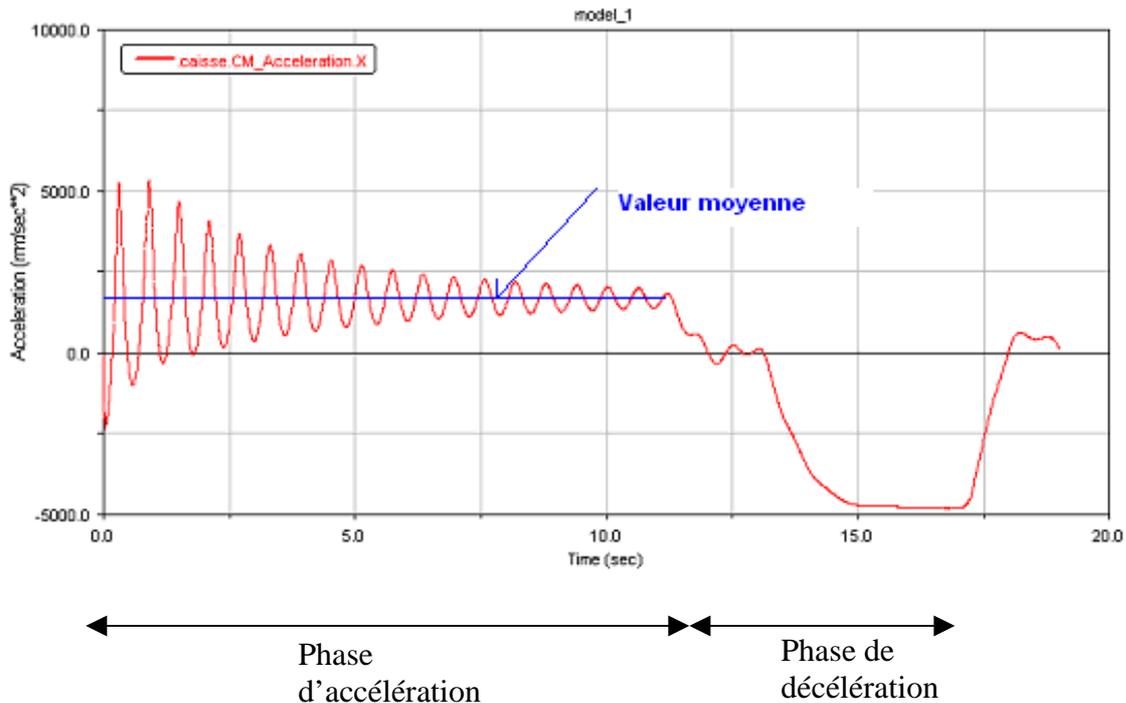
- a) Dans un premier temps le modèle avec la totalité des passagers va évoluer en ligne droite.
- b) Dans un deuxième temps le modèle avec les passagers positionnés uniquement sur le côté gauche va suivre une courbe vers la droite au début en accélération puis à vitesse constante.

Ces simulations vont permettre d'évaluer la base du comportement routier du véhicule.

A noter que, dans les deux simulations, nous avons affecté à la barre stabilisatrice une raideur équivalente à celle qui équipe en standard le véhicule Berlingo de PSA (diamètre 21 mm) et non celle calculée précédemment.

Simulation en ligne droite (accélération, décélération)

Courbe d'accélération du véhicule selon son axe d'évolution.

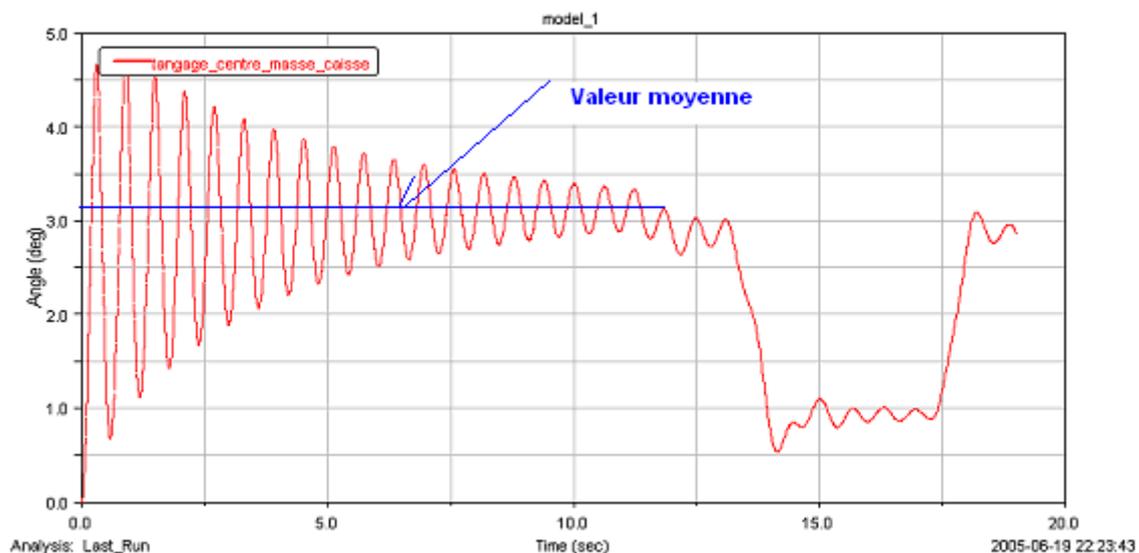


Les oscillations que l'on observe sont la représentation d'un système de deuxième ordre et sont accentuées par le fait que le train arrière est un bras tiré qui est caractérisé par le phénomène de Brouille.

Le phénomène de Brouille est un mouvement horizontal parasite dans le fonctionnement de la suspension qui donne des à-coups lors des grands débattements.

Cette courbe nous permet néanmoins de vérifier que le modèle fonctionne bien, en effet la valeur moyenne que l'on observe sur la phase d'accélération est bien identique à la valeur de consigne que nous avons imposé au mouvement des roues.

La deuxième courbe représente d'évolution de l'angle de tangage du véhicule au niveau du centre de gravité de la caisse.



Cette courbe suit la même évolution que celle de l'accélération du véhicule et cela pour les mêmes causes, cela nous confirme que nous devons réaliser une modélisation en partant d'une position d'équilibre.

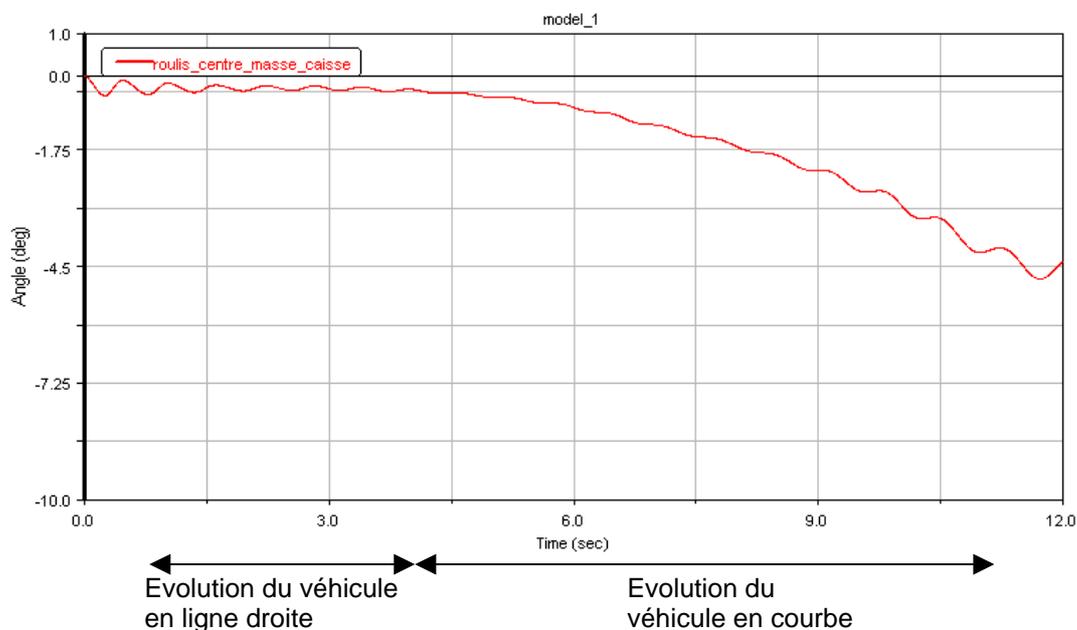
La plongée du véhicule lors de la décélération est tout à fait normal. La variation d'angle de 2° que subit la caisse lors du freinage est relativement faible. Cela équivaut à une variation de hauteur d'environ 7 cm pour un passager situé à 2 m en avant ou en arrière du centre de gravité.

A l'issue de cette première simulation, nous pouvons conclure que le comportement global du véhicule est satisfaisant.

Simulation en courbe

La deuxième simulation se déroule avec une disposition des passagers sur le côté gauche du véhicule alors que celui-ci va évoluer sur une courbe à droite. Ces conditions sont imposées afin de solliciter au maximum nos suspensions et notamment la barre stabilisatrice.

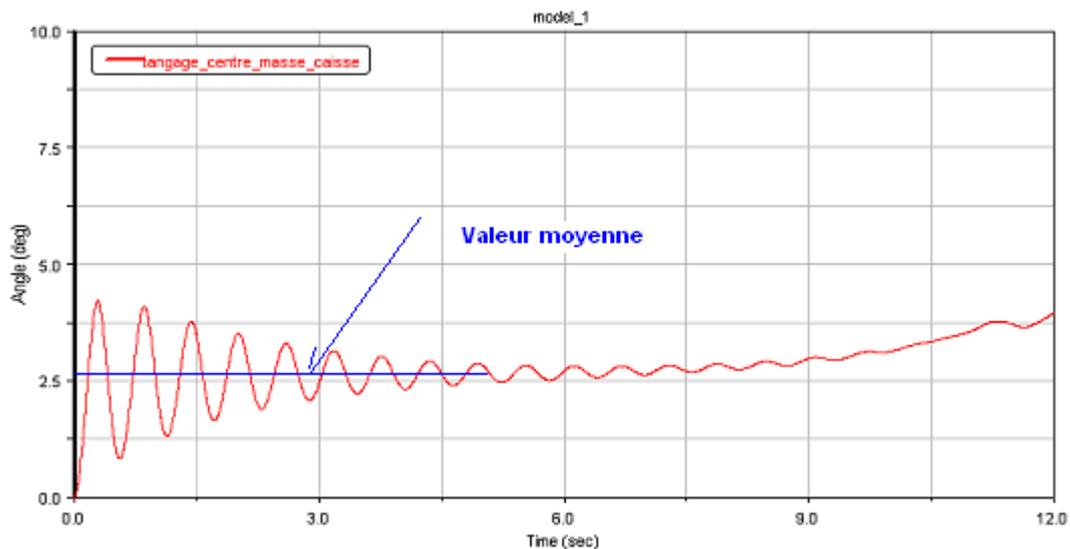
La première courbe obtenue représente l'évolution de l'angle de roulis du véhicule pris au centre de gravité de la caisse.



Nous observons sur cette courbe que la prise de roulis se fait réellement après l'entrée dans le virage. Cette prise de roulis de l'ordre de 5° pour un véhicule de ce type et à une vitesse de 60 Km/H est tout à fait correct.

Cette simulation démontre que le comportement du véhicule est convenable, notamment grâce à la présence de la barre stabilisatrice.

La deuxième courbe présente la prise de tangage du véhicule au niveau du centre de gravité de la caisse.



L'observation de cette courbe nous permet de vérifier que le comportement du véhicule est correct.

En effet, lors du virage on constate que les oscillations de tangage tendent à disparaître ce qui permet d'assurer un bon contact au sol en évitant de provoquer des variations de prise de charge avant / arrière qui serait nuisible à l'évolution du véhicule dans la courbe.

Conclusions et perspectives d'évolutions de l'étude du comportement dynamique

Les résultats de l'étude du comportement dynamique du véhicule nous permettent de connaître les caractéristiques des différents éléments qui composent la liaison au sol (ressorts AV, amortisseurs AV et AR, barres de torsion, barre stabilisatrice avant) pour chacun des 6 modèles de véhicule envisagés.

L'étude du comportement dynamique de la version S2 pré-figure un comportement routier sain.

Comme les paramètres de la version S2 sont assez proches des valeurs du Berlingo de PSA, nous pouvons en déduire que la liaison au sol du véhicule conviendrait au Nanobus, au moins pour le démonstrateur technique.

Néanmoins, compte tenu du PTAC du Nanobus (2100 kg) , nous n'excluons pas d'utiliser la liaison au sol du Jumpy (équivalent évasion ou 806) de PSA de façon à disposer d'une marge de sécurité.

Au terme de l'avant projet, nous disposons d'un modèle Adams qui nous permet de faire varier les paramètres et les essais avec pour objectif d'identifier les conditions optimales d'équilibre du Nanobus dans le but d'améliorer le comportement routier du véhicule.

Nous ne devons cependant pas oublier que le Nanobus n'évoluera au maximum qu'à 45 km/h ce qui limite l'amplitude d'éventuelles effets parasites non détectés en simulation.

Ensuite, les essais sur piste du démonstrateur technique permettront d'évaluer le comportement du modèle réel par rapport aux résultats obtenus lors des simulations.



Dossier technique préliminaire

Chaîne de traction	108
Groupes moto propulseurs potentiels (systèmes intégrés)	110
Système Cleanova (SVE)	111
Batteries ZEBRA	114
Conclusions et perspectives d'évolutions : chaîne de traction	115

Afin de mieux appréhender les caractéristiques de la chaîne de traction, nous avons développé sous Excel un utilitaire destiné à pré-dimensionner la chaîne de traction du Nanobus.

En fonction des caractéristiques de base du véhicule :

- Masse
- coefficient de pénétration dans l'air,
- etc.

et pour un parcours urbain déterminé et paramétrable :

- Vitesse,
- Pente,
- Accélération,
- Temps de parcours, ...

L'outil de pré-dimensionnement détermine :

- Le couple et la puissance maximum nécessaire,
- L'énergie consommée,
- L'autonomie théorique du véhicule en fonction :
 - i. D'un type de batterie,
 - ii. D'une masse de batterie
- etc.

Le résultat des simulations nous permet par conséquent d'identifier des fournisseurs potentiels de systèmes intégrés (GMP, batteries, ...) dont les caractéristiques conviendraient, moyennant peu de modifications, aux besoins du Nanobus.

Groupes moto propulseurs potentiels (systèmes intégrés)

Société	Coordonnées	Info internet	Composants	Commentaires	Prototype
SVE	9, rond point des Champs Elysées – Paris M. Herchin : 06 08 16 06 15	http://www.clean-auto.com/article.php?id_article=2922	Système Cleanova - GMP TM4 (filiale Hydro Quebec/Dassault) - Batteries SAFT	Voir prototype Kangoo et Scenic (électrique ou avec prolongateur d'autonomie) Relations en cours – à suivre	
Bolloré/Pininfarina Engineering (D3) Via Batscap	Batscap Odet Ergué Gabéric 29556 Quimper cedex 9 Tel. : + 33 (0)2 98 66 78 00	http://www.batscap.com/ http://www.clean-auto.com/article.php?id_article=3634	- Moteur synchrone - Batteries Lithium polymères de Batscap (filiale Bolloré)	Voir prototype Bluecar	
Zytek	Zytek Engine technologie center – Main street – Repton, Derby, DE65 6NZ United Kingdom	http://www.zytekgroup.co.uk http://www.clean-auto.com/article.php?id_article=3880	GMP Zytek Batteries Zebra	Voir prototype Smart (électrique ou hybride).	
MS DEA	Via Laveggio CH-6855 STABIO Tel : 41 091 641 5311	http://cebi-new.kicms.de/cebi-internet/frameset/fr_index?directlink=4 http://www.clean-auto.com/article.php?id_article=3498	Chaîne de traction complète (dont batteries Zebra)	Voir Prototype Twingo Quickshift	
Gruau	ZI route de Rennes – BP4219 53942 St Berthevin Cdx	http://www.gruau.com/produits/microbus.php	Système Microbus redimensionné pour les besoins du Nanobus	Intérêt partage des composants ?	
Autre					



Systeme Cleanova (SVE)

Les caracteristiques intrinseques du systeme Cleanova (SVE/TM4) sont proches du cahier des charges du Nanobus.

Caracteristique du GMP (Origine TM4)

Data Sheet No. G0110-C

Motor 25 kw

TM4 Inc.

25 KW PERMANENT-MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR

Description

A high power density motor has been developed. This machine applies permanent magnet brushless technology and is optimized to have high over-torque capacity and to generate efficient power output at a wide range of operating speed. These units are suitable for electric vehicle motorization and power train traction applications as well.

Features

- Three Phase
- 25 kW
- 150 Nm
- Sinusoidal EMF
- High power density
- High efficiency
- Overload capacity
- Low noise level

Applications

- Electric vehicle motorization
- Power train traction system

Characteristics

<i>Main Features</i> (T=100 °C unless otherwise noted)	
Output power	25 kW
Max. torque with reduction gearbox 7.12: 1	1068 Nm
Cooling system	Liquid
<i>Environmental</i>	
Operating conditions	-40°C to 120°C
Protection	Water-Proof, Dust-tight
Insulation system	Class H

Maximum Rating

Parameter		
Speed	7600 rpm	
Torque	150 Nm	111 lb ft
Output Power	45 kW	60 hp

Nominal Parameters

Parameter		
Speed	7600 rpm	
Torque	32 Nm	24 lb ft
Output Power	25 kW	34 hp
Phase current	52 A _{rms}	
Efficiency	96.5 %	

Electrical characteristics

Parameter	Value	Unit
Phase Inductance	105.8	μH
Phase Resistance	20.19	mΩ
Connection	3 independent phases	

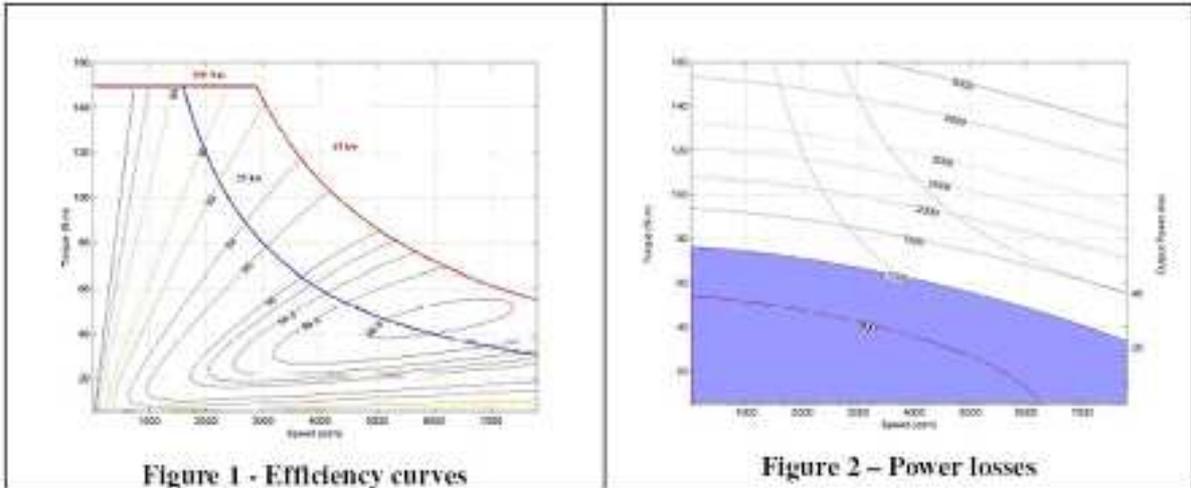
Cooling characteristics

Nema IC code	IC3S7	
Coolant type	50/50 water-glycol	
Liquid flow	400 l/hour	1.75 gal/min

Mechanical characteristics *(Including gear box)*

Parameter	SI	Imperial
Width	250 mm	9.9 in
Height	250 mm	9.9 in
Length	460 mm	18.1 in
Weight	45 kg	99 lb

Efficiency analysis



Batteries ZEBRA

A ce stade de l'étude, il nous semble que les batteries Zébra (MES DEA) correspondent le mieux au cahier des charges du Nanobus pour leur compromis énergie massique/prix et les perspectives de réductions des coûts consécutive au lancement industriel.

A noter également que ces batteries sont utilisées par Gruau pour alimenter le Microbus électrique.



Type	unit	Z5-278-ML-64	Z5-557-ML-32
Capacity	Ah	64	32
Rated energy	kWh	17.8	17.8
Open circuit voltage	V	278.6	557
Weight	kg	189	
Specific energy	Wh/kg	94	
Specific Power	W/kg	169	
Peak power	kW	32	
Thermal loss	W	<110	
Cooling		Air	
Ambient temperature	°C	- 40 to + 50	
Dimensions (WxLxH)	mm	533 x 755 x 300	

Conclusions et perspectives d'évolutions : chaîne de traction

L'outil de simulation (pré-dimensionnement de la chaîne de traction) développé sous Excel nous permet d'évaluer les besoins en : Couple, puissance, énergie embarquée nécessaire au bon fonctionnement (théorique) du Nanobus.

Après examen du cahier des charges du Nanobus, nos correspondants de SVE nous indiquent que la chaîne de traction Cleanova pourra être utilisée tel quel (copier-coller) dans le démonstrateur technique Nanobus pour mener une expérimentation.

Dans un premier temps, aucune modification du GMP (réducteur identique) ne sera effectuée par rapport à celui utilisé sur la base Kangoo de Renault (Système Cleanova).

Le système⁴ à haut rendement Cleanova préconisé par SVE comprend :

- Groupe moto propulseur avec son réducteur
- Electronique embarquée (commande, puissance, gestion de l'énergie)
- Batteries Zebra, ...

Durant la période d'expérimentation du Nanobus, certaines modifications pourront être envisagées de façon à optimiser le système.

Par ailleurs, l'analyse fonctionnelle menée dans le cadre de l'avant projet Nanobus nous confirme l'intérêt de porter, à terme, une réflexion toute particulière, sur le thème de la fiabilisation du système.

Objectif : Eviter les ruptures d'exploitation en limitant les risques d'immobilisation des véhicules dues aux pannes électriques.

Comme cela a déjà été envisagée durant la phase d'étude de faisabilité, cette réflexion pourra, le cas échéant, être poursuivie avec le CEA dans le cadre d'un projet de valorisation de la recherche.

⁴ Le prix de revient du véhicule est largement conditionné par le coût du GMP et par les conditions d'acquisition des batteries (achat, location). Ces deux paramètres avec la disponibilité des composants seront déterminant dans le choix de la solution finale (GMP, batteries).

Dossier technique préliminaire

Industrialisation	116
Principaux constituants du Nanobus	117
Référence ment, base de données	118
Carrosserie	121
Panneaux aluminium	121
Matériaux composites	122
Eco-construction	127
Thermoformage	128
Châssis	136
Vitrage	138
Autres composants du Nanobus	139
Prochaines étapes : Démonstrateur technique, prototype/pré série, série	140
Systèmes de production	141
Principaux systèmes de production examinés en avant projet	142
A retenir de ces exemples de systèmes de production	143
Méthodologie : Création d'une ligne d'assemblage	145
Chaîne d'assemblage du Nanobus	146
Conclusions et perspectives d'évolutions : Industrialisation du Nanobus	149

Principaux constituants du Nanobus

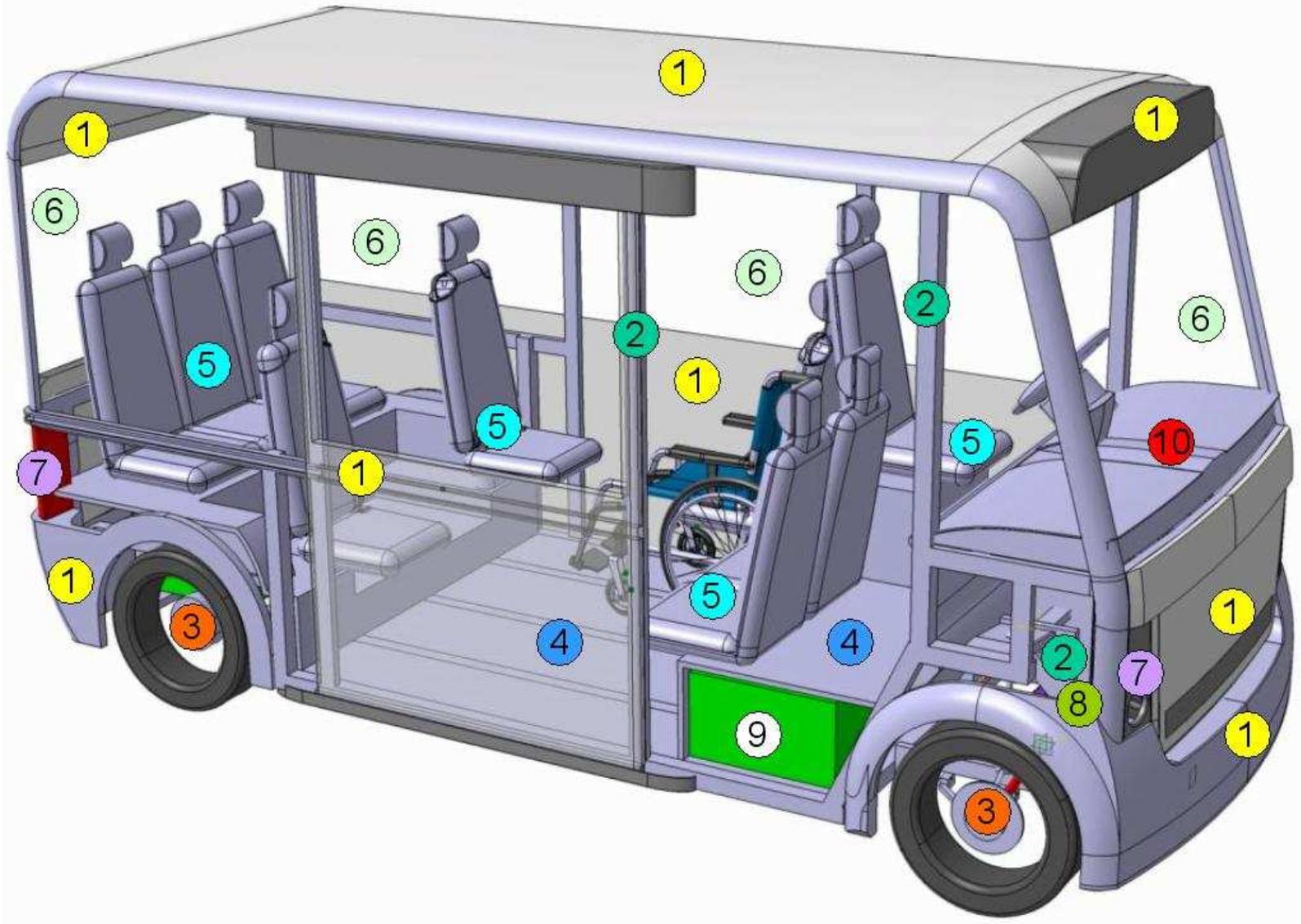
Critère de sélection des constituants du Nanobus :

- Conformité aux exigences du cahier des charges fonctionnel
- Qualité de fabrication, fiabilité
- Simplicité de mis en œuvre de l'outils de production, disponibilité
- Coût, entretien
- Aspects réglementaires

Ref.	Fonction	Matériaux
1	Carrosserie, ouvrants, pare chocs, ...	Tôle d'aluminium Et Polyester stratifié (injection RTM) Ou Coextrudé ABS / acrylique Ou Thermoformage
2	Structure (Châssis)	Tubulaire en acier Ou Aluminium Ou Mixte : Cabine Aluminium, support moteur et amortisseurs Acier
3	Suspensions, liaison au sol	Mac Pherson à l'avant et bras tirés à l'arrière (origine constructeur)
4	Plancher	Sandwich Nid d'abeille Ou Composite Ou/et Tôle découpée et pliée
5	Sièges et banquettes	Concept Vivabus (Connex) Ou Origine fournisseurs
6	Surfaces vitrées	Verre sécurit
7	Optiques	Plastique
8	GMP + électronique embarquée	Système Cleanova (SVE)
9	Batteries	Zébra (Mes Dea)
10	Planche de bord et console	Matériaux composites ou bois ou thermoformage
	Témoins et commandes	Origine fournisseurs
	Dispositif de recharge	Origine fournisseurs
	Fixation carrosserie	Collage + Vissage (ou rivetage)



01 INDUSTRIE





Référencement Nanobus : base de donnée

Ensemble	Ref. S. ensemble	Sous ensemble	Ref. pièce	Nom	Origine produit	Qualificati
Structure	E11-A	Châssis	E11-A-001	Châssis		Spécifique
	E11-B	Fixations	E11-B-001	Fixation radiateur		Spécifique
			E11-B-002	Fixation Boucliers		Spécifique
			E11-B-003	Fixation blocs optique		Spécifique
			E11-B-004	Fixation boîtier électronique		Spécifique
			E11-B-005	Fixation chargeur embarqué		Spécifique
			E11-B-006	Fixation colonne de direction		Spécifique
			E11-B-007	Fixation crémaillère		Spécifique
			E11-B-008	Fixation commande de frein		Spécifique
Carrosserie	E12-A	Boucliers	E12-A-001	Bouclier avant		Spécifique
	E12-B	Panneaux de carrosserie	E12-A-002	Bouclier arrière		Spécifique
			E12-B-001	Aile avant gauche		Spécifique
			E12-B-002	Aile avant droite		Spécifique
			E12-B-003	Aile arrière gauche		Spécifique
			E12-B-004	Aile arrière droite		Spécifique
			E12-B-005	Panneau latéral gauche		Spécifique
			E12-B-006	Toit		Spécifique
			E12-B-007	Panneau arrière		Spécifique
	E12-C	Pares boue	E12-B-008	Panneau avant		Spécifique
			E12-C-001	Pare boue avant gauche		Spécifique
			E12-C-002	Pare boue avant droit		Spécifique
			E12-C-003	Pare boue arrière gauche		Spécifique
E13-A	Porte conducteur	E12-C-004	Pare boue arrière droit		Spécifique	
		E13-A-001	Structure porte conducteur		Spécifique	
		E13-A-002	Carrosserie porte conducteur		Spécifique	
		E13-A-003	Feuille d'étanchéité et d'insonorisation		Spécifique	
		E13-A-004	Ensemble charnière supérieure		Spécifique	
		E13-A-005	Ensemble charnière inférieure		Spécifique	
		E13-A-006	Limiteur d'ouverture		Spécifique	
		E13-A-007	Vitre		Spécifique	
		E13-A-008	Joint coulisse de vitre		Spécifique	
		E13-A-009	Lécheur de vitre intérieur		Spécifique	
		E13-A-010	Lécheur de vitre extérieur		Spécifique	
		E13-A-011	Mécanisme de lève vitre		Spécifique	
E13-A-012	Garniture		Spécifique			

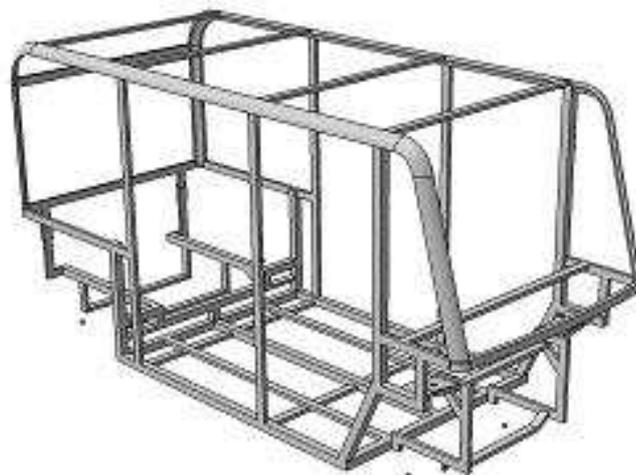


Groupe Moto-propulseur	E21-A	Bras de fixation moteur	E21-A-001	Bras de fixation moteur		Spécifique
	E21-B	Arbre de transmission	E21-B-001	Arbre de transmission		Spécifique
	E21-C	Système de refroidissement moteur	E21-C-001	Système de refroidissement moteur	Facultatif	
	E21-D	Réducteur	E21-D-001	Réducteur	SVE	
	E21-E	Moteur électrique	E21-E-001	Moteur électrique	SVE	
Batteries	E22-A	Boîtier de protection bloc batterie	E22-A-001	Boîtier de protection bloc batterie	ZEBRA	
	E22-B	Cellules d'énergie	E22-B-001	Cellules d'énergie	ZEBRA	
	E22-C	Système de refroidissement batteries	E22-C-001	Système de refroidissement batteries	Facultatif	
	E22-D	Connecteurs	E22-D-001	Connecteurs		Spécifique
Électronique embarquée	E23-A	Boîtier électronique	E23-A-001	Lois de commande & partie intégration	SVE	
			E23-A-002	Partie puissance	SVE	
			E23-A-003	Partie énergie	SVE	
			E23-A-004	Partie interface homme machine	SVE	
			E23-A-005	Système de diagnostic (déporté)	SVE	
	E23-B	Connecteurs	E23-B-001	Connecteurs	SVE	
	E23-C	Chargeur embarqué	E23-C-001	Prise de charge		
			E23-C-002	Chargeur		
E23-D	Système de refroidissement	E23-D-001	Système de refroidissement		Spécifique	
Train avant	E31-A	Amortisseur avant	E31-A-001	Corps d'amortisseur	Série	
			E31-A-002	Soufflet Protecteur	Série	
			E31-A-003	Ressort	Série	
			E31-A-004	Coupelle supérieure	Série	
			E31-A-005	Butée élastique	Série	
			E31-A-006	Butée a billes	Série	
			E31-A-007	Rondelle	Série	
			E31-A-008	Palier de fixation supérieure	Série	
			E31-A-009	Cuvette	Série	
			E31-A-010	Écrou de tige d'amortisseur	Série	
			E31-A-011	Cache d'écrou	Série	
	E31-B	Support avant	E31-B-001	Berceau	Série	Standard
			E31-B-002	Entretoises	Série	Standard
			E31-B-003	Barre stabilisatrice	Série	Standard
			E31-B-004	Palier élastique	Série	Standard
			E31-B-005	Bride de palier de barre stabilisatrice	Série	Standard
			E31-B-006	Biellette de liaison	Série	Standard
	E31-C	Ensemble moyeu avant	E31-C-001	Moyeu avant	Série	Standard
			E31-C-002	Pivot	Série	Standard
			E31-C-003	Roulement de moyeu	Série	Standard
			E31-C-004	Jonc d'arrêt	Série	Standard
			E31-C-005	Protecteur	Série	Standard
			E31-C-006	Triangle	Série	Standard

Ensemble :	Structure	Réf.	E11
------------	-----------	------	-----

Etape	Démonstrateur	Phase	Conception	Version	1.1
-------	---------------	-------	------------	---------	-----

Aperçu de l'ensemble



Sous ensembles

réf. sous ensemble	Nom	Fichier CAD	Date de modification
E11-A	Châssis	Chassis_2005-06-07.stp	07/09/2005
E11-B	Fixations	Idem	Idem

Commentaires

Carrosserie

Le niveau de finition de la carrosserie est très important. L'habillage doit offrir un aspect moderne qui contribue fortement à l'image du véhicule.

Comparaison des composites par rapport aux carrosseries métalliques :

- Les matériaux composites ne sont pas sensibles à la corrosion : cela permet de se passer des coûteuses et polluantes chaînes de cataphorèse⁵ ou de galvanisation, la durée de vie s'en trouve sensiblement augmentée.
- A caractéristiques mécaniques équivalentes, les matériaux composites sont plus légers.
- La capacité d'absorption d'énergie en cas de choc du couple composite fibre de verre / résine polyester est 4,2 fois supérieure à l'acier.
- En cas de petits chocs, la réparation est plus aisée que pour une carrosserie acier.
- Le prix des outillages est sans commune mesure.

Le coût, la simplicité de mise en forme des matériaux, le poids des composants sont des critères prépondérants dans le cadre du projet Nanobus.

Lorsque les pièces de carrosseries sont planes, elles ne nécessitent pas d'outillage pour être formées.

Panneaux aluminium

Dans ces conditions, le panneau de carrosserie en aluminium est la solution la plus simple et la moins onéreuse à mettre en œuvre. De plus, la tôle aluminium contribue à la rigidité de la structure tout en restant légère.

Solutions possibles pour les pièces de forme complexes :

- Les matériaux composites : Polyester stratifié, Résine époxy
- Le thermoformage

⁵ La cataphorèse est une technique de peinture qui consiste à faire tremper la pièce dans un bain de peinture hydrosoluble, en mettant la pièce en cathode, d'où le nom de cataphorèse, et en faisant migrer les particules de peintures au moyen de courant électrique de l'anode vers la cathode.

Matériaux composites

Principes de base :

Les matériaux composites sont composés d'au moins 2 matériaux de base très différents : une armature et une matrice.

Ces matériaux de base, pris séparément, ne sont pas très performants d'un point de vue mécanique. Par contre, leur association donne un produit final très résistant qui hérite de certaines qualités intrinsèques des produits de base.

Exemples de matériaux composites

- Les panneaux de bois aggloméré : composite bois-colle
- L'isorel" : composite fibre-colle
- Le béton armé : composite acier-béton
- Le" Fibrociment" : composite fibre-béton
- Les pneumatiques de voiture : composite acier ou fibre avec du caoutchouc
- Les pare-chocs de voiture : composite polyester-fibre de verre

Comportement des composites :

Le produit de base qui constitue l'armature est sous forme solide :

- Les fibres de verre, de nylon ou de chanvre, les fils d'acier donnent des résistances mécaniques supérieures à celle des matières brutes utilisées seules,
- Les performances des fils ou fibres sont optimisées dans le sens de la longueur au détriment d'autres caractéristiques,
- La souplesse des fibres ou fils compense la fragilité des matériaux à haute résistance.

Le produit de base qui constitue la matrice est liquide ou pâteux à la fabrication :

- Ce produit sert à coller les fibres entre elles, et à les maintenir en position les unes par rapport aux autres,
- Ce liant doit être très souple afin de s'adapter au mouvement de l'armature sans la martyriser,
- Il doit également assurer une bonne adhérence avec l'armature afin de bien transmettre les efforts d'une fibre à l'autre.



La conception des pièces fabriquées en matériaux composites tient compte de plusieurs paramètres :

- Caractéristiques de l'armature et de la matrice choisie,
- Forme de pièce : détails complexes, raidisseurs, dimensions, procédés de fabrication,
- Efforts supportés : Charges permanentes, accidentelles, cycliques et de manutention
- Conditions d'utilisation : agression du soleil, des produits d'entretien et des produits en contact, ...
- Sécurité : classement au feu, toxicité, pollution

Globalement, les matériaux composites ont l'avantage d'être facile à mettre en œuvre car ils nécessitent un outillage léger.

Par contre, la qualité des pièces produites peut s'avérer variable. Cet inconvénient peut être modéré car le process de mise en peinture permet de remédier à certains défauts d'aspect. Celui ci permet surtout d'offrir une large gamme de couleurs.

Le polyester stratifié allie simplicité de mise en œuvre et coût réduit. Idéale pour les petites séries cette solution peut être mise en œuvre en utilisant l'injection RTM.

Le procédé RTM (Resin Transfer Molding) nécessite un moule mâle et un moule femelle. La matrice (fibre de verre), est positionnée dans les moules, thermo-régulés, qui sont ensuite refermés. La résine est injectée sous basse pression. La polymérisation nécessite 20 à 30 mn. Les pièces sont ensuite démoulées, détournées et ébarbées, puis assemblées par collage pour constituer une carrosserie.



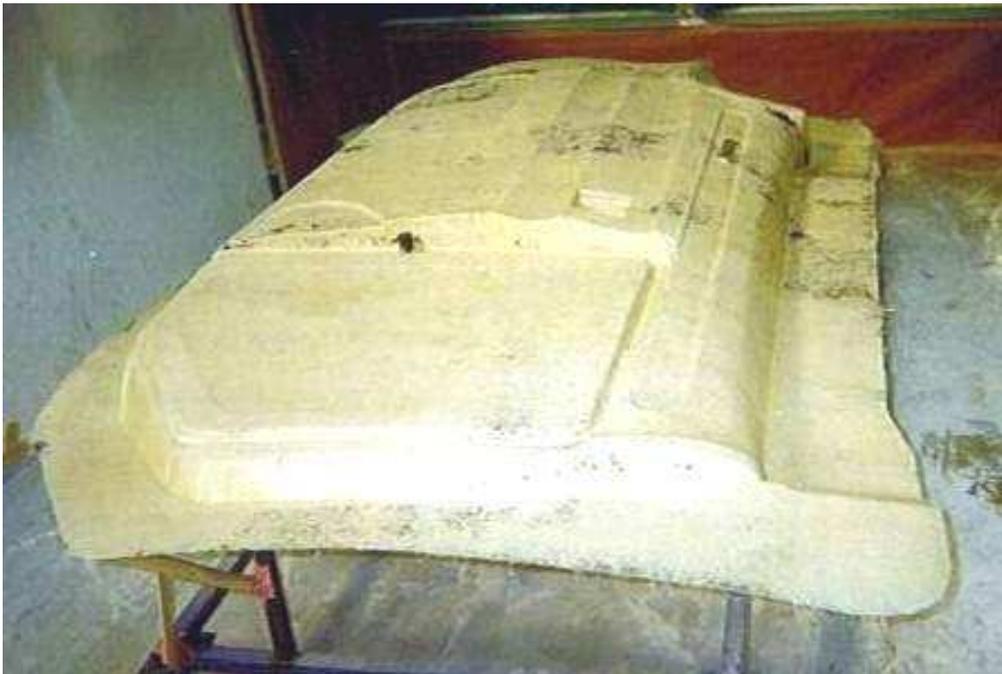
Exemple de moule de carrosserie

Par rapport au polyester stratifié, la résine époxy offre des caractéristiques mécaniques améliorées mais le surcoût n'est pas toujours justifié.

Les carrosseries composites peuvent le cas échéant être composées d'une mousse rigide (ex : polyuréthane) prise en sandwich entre deux peaux, une intérieure et une extérieure, en fibre de verre et résine polyester.

Cette configuration permet d'augmenter :

- La capacité d'absorption d'énergie en cas de choc,
- L'isolation thermique et phonique,
- La rigidité de l'ensemble.



Mousse prise en sandwich entre les deux peaux int/ext de la carrosserie

Eco-construction

A terme, il n'est pas exclus d'utiliser des matériaux naturels. Des essais de carrosserie en fibre de chanvre ont été réalisés. Son coût inférieur et sa ductilité supérieure à la fibre de verre sont des atouts.

Certains produits qui utilisent des résines naturelles sont déjà disponibles dans le commerce.

Des essais de vieillissement de carrosserie dans des environnements humides et sous UV sont encore à mener pour valider une possible utilisation de fibres naturelles dans le domaine du transport.

Par conséquent, cette piste est à explorer dans une démarche d'éco-construction car le potentiel des matériaux composites 'naturels' est très important dans un contexte environnementale plus que favorable.



Capot automobile en fibre de chanvre

Thermoformage

Le thermoformage est une solution peu onéreuse pour produire les panneaux de carrosserie. Les aspects et les matières possibles sont nombreux (ABS, poly carbonate, ...).

Procédé

La technique du thermoformage consiste à former sur un moule à empreinte, un film ou une plaque préalablement chauffés pour les rendre malléables. Après refroidissement, la matière conserve la forme de l'empreinte.

Cette technique simple à priori, requiert des compétences techniques relativement pointues car divers paramètres doivent être maîtrisés avec précision :

- Température de ramollissement,
- Zones de chauffe à l'intérieur du four,
- Comportement du plastique au contact du moule (contraintes de déformation...),
- Découpe, ...

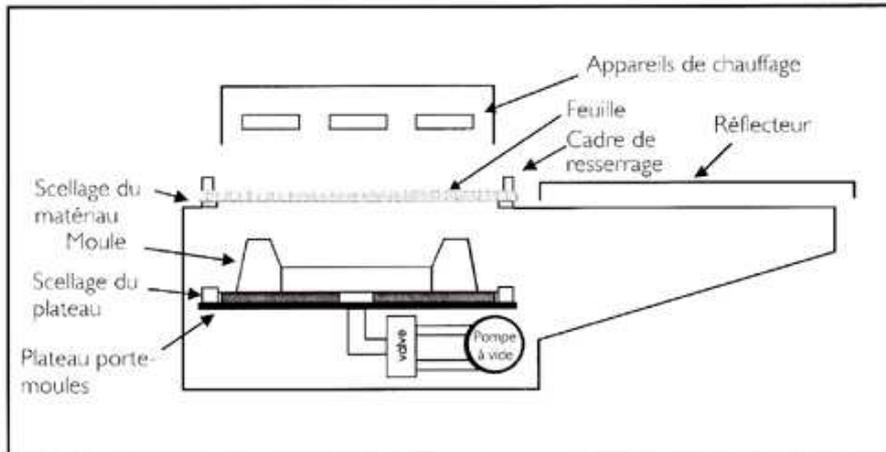
Principes de base

La pression peut être exercée soit par aspiration (évacuation d'air sous la paroi de la feuille), soit par pression d'air, soit par compression de la feuille chaude entre le piston et l'empreinte du moule.

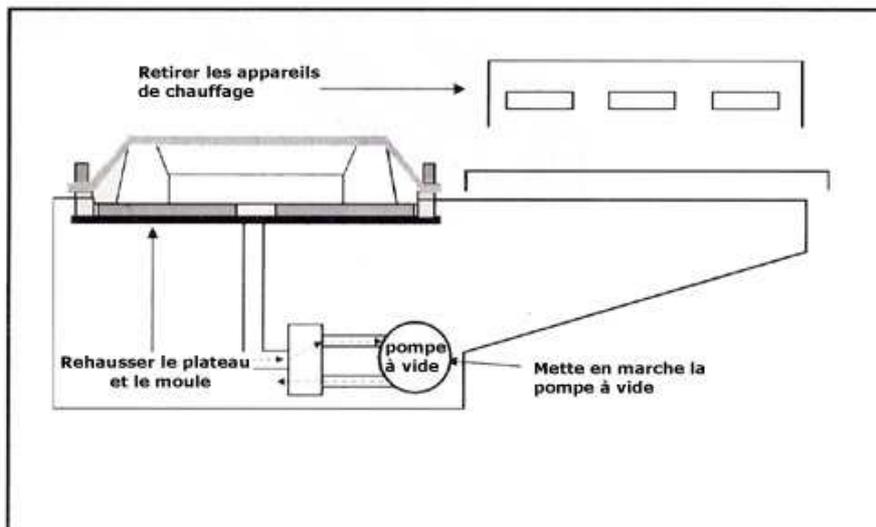
Ces procédés entrent dans la catégorie des techniques de formage sous vide.

Processus de thermoformage standard :

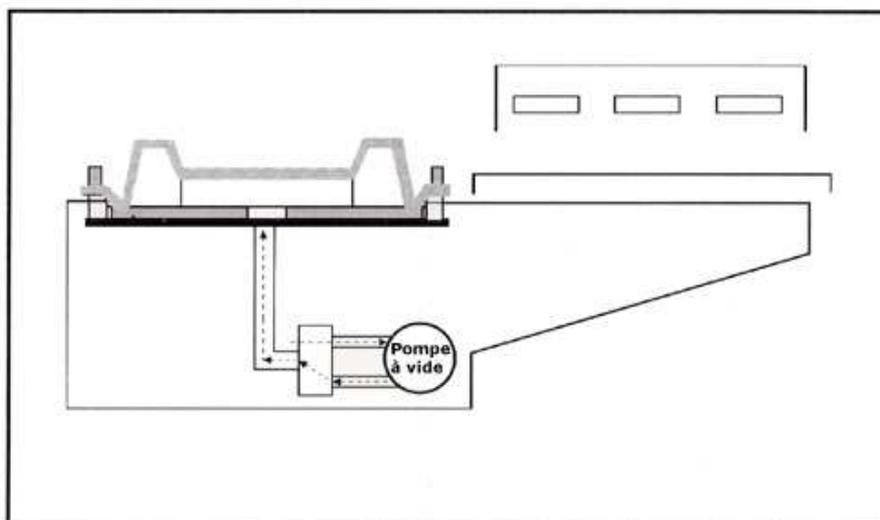
1. Le moule est placé sur le plateau porte-moule et abaissé dans la machine.
2. Resserrage : le matériau est fixé sur un cadre.
3. Chauffage : l'appareil de chauffage est placé au-dessus de la feuille à chauffer jusqu'à l'obtention de la température requise pour le formage (voir figure ci-dessous).
4. Formage: une fois la température optimum de thermoformage du matériau atteinte, on retire les appareils de chauffage. Le plateau et le moule sont élevés en position de formage. Le formage est réalisé par pression sous vide et/ou par un renfort mécanique.
5. Refroidissement: la pièce est suffisamment refroidie afin de pouvoir la retirer sans défection. Le refroidissement de la pièce peut être renforcé par l'emploi de ventilateurs.
6. Découpage : tout surplus de matériau est alors éliminé (notamment autour des pinces de serrage du moule).



Début du cycle : chauffage



Positionnement de la feuille thermoplastique



Aspiration : fin du cycle

Le procédé de thermoformage permet d'obtenir des pièces aux caractéristiques mécaniques relativement intéressantes avec des finitions semblables à des peintures métallisées et avec des traitements filtrant les UV.

Ce procédé présente néanmoins un inconvénient :

- Les pièces thermoformées ne sont pas porteuses,

Malgré ce handicap, le thermoformage dispose d'atouts. Les pièces thermoformées ne cessent de gagner de nouvelles formes, de nouvelles matières, de nouvelles fonctions, de nouveaux métiers.

Les matières thermoformées :

Le thermoformage utilise des matières de plus en plus performantes, d'une très grande variété pour s'adapter aux conditions d'utilisation et aux impératifs des normes réglementaires :

- Tenue mécanique (résistance à la flexion ou aux chocs, résistance chimique, résistance aux températures, contact alimentaire, design, couleur, etc.).

L'état de surface peut être lisse ou grainé. Recyclables, les déchets sont réduits au minimum.

L'investissement permanent en recherche et développement des fournisseurs de matières plastiques permet de proposer régulièrement de nouveaux matériaux aux qualités spécifiques :

- Résistance aux frottements,
- Résistance au choc et à l'usure,
- Tenue aux températures extrêmes,
- Tenue aux produits chimiques, huiles et essences,
- Tenue aux UV,
- Respect des normes alimentaires,
- Respect des normes de sécurité (comportement au feu, isolation électrique),
- Capacité anti-dérapant,
- Capacité de stérilisation,
- Rigidité ou souplesse,
- Stabilité dimensionnelle,
- Aspect de surface : lisse, grainé, brillant, mat, dépoli, "givré", miroir, etc,
- Esthétique : transparent, diffusant, opaque, couleur, etc...



Toutes les matières listées ci-dessous peuvent être utilisées seules, intimement mélangées (blend) ou en multicouches :

Matières principales

PS
ABS
ASA
PMMA
PC
APET
PETG
PVC
PEHD
PEBD
PP
POLYSULFONE

Mélange de matières (blend)

PPE
ABS/PC
PS/PE

Coextrusion de matières

PS/PE
PS/PE/TPE
ABS/PMMA
ABS/PVC
ABS/ASA
APET/PE
PS/EVOH/PE
PETG/APET/PETG
PVC/PE

L'innovation est permanente et de nouveaux matériaux se développent :

- Composites ou mélanges bois/plastique, papier/plastique par exemple.



La conception

La technicité des moules employés et la CAO, optimisent le rapport performance/coût.

Les empreintes des moules qui donnent la forme de la pièce sont réalisées par des outilleurs et modeleurs. Elles sont le plus souvent conçues et réalisées par CAO-DAO-FAO. Ainsi, elles s'intègrent à la chaîne du client.

Alliant fonctionnalité et esthétique, les formes peuvent être complexes, par exemple avec des angles vifs, des contre-dépouilles, du formage profond, et avec des découpes et des usinages.

Les équipements

Les fabricants de machines de thermoformage optimisent sans cesse leurs matériels pour gagner en performances, précision et rapidité.

A chaque type de produit fabriqué correspond un type de machine adapté. On fabrique de cette façon aussi bien des millions d'emballages alimentaires que quelques unités de pièces aéronautiques.

Le parachèvement

Les thermofomeurs sont équipés pour livrer des produits finis avec si nécessaire des traitements complémentaires :

- Découpes, usinages et perçages, etc,
- Assemblages avec soudage par ultrason, collage, etc,
- Intégration d'éléments de fixation,
- Sérigraphie, peinture, métallisation, etc...

Intérêt du thermoformage (récapitulatif)

- Le coût d'outillage relativement faible, la durée de vie de l'outillage de thermoformage, la possibilité de le modifier aisément, permettent au thermoformage d'être globalement très compétitif.
- L'investissement initial est nettement moins important que celui employé dans les techniques de moulage à injection.
- Le thermoformage, en simplifiant la fabrication des moules, permet des gains de temps considérables. Le délai de mise en oeuvre est court, le prototypage est relativement aisée.
- La réactivité est encore améliorée par la conception par CAO des pièces et des moules qui s'intègrent dans la chaîne numérique du client.
- Il est possible de réaliser des pièces dont les parois sont fines.
- Il est possible de réaliser des pièces de relativement grande taille.
- Les retouches sur les moules sont faciles et peu coûteuses, elles permettent toutes les modifications ultérieures.
- Même les petites séries ou les pièces complexes sont produites avec un coût unitaire faible comparativement à d'autres procédés de fabrication comme l'injection plastique.
- Les nouvelles matières plastiques, la technicité des machines et des moules, l'intégration de traitements complémentaires permettent la production de pièces de très haute définition et de grande précision.
- Entre la prise de décision, et la mise du produit sur le marché, les délais sont minimes.

Fixation des panneaux de carrosserie

La fixation de la carrosserie doit permettre de solidariser les panneaux de carrosserie au châssis. Elle jouera aussi un rôle dans l'ajustement des pièces. Le démontage doit être envisagé, si possible de façon à ne pas endommager les pièces assemblées.



Exemple de mise en position des éléments de carrosserie avant collage

Solutions possibles : collage, vissage, rivetage



Collage des panneaux de carrosserie

Châssis

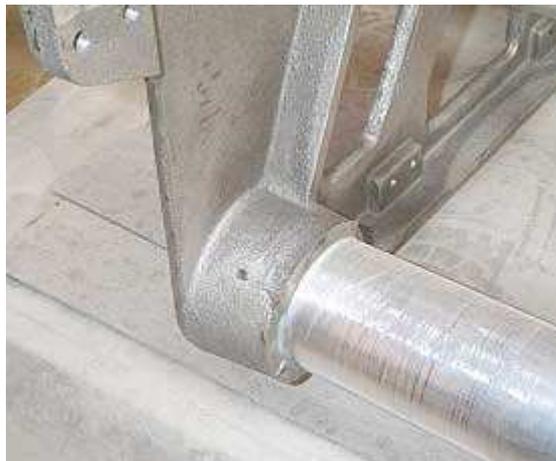
Le châssis est une des pièces maîtresses du véhicule. Il doit à la fois être suffisamment rigide pour supporter les contraintes soumises au véhicule quelques soient les aléas : conditions d'utilisation, irrégularités de la chaussée,

Cependant il doit, comme l'ensemble des constituants du véhicule, être suffisamment léger. En effet, toute diminution de la masse du véhicule réduit proportionnellement la consommation d'énergie et par conséquent augmente l'autonomie du véhicule.

Avantage de l'aluminium :

- Est plus léger que l'acier à propriétés mécaniques équivalentes,
- Ne nécessite pas de traitement anti-corrosion,
- Absorbe 2 fois plus d'énergie en cas de choc qu'un acier traditionnel,
- Est largement disponible et recyclable.

Ci-dessous : Assemblage de tubes et à des pièces issues de fonderie, assemblés par collage.



Sur la photo ci-dessus, des profilés d'aluminium de gros diamètre (environ 80 mm) relient entre elles des flasques en aluminium, obtenues en fonderie. L'ensemble est manchonné. De la colle époxy structurale bi-composants assurant l'assemblage.



Industriellement, les avantages de ce procédé sont les suivants :

- Côtes des châssis facilement modifiables par ajustement des longueurs de tubes,
- Rapidité et facilités de construction.

De plus, le collage, facile à mettre en oeuvre, ne détruit pas les caractéristiques mécaniques des matériaux (contrairement à de la soudure ou à un assemblage boulonné ou riveté).

Inconvénient de l'aluminium :

- Risque de 'fatigue' du matériau (au niveau des éléments de suspension et des attaches du moteur).
- Mise en œuvre (soudage).

Solutions possibles pour le châssis du Nanobus :

- Acier,
- Aluminium

Alternative : Solution mixte

- Cabine : Aluminium,
- Berceau moteur et support de suspension : Acier

Vitrage

Les vitres constituent un des éléments les plus délicats à réaliser. La difficulté dépendra principalement de la courbure de celles-ci. Le choix de vitres planes, solution retenue sur d'anciens véhicules (Renault R4, Fiat Panda, ...), simplifie considérablement le problème.

Cette solution est à retenir, au moins pour les vitres latérales.

D'un point de vue réglementaire, la législation impose des vitres en verre sécurit pour tous les éléments vitrés, excepté pour le hayon arrière.

Extrait de la législation (article R.73. du Code de la route) :

Toutes les vitres, y compris celles du pare-brise, doivent être en substance transparente telle que le danger d'accidents corporels soit, en cas de bris, réduit dans toute la mesure du possible. Elles doivent être suffisamment résistantes aux incidents prévisibles d'une circulation normale et aux facteurs atmosphériques et thermiques, aux agents chimiques et à l'abrasion. Elles doivent également présenter une faible vitesse de combustion. Les vitres du pare-brise doivent avoir une transparence suffisante, ne provoquer aucune déformation notable des objets vus par transparence ni aucune modification notable de leurs couleurs. En cas de bris, elles doivent permettre au conducteur de continuer à voir distinctement la route. Le ministre de l'équipement et du logement fixe par arrêté les modalités d'application du présent article. Il détermine notamment les conditions d'homologation des différentes catégories de vitres équipant les véhicules.

Pour être homologué, le NANOBUS devra être équipé de verre sécurit, soit feuilleté, soit trempé.

Solutions possibles :

- Verre sécurit feuilleté,
- Verre sécurit trempé.



Autres composants du Nanobus

A l'exception de la planche de bord et de certaines pièces spécifiques, le reste des constituants du véhicule sont des composants standards issus de catalogues fournisseurs du secteur automobile.

Prochaines étapes : Démonstrateur technique, prototype/pré-série, série

Les 3 prochaines étapes du développement du Nanobus se différencient par les technologies employées et les moyens de production associés.

	Technologie	Moyens de production
Démonstrateur	Artisanale	Artisanaux
Prototype/ Présérie	Industrielle – mise au point	Industrielle
Série	Industrielle (définitif)	Industriels (définitif)

1^{er} étape (t0-t12) : Démonstrateur technique, expérimentation.

2^{ème} étape (t13-t24) : Prototype/Présérie

Hypothèse : Installation d'une petite ligne d'assemblage de pré-série chez GRUAU

3^{ème} étape (t25-tn) : Production, commercialisation.

Hypothèses :

- Augmentation de la capacité de la ligne d'assemblage de pré-série (GRUAU)
- Ou
- Sous traitance de l'assemblage du véhicule auprès d'un partenaire Européen
- Ou
- Implantation d'une nouvelle unité d'assemblage en France, en Europe ou en Afrique du Nord (ex : Tunisie).
- Et
- Production de véhicules Nanobus, sous licence en Amérique du nord ou/et en Asie.

Systemes de production

Afin de faciliter l'industrialisation du Nanobus, nous nous sommes intéressés à l'organisation de systèmes de production mis en œuvre par certains fabricants de véhicules. Leurs expériences sont susceptibles d'apporter une meilleure résolution de la problématique liée à l'industrialisation du Nanobus.

Notre objectif est d'intégrer le fonctionnement de ces modèles, d'en extraire les idées générales et d'en tirer les avantages.

Cette démarche d'expertise des expériences précédentes doit permettre de faciliter l'industrialisation du Nanobus en évitant certains pièges.

Notre attention se porte tout particulièrement sur :

- Description et dimensionnement de l'outil de production
- Anticipation des risques
- Organisation du travail (îlots)
- Gestion des ressources humaines (polyvalence)
- Gestion de la sous-traitance (modules facilement intégrables au véhicule, ...)
- Gestion des stocks et des approvisionnements
- Gestion de la qualité,
- Gestion des articles et famille de pièces,
- Démarche d'amélioration continue.

Principaux systèmes de production examinés en avant projet

<p>MCC</p> 	
<p>GEM (Global Electric Motorcars)</p>	
<p>GRUAU (Microbus)</p>	

A retenir de ces exemples de systèmes de production

a) Le juste dimensionnement de l'outil de production

On ne produit 600 véhicules/jour comme on en produit 5. L'outil et les méthodes de production diffèrent. Pour atteindre le coût de revient objectif de 25 k€ par véhicule, nous devons développer et mettre au point des solutions novatrices adaptées à la problématique du Nanobus.

b) Contribution des fournisseurs et sous traitants

Le choix des matériaux et processus de fabrication, le dimensionnement de l'outil de production sont déterminant dans la réussite industrielle du projet. A cela il faut ajouter la contribution des fournisseurs et des sous traitants dont certains fournissent des modules complets (tableau de bord, groupe moto propulseur, ...).

Le niveau de contribution des fournisseurs et des sous traitants dépend en grande partie des volumes produits, ce qui a priori n'est pas en faveur du projet.

Néanmoins, le Nanobus est un produit original, pionnier sur son segment. De quoi intéresser de nouveaux acteurs dans le domaine du transport, en recherche de diversification ou en quête d'une image vertueuse (véhicule propre, développement durable).

c) Process d'assemblage du véhicule

Privilégier la facilité d'assemblage selon un scénario logique (arbre d'assemblage).

d) Mode de fonctionnement par îlot

Les îlots sont un moyen d'optimiser le temps de travail des opérateurs. Le travail à la chaîne (convoyeurs continus) impose un temps de cycle pour chaque lieu de passage. Par îlot, sur chaque poste de travail, il est nécessaire d'atteindre un taux de charge des employés d'au moins 90%.



En pratique, les îlots sont tous constitués :

- D'un espace de travail,
- De zones de stockage des composants, délimitées par un marquage au sol,
- D'au moins un PC qui permet de saisir d'éventuels défauts relevés.

A noter que la qualification et surtout la modularité des opérateurs sont des paramètres importants pour le bon fonctionnement de l'ensemble.

Dans les faits, le mode de fonctionnement en îlot repose sur la responsabilisation des employés :

Les équipes sont responsables d'un domaine bien défini. Les tâches et les devoirs des équipes sont relatés dans un « Manuel d'équipe ». Les équipes portent la responsabilité du bon déroulement des procédés et de la propreté dans leur secteur.

Elles opèrent un contrôle continu et gèrent les problèmes qui surviennent dans leur secteur.

Dans le cadre du Progrès Continu les propositions d'amélioration émanent des équipes. Les meilleures propositions sont mises en application en collaboration avec les méthodes fabrications, et de ce fait standardisées.

Les opérateurs suivent rigoureusement ces procédés de travail jusqu'à ce que de nouveaux procédés soient élaborés et mis au point suite à des mesures d'amélioration. La standardisation et l'amélioration constante des standards vont ainsi de pair.

Méthodologie : Création d'une ligne d'assemblage

Conception de postes de montage

- Prise en compte de l'ergonomie du poste (outillage, moyens de manutention, matière première, pièces et accessoires nécessaires)
- Réalisation des plans des gabarits pour le montage
- Prise en compte des approvisionnements en pièces et accessoires, des zones d'attentes et d'évacuation des sous ensembles et produits finis.

Réalisation de modes opératoires

- Séquences d'opérations à réaliser par les opérateurs (décomposition des tâches en séquences d'opérations)
- Vérifier les exigences qualité
- Evaluation chiffrée du temps nécessaire à l'assemblage (temps de cycle par opérateur)
- Définir une configuration de sous postes ayant les mêmes temps opératoires pour éviter les stocks de produits semi-finis.

Proposition d'implantation d'atelier

- Calculer l'espace au sol nécessaire pour chaque poste (sans oublier les espaces de stockage et les mouvements de l'opérateur)
- Positionner les postes entre eux

Étude de scénarios pour calcul d'effectif

- Nombre total d'opérateurs travaillant à l'assemblage (tenir compte des temps accordés, du nombre de postes et de la production journalière à atteindre)
- Nombre d'équipes à prévoir.

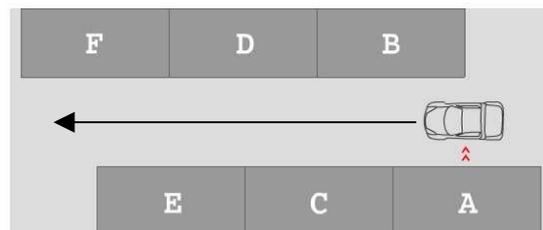
Chaîne d'assemblage du Nanobus

A chaque poste de travail, le véhicule est doté des pièces qui lui sont nécessaires.

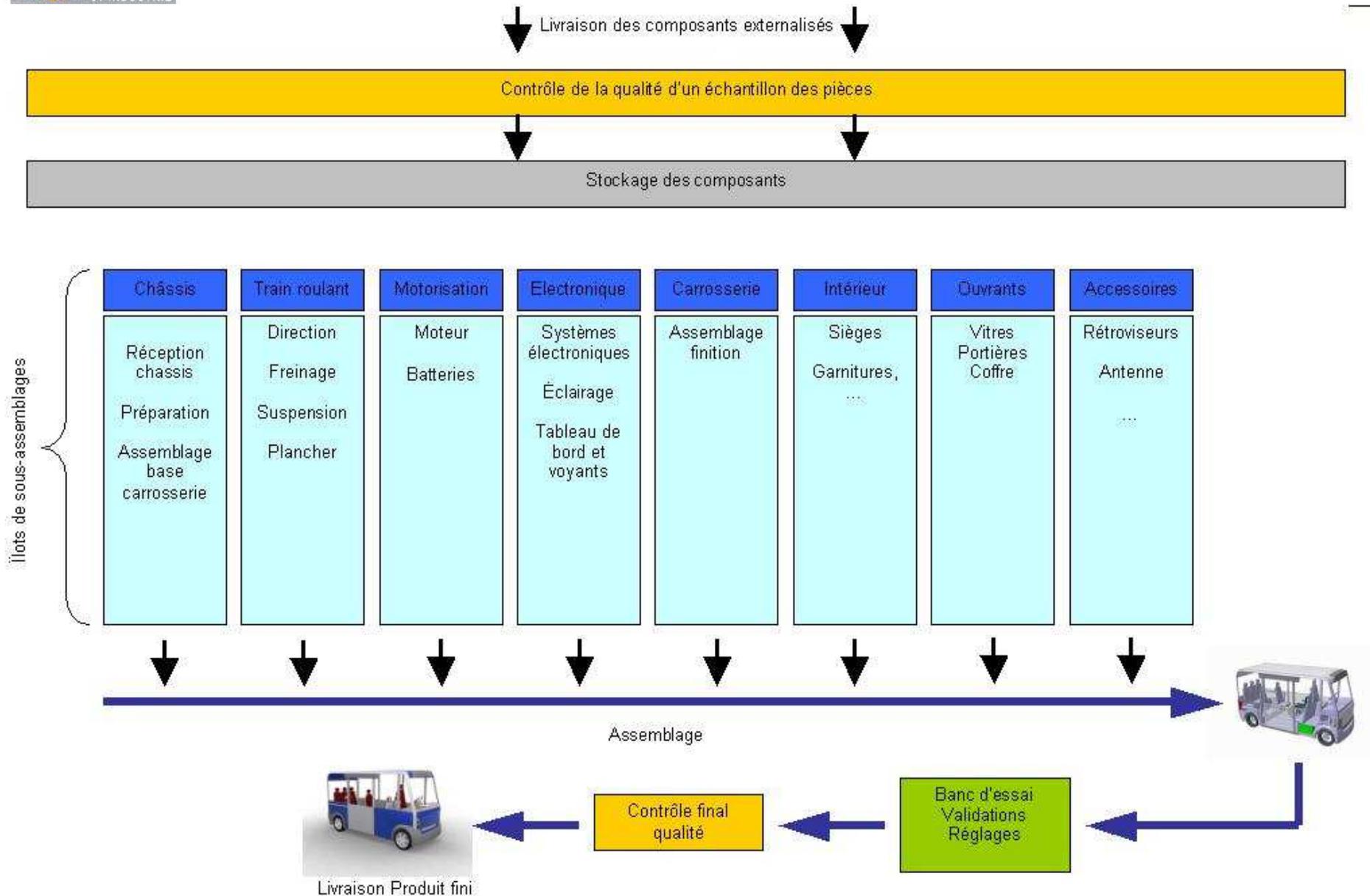
Comme dans un supermarché, les postes de travail jouent le rôle de rayons et le véhicule en cours de fabrication joue le rôle de chariot.

Comme on passe dans les rayons avec son chariot et on prend les articles dont on a besoin, le véhicule passe devant chaque poste de travail. Les opérateurs y assemblent les pièces requises.

Les véhicules se succèdent sur la chaîne Ils passent un à un les îlots de sous assemblage (A, B, C, ...) jusqu'au banc d'essai et le contrôle qualité final.



Assemblage de véhicules fabriqués en petites séries



Conclusions et perspectives d'évolutions : Industrialisation du Nanobus

L'avant projet Nanobus a permis de :

- Identifier et référencer les composants du Nanobus,
- Evaluer différentes alternatives notamment pour le châssis et la carrosserie (matériaux, procédés de fabrication),
- Etudier des systèmes de fabrication de véhicules pour en retirer les fondamentaux (Bilan des expériences précédentes),
- Elaborer une méthode pour dimensionner l'outil industriel,
- Proposer les lignes directrices du process d'assemblage et de contrôle,
- Identifier les axes de recherche dans la perspective d'une amélioration constante du produit.

Début 2006, la prochaine étape consistera à :

- Consulter des fournisseurs et sous traitants potentiels (dont certains ont été consulté en avant projet), sur la base de la maquette numérique du Nanobus, pour intégrer :
 - o Leurs contributions (conseil, support et assistance technique, ...),
 - o Les spécificités de leurs outils de production.

Associer les sous traitants et les fournisseurs (ingénierie collaborative) au développement du produit a pour but de :

- Améliorer le produit,
- Réduire les délais,
- Réduire les coûts de réalisation.





Bilan de l'avant projet Nanobus

4 entreprises complémentaires (01 Industrie, Comox/Connex, Gruau, SVE) qui possèdent :

- De compétences en matière de transport,
- Des compétences en Design et en ingénierie,
- Des compétences en R&D,
- Un savoir-faire industriel,
- Un savoir faire commercial,

s'associent dans le cadre d'un GME pour poursuivre le développement du projet Nanobus.

Intérêt général (en dehors de l'aspect environnemental) :

- Perspectives de développement économique (impact sur l'emploi),
- Nouveaux produit, enrichissement de la gamme, nouveaux marchés,
- Renforcement stratégique dans le domaine du transport 'propre',
- Valorisation de la R&D, ...

Objectifs atteint durant la période d'avant projet :

- Pré-dimensionnement de la maquette numérique du Nanobus,
- Pré-dimensionnement de l'outil de production,
- Identification des conditions de réussite et des facteurs de risques,
- Planification et communication (avancement du projet).

Orientation des axes de R&D suite à l'avant projet vers :

- Le développement de la maquette numérique pour :
 - o Concevoir : Design, RDM, simulation du comportement dynamique,
 - o Communiquer avec les partenaires, les sous traitants, les fournisseurs, les investisseurs,
 - o Simuler le processus d'industrialisation
- L'ingénierie collaborative : contribution des partenaires du projet, implication des sous traitants et des fournisseurs
- L'allégement du véhicule : matériaux et mise en forme des matériaux,
- Le processus d'industrialisation dans une démarche d'éco-conception (et éco-construction)
- La fiabilité du système : limiter les ruptures d'exploitation

Actions à mener durant les douze prochains mois (Phase démonstrateur technique' :

- Décider de l'ensemble des orientations suite l'avant projet,
- Etablir de nouvelles relations avec des centres de recherche (si possible dans le cadre des pôles de compétitivité),
- Poursuivre l'étude :
 - o Améliorer la conception et le processus,
 - o Anticiper les facteurs de risques.
- Fabriquer un démonstrateur technique et industrialiser

Objectif au terme de la phase 'Démonstrateur technique' :

- Expérimenter le véhicule sur site afin de :
 - o Optimiser le véhicule et les conditions d'utilisation (profil de mission),
 - o Confirmer le marché.