

1. Les atouts de l'aluminium

- Une carrosserie en aluminium réduit le poids à vide du véhicule. Pour un VUL, avec une carrosserie en acier le poids à vide du véhicule est souvent très proche du PTAC, la charge pouvant être transportée est alors très faible. C'est pourquoi pour éviter certaines absurdités, la vérification d'une charge utile minimale a été imposée pour les véhicules de PTAC 3.5t.

La masse volumique de l'acier est de 7800 kg/m^3 et l'aluminium de 2700 kg/m^3 . L'aluminium est par conséquent plus léger que l'acier. Le gain d'une structure en aluminium est d'environ 2/3 plus léger que si elle était en acier.

- L'aluminium étant plus léger que l'acier, une carrosserie tout en aluminium permet d'augmenter la charge utile transportée. Le gain de poids du véhicule à vide permet une économie de carburant d'environ 0.6 l/100 km. Cette économie est d'autant plus significative lorsque la marchandise à transporter est volumineuse mais légère et que le PTAC du véhicule n'est pas atteint.

- La très bonne résistance à la corrosion de l'aluminium augmente considérablement la durée de vie des véhicules notamment en milieu agressif (bord de mer, ambiance industrielle). Pour cette raison les véhicules d'occasion conservent une valeur vénale plus élevée que les véhicules en acier.

- Un revêtement de type peinture ou traitement des surfaces n'est pas indispensable. Le nettoyage est facile et l'entretien est réduit au minimum.

- La manipulation des ridelles et des portes est plus légère, les conducteurs fournissent moins d'efforts et diminuent le risque de blessures.

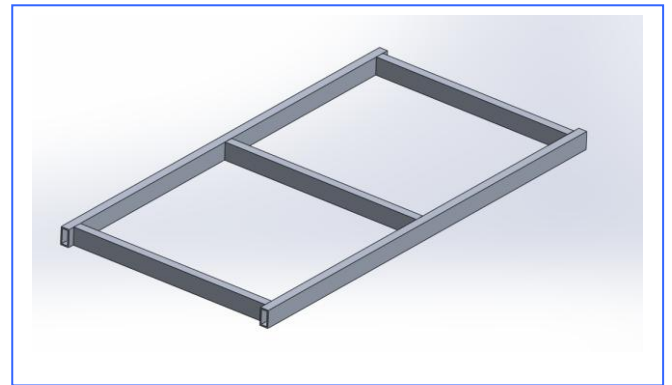
Nous prenons un faux châssis de dimension $2000 \times 1000 \text{ mm}$ de section rectangulaire $80 \times 40 \times 6 \text{ mm}$.

À dimension de profil égale :

- La masse de ce faux châssis en acier est de 69,548 kg.

- La masse de ce faux châssis en aluminium est de 24,074 kg.

Soit un gain en poids de 65 % !!!!



Si nous prenons une benne arrière JPM tout en acier pour équiper un VUL, le poids annoncé est 383 kg.

En conservant les mêmes dimensions de structure, le poids tout en aluminium serait de $383/2.88 = 133 \text{ kg}$. Le gain en poids est de 65.2% et un gain de charge utile de $383 - 133 = 250 \text{ kg}$!

Ce constat laisse à penser qu'il suffit de remplacer la matière de la structure en conservant les mêmes dimensions.

Mais qu'en est il de la déformation (rigidité) et de la résistance mécanique ?

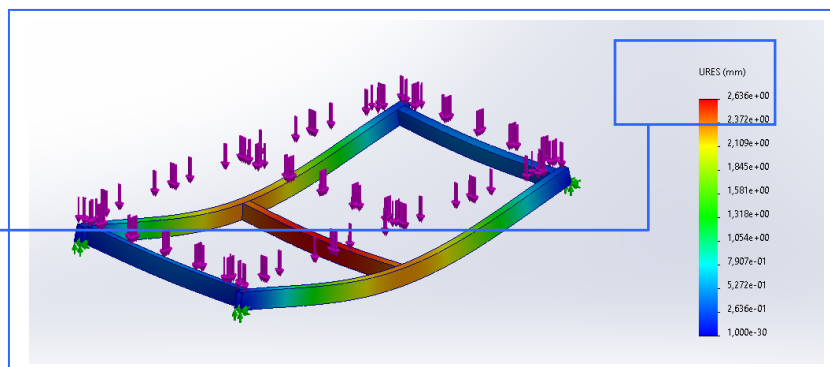


2. Etude du faux châssis acier/aluminium

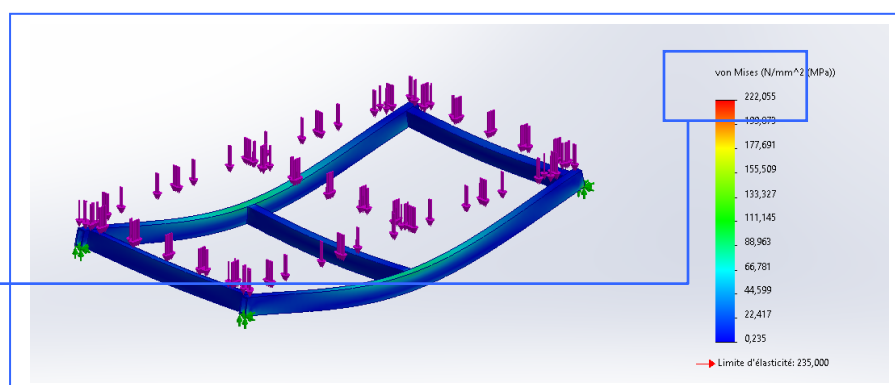
Nous reprenons le faux châssis de la page 1 que nous soumettons à une charge répartie de 500 kg en appui sur ces 4 extrémités.

▪ Version acier (S235)

Le déplacement maximal est de 2.63 mm.

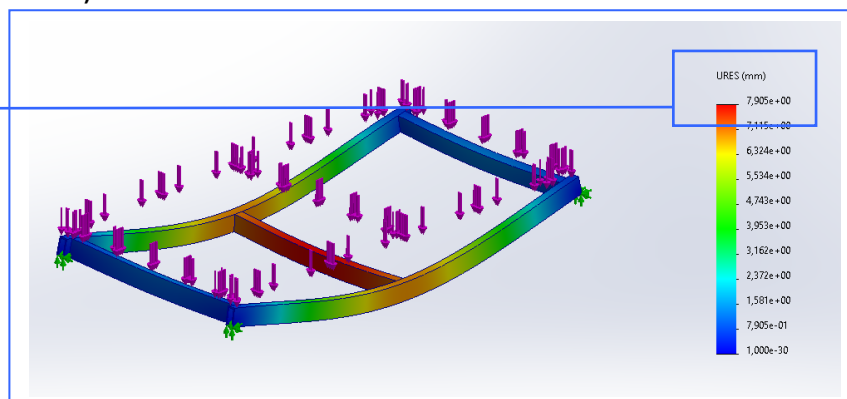


La contrainte maximale de von mises est de 222 Mpa.

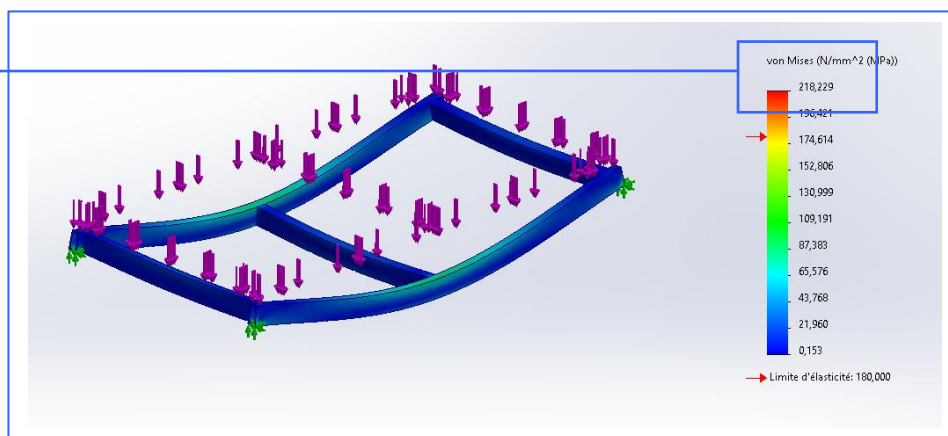


▪ Version en aluminium (ici série 3000)

Le déplacement maximal 7.91 mm.



La contrainte maximale de von mises est de 222 Mpa.



• Bilan

La différence la plus importante est la déformation maximale : en acier nous avons 2.63 mm et en aluminium 7.91 mm soit un rapport de $7.91/2.63 = 3$.

Nous en déduisons qu'à section de profilés identiques (dimension et section) l'aluminium se déforme 3 fois plus que l'acier.

• Explication

Nous utilisons la courbe de traction.

Source Fanchon

Il existe une relation entre la contrainte et l'allongement relatif :

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

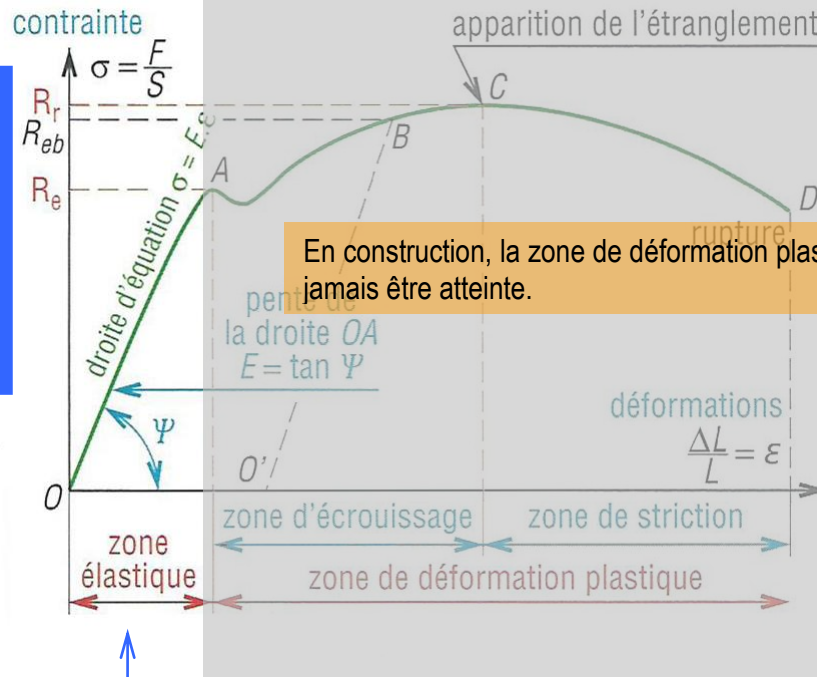
Pour l'acier $E_{\text{acier}} = 210\,000 \text{ Mpa}$

Pour l'aluminium $E_{\text{alu}} = 70\,000 \text{ Mpa}$

E est le module d'Young en Mpa

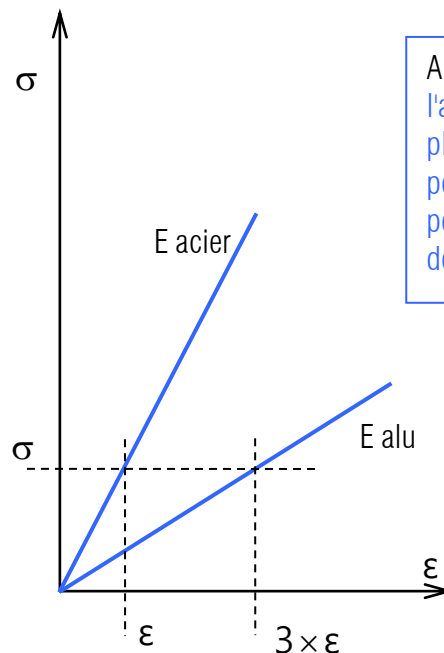
Il est l'image de la pente de la droite dans la zone élastique.

Plus la valeur de E est grande, plus la pente de la droite est importante.



Dans la zone élastique, la pièce en traction se comporte comme un ressort qui reprend sa position lorsque l'effort de traction disparaît.

Nous superposons les 2 courbes de traction (acier et aluminium) dans la zone élastique.



A contrainte égale (chargement) l'aluminium se déforme 3 fois plus que l'acier. C'est la raison pour laquelle le concepteur ne peut reprendre les mêmes profils de section des structures.

• Conclusion

Si vous conservez un élément de carrosserie avec ses dimensions de section de départ mais en changeant uniquement la matière (acier remplacé par de l'aluminium), la nouvelle carrosserie en aluminium se déformera 3 fois plus que celle en acier.

Pour le client cette déformation excessive est inacceptable. Par conséquent il n'est pas possible de garder les mêmes dimensions de section des structures. La nouvelle construction en aluminium aura des sections plus importantes.

3. Ce que dit la documentation Renault

Pour un Renault master phase 3, Renault donne des préconisations pour utiliser l'aluminium pour la conception des faux châssis.

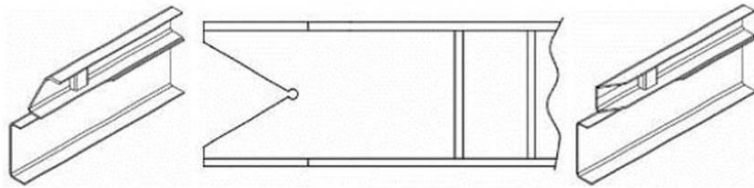
5.4.3. PRECONISATION POUR LA REALISATION DU FAUX CHASSIS

5.4.3.1. STRUCTURE- GENERALITES

Pour établir une liaison correcte entre le châssis du véhicule et la superstructure (carrosserie) vous devez utiliser pour toutes les transformations un faux-châssis ou un soubassement (superstructure autoporteuse) qui sert de faux-châssis.



- Le faux-châssis doit reposer sur toutes les plaquettes pour assurer une répartition uniforme des charges.
- Le faux-châssis doit utiliser tous les points de fixations (intérieur et extérieur) prévus sur les longerons.
- Le faux-châssis doit être suffisamment rigide pour supporter les efforts liés à la transformation.
- La fixation du faux-châssis doit se faire sur un véhicule stationné sur un plan horizontal.
- Effectuer une réduction progressive des longerons du faux-châssis, afin de mieux répartir les efforts sur les longerons du véhicule, il faut obligatoirement prévoir une découpe à l'avant des longerons du faux-châssis (voir exemples de principes de longerons de châssis rapporté ci-dessous).



⇒ Pour tous ces points, se reporter aux paragraphes 5.4.1 et 5.4.2

5.4.3.2. PRECONISATIONS POUR LA CONCEPTION DU FAUX CHASSIS

1- Longeron faux châssis

Quel que soit la forme des longerons du véhicule de base, les longerons du faux-châssis peuvent suivre la forme du châssis (fig1) ou être rectiligne (fig 2).

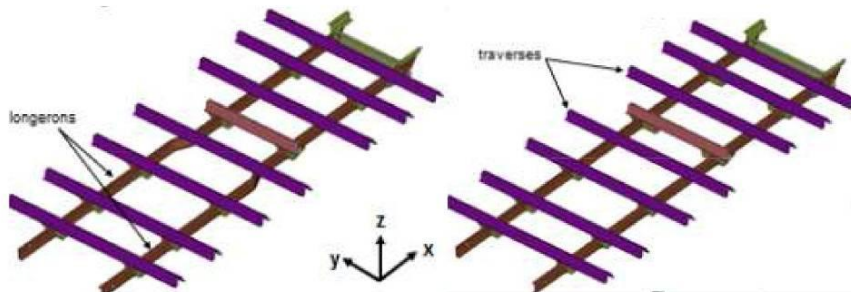


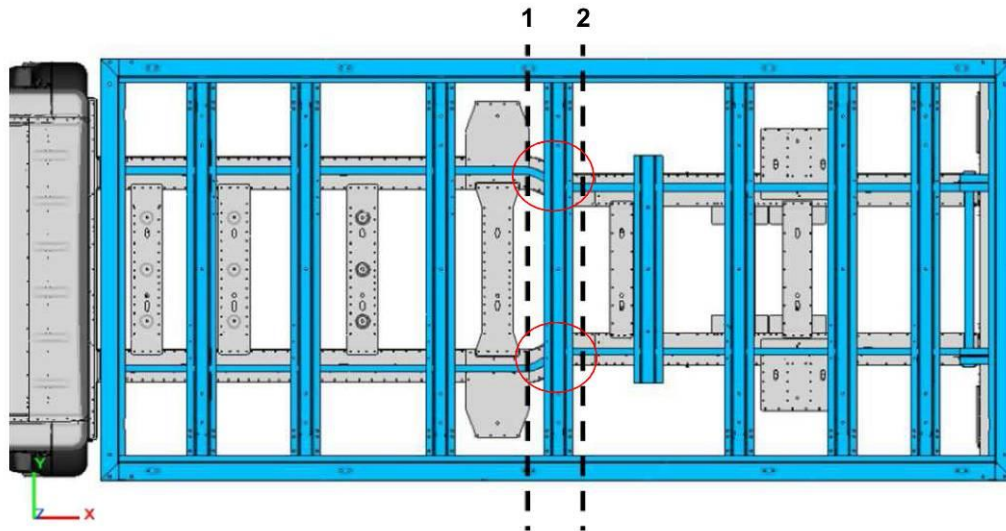
Fig.1- Faux-châssis qui suit la forme du châssis

Fig.2- Faux-châssis rectiligne

2- Traverses du faux-châssis roues jumelées

Il est nécessaire d'implanter une traverse au niveau du « S » du longeron du véhicule de base.

→ Traverse à positionner entre les repères 1 et 2



3- Liaison entre longeron et traverse du faux-châssis

La liaison traverse et longeron du faux-châssis doit être bloquée en rotation, quel que soit les concepts : traverses au-dessus des longerons ou traverses au même niveau « Z » que les longerons ;

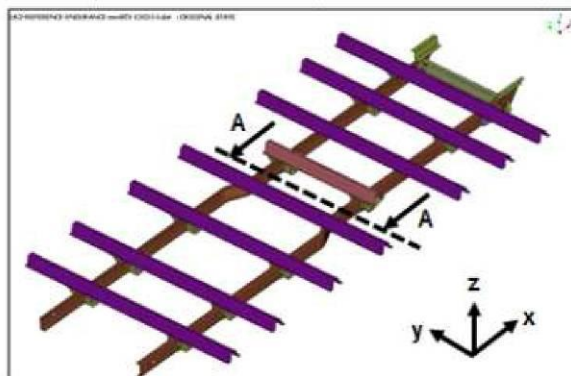
→ Chaque traverse (du faux châssis) doit être reliée au longeron (du faux-châssis) par au moins 2 « éléments de liaison* » de part et d'autre de la traverse.

* *Élément de liaison = vissage, point soudure, rivetage.*

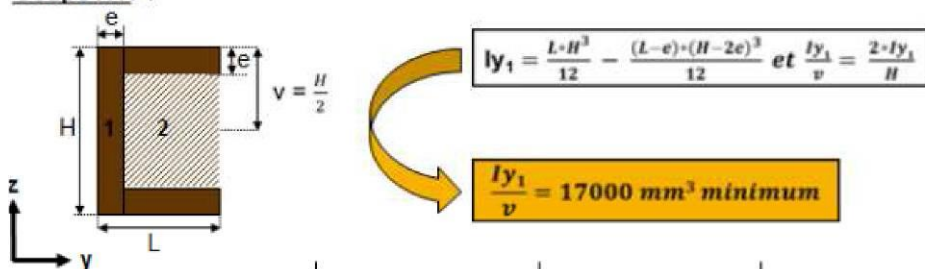
4- Inertie du longeron du faux-châssis

→ Pour une structure en acier, le module d'inerties minimal par longeron devra être $\geq 17\,000 \text{ mm}^3$; ceci est valable pour les bennes, plateaux et Grand volume.

Exemple sur un profilé en U



Coupe A-A :



5- Qualité des matériaux du faux-châssis

- **Acier** : prescription (plus particulièrement pour les longerons) HX220YD (norme EN) ou S235JRG2.

Matière	Limite d'élasticité (MPa)	Résistance à la traction (MPa)
S235JRG2	≥ 235	340-510
HX220YD	220-280	340-420

- à la place de ces 2 « aciers » ci-dessus, utilisation possible des matériaux équivalents conformes aux normes US (SAE/ASTM J403/J412/J413), japonaises (JIS G3445) ou anglaises (BS 970).
- Dans le cas d'un faux-châssis en **aluminium**, sa résistance à la flexion ($E \times I$) doit être au moins égale à celle d'un faux-châssis en acier ; se référer aux indications du fabricant d'aluminium.

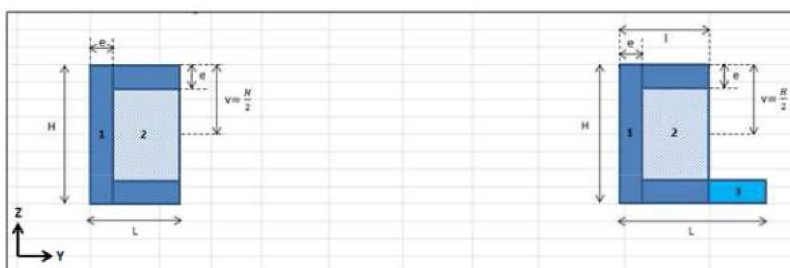
6- Dimensions des profilés et dimensionnement des longerons du faux-châssis

Pour les longerons vous pouvez utiliser :

- Des profilés en U chanfreinés
- Des profilés du commerce pour la construction automobile
- Des profils en caisson.

Les dimensions des longerons dépendent du module d'inertie (I_y/v en mm^3) requis pour la superstructure et le châssis.

Exemples d'inerties de longeron de faux-châssis :



Section (mm)

Section (mm)				I_y/v (mm^3)
H	L	I	e	
120	40	40	2,5	16 788
150	52	52	3,5	37 418
190	140	60	2,5	41 643
140	90	50	4	37 386

Quelle est la condition que Renault indique concernant une structure en acier ou en aluminium ?

Nous rappelons que (**E**) est le module d'Young (en Mpa) du matériau et (**I**) est le moment quadratique (en m^4) de la section du profilé. Dans la documentation Renault, (**I**) est en fait $I_{Gz}(S)$, c'est à dire le moment quadratique de la section du profilé par rapport à l'axe horizontal (z) passant par le centre de gravité de la section.

Lorsque vous voulez reconstruire une structure en acier pour laquelle la déformation est satisfaisante en une structure en aluminium, vous devez respecter la condition suivante :

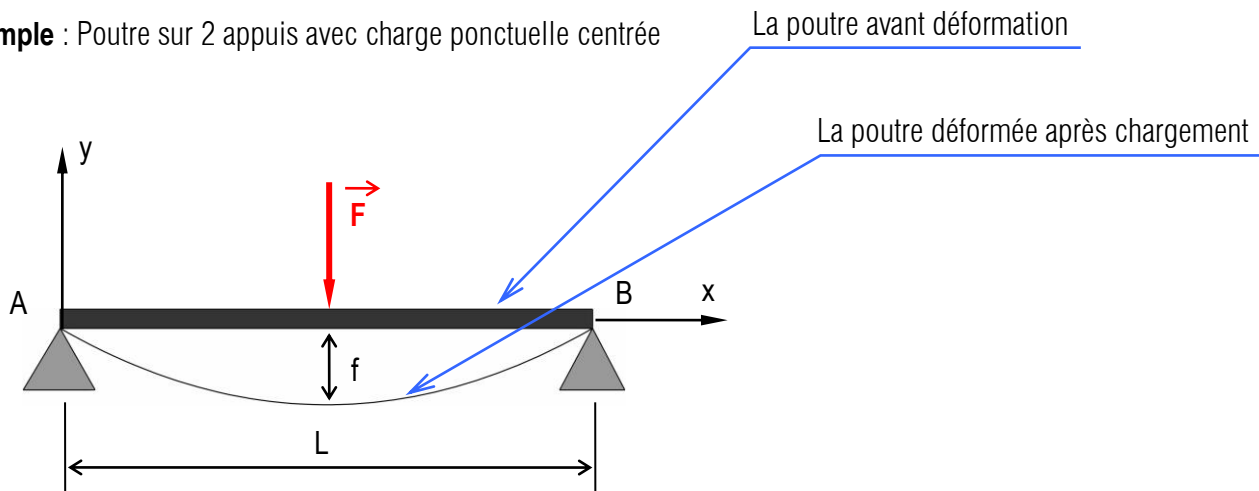
$$E_{\text{acier}} \times I_{\text{acier}} = E_{\text{alu}} \times I_{\text{alu}}$$

Cette relation permet d'obtenir la même rigidité de la structure en acier et ou en aluminium.

4. Origine de la relation ($E \times I$)

4.1. Notion de rigidité

Exemple : Poutre sur 2 appuis avec charge ponctuelle centrée



La déformation maximale est appelée flèche (f).

$$|f| = \frac{F.L^3}{48.E.I_{GZ}}$$

Si vous faites l'analogie avec un ressort, l'allongement est proportionnel à la force : $F = k.x$
(k) est appelé raideur du ressort, avec k :

$$k = \frac{F}{x}$$

• Remarque

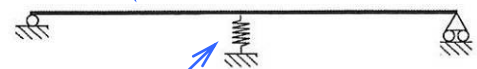
D'une certaine façon dans la zone élastique, la poutre se comporte comme un ressort : Si le chargement disparaît, la poutre reprend sa position initiale.

4.2. Modélisation de la rigidité d'une poutre

Nous remplaçons la poutre par un élastique tendu. Nous plaçons un ressort au droit de la flèche (déformation maximale).

Elastique

Ressort

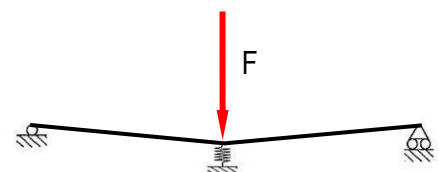


Après chargement, la "poutre" (le fil élastique) se déforme au voisinage de la flèche d'une valeur de :

$$|f| = \frac{F.L^3}{48.E.I_{GZ}}$$

Pour un allongement de valeur f , la force de traction est $F = k.f$

$$F = \frac{48.E.I_{GZ}}{L^3} \times f$$



La raideur du ressort virtuel est :

$$k = \frac{48.E.I_{Gz}}{L^3}$$

Comme nous voulons que la structure en acier ait la même déformation que celle en aluminium, nous avons :

Nous retrouvons la relation énoncée par Renault.

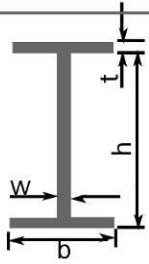
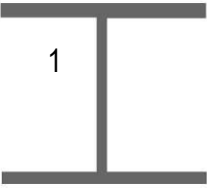
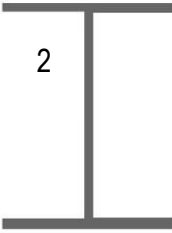
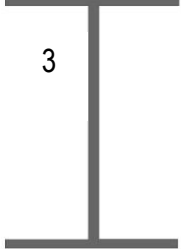
En sachant que $E_{\text{acier}} = 3 E_{\text{alu}}$, on en déduit que :

▪ Exemple

Soit une poutre IPE 240 en acier.

Nous vous demandons de choisir les caractéristiques d'une poutre en aluminium qui aurait la même raideur (le même fléchissement) mais aussi le gain de poids maximal.

Nous donnons les caractéristiques de quelques IPE alu qui pourrait convenir :

	Acier	Aluminium	Aluminium	Aluminium
		1 	2 	3 
Moment d'inertie en mm^4	$38.9 \cdot 10^6$	$116.6 \cdot 10^6$	$116.7 \cdot 10^6$	$117.3 \cdot 10^6$
$E \times I$ (N/mm^2)	$8.17 \cdot 10^{12}$	$8.16 \cdot 10^{12}$	$8.17 \cdot 10^{12}$	$8.21 \cdot 10^{12}$
h (mm)	240	240	300	330
b (mm)	120	240	200	200
w (mm)	6.2	12	6	6
t (mm)	9.8	18.3	12.9	10
Masse unitaire (kg/m)	30.7	30.3	18.4	15.8
Masse en % de la poutre en acier 100 %		99 %	60 %	51 %

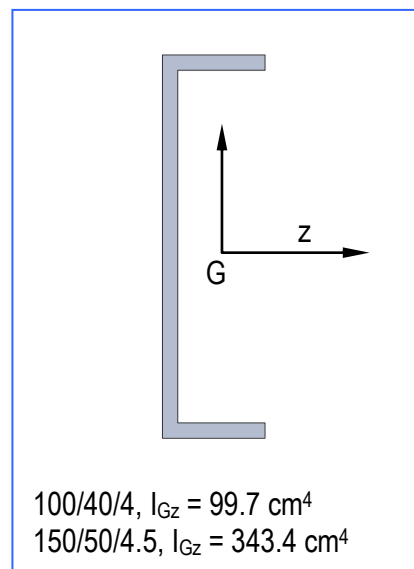
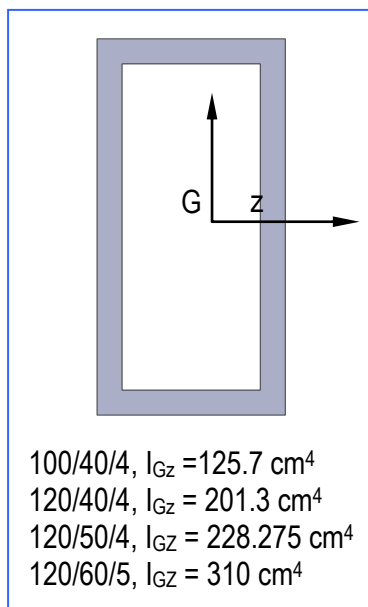
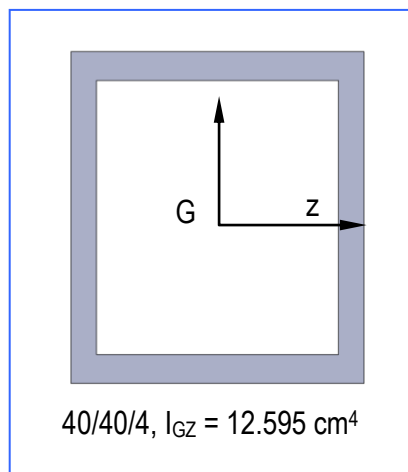
▪ Correction

5. Exercice

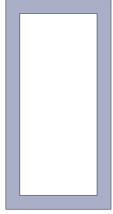
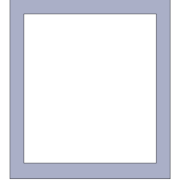
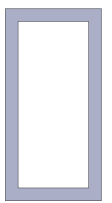
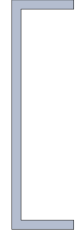
Nous reprenons le châssis de la page 1. Le moment quadratique des profilés rectangulaires est $I_{Gz}(S) = 97.4 \text{ cm}^4$.

Les préconisations Renault n'imposent pas une forme de section. Par conséquent la section peut être de forme carré, rectangulaire ou en forme de C ou autres.

Nous limitons l'étude à une largeur de la base de 40 mm à 60 mm et uniquement à des profils carré, rectangulaire et en C. Nous proposons plusieurs profilés en aluminium (La famille d'alliage n'est pour l'instant pas proposée) :



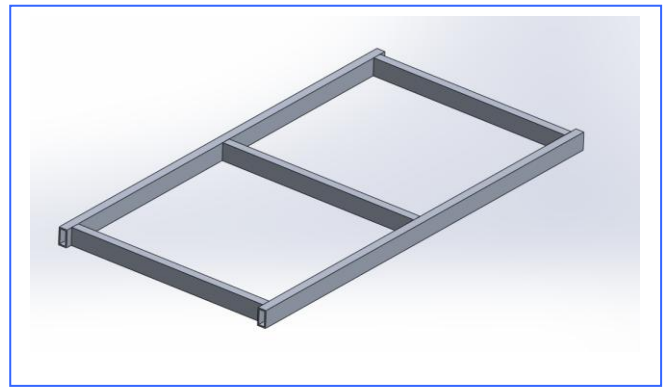
- Compléter le tableau ci-dessous et sélectionner les profilés en aluminium pouvant convenir :

	Acier		Aluminium					
Profil de la section								
E (Mpa) x I_{Gz} (cm ⁴)	80/40/6		40/40/4		100/40/4		100/40/4	
					120/40/4		150/50/4.5	
					120/50/4			
					120/60/5			
Conclure :								

Dans la suite nous retenons la solution du profilé rectangulaire 120/60/5 mm. Le choix de cette solution ne prend en compte d'autres critères comme par exemples le prix, l'approvisionnement, la montabilité, le type de suspension du véhicule...

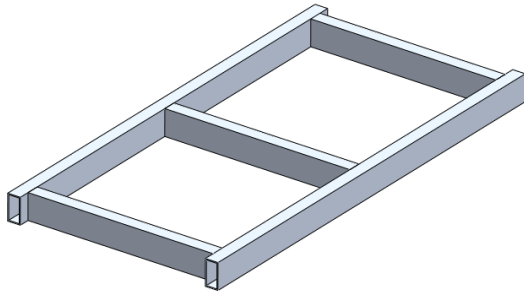
Dans la solution en acier la longueur de profilés utilisés est de 6880 mm.
La masse linéique est de 10.11 kg/m.

- Calculer le poids du châssis en acier :



Solution acier, profil rectangulaire 80/40/6

Solution alu, profil rectangulaire 120/60/5

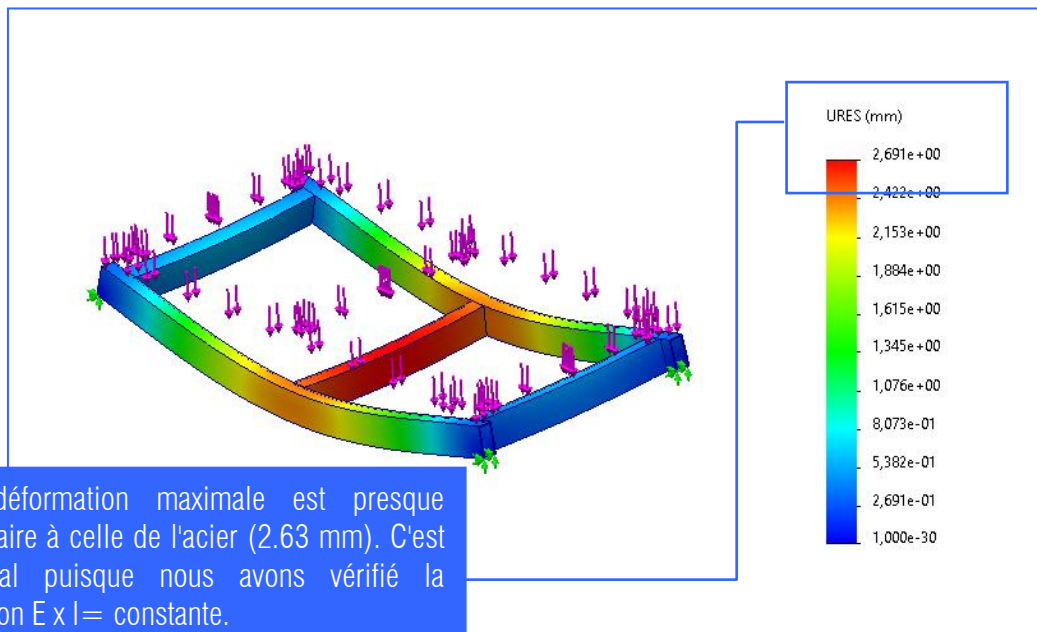


La masse linéique du profilé aluminium est de 4.98 kg/m.

- Calculer le poids du châssis en aluminium :

- Calculer le gain en poids en pourcentage :

On teste le châssis en aluminium dans les mêmes conditions que celui de la page 2 où nous avons une déformation maximale de 2.63 mm.



L'exercice précédent ne prend en compte que de la rigidité du châssis. **Mais qu'en est-il de la résistance mécanique ?**

Dans la suite nous allons énoncer la désignation des alliages d'aluminium et choisir un alliage en fonction de ses caractéristiques mécaniques.

6. La désignation des alliages d'aluminium

Quand on parle d'aluminium, on parle en fait d'alliage d'aluminium (un peu comme le fer et l'acier). Les caractéristiques de l'aluminium seul sont très médiocres en termes de résistance mécanique.

Les alliages d'aluminium sont référencés par 4 chiffres. (1XXX à 8XXX). On parle de famille ou de série (1000, 2000, 3000, etc.).

Le premier chiffre désigne les principaux éléments ajoutés.

Le deuxième chiffre permet d'identifier les variantes successives d'un alliage.

Source Almet

Série	Désignation	Principaux éléments ajoutés	Exemples
1000	1XXX	Aluminium pur à 99 % minimum	1050, 1080, 1200
2000	2XXX	Aluminium + Cuivre	2017, 2030, 2618
3000	3XXX	Aluminium + Manganèse	3003, 3005, 3105
4000	4XXX	Aluminium + Silicium	4047, 4015, 4925
5000	5XXX	Aluminium + Magnésium	5754, 5083, 5086
6000	6XXX	Aluminium + Magnésium + Silicium	6060, 6061, 6082
7000	7XXX	Aluminium + Zinc + Magnésium	7075, 7020, 7049
8000	8XXX	Aluminium + Fer + Silicium	8011, 8019

Les éléments additifs sont le cuivre (Cu), le magnésium (Mg), le manganèse (Mn), le plomb (Pb), le silicium (Si), le zinc (Zn) et le titane (Ti).

Par exemple le cuivre améliore les caractéristiques mécaniques.

Source Almet

Alliage	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Chaq.	Tot.(3)	Al
1050 A											
	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05		0,07	0,05	0,03		le reste
2011			5,00								
	0,40	0,70	6,00				0,30		Pb=0,2-0,6	0,05	0,15 le reste
2014	0,50		3,90	0,40	0,20				Zr+Ti		
	1,20	0,70	5,00	1,20	0,40	0,10	0,25	0,15	0,20	0,05	0,15 le reste

On donne les caractéristiques mécaniques :

Caractéristiques Mécaniques selon norme NFEN 485-2 et 755-2 (1)

Alliage	Etat	Caractéristiques mécaniques en traction				Dureté Brinell	Module (2) de Young MPa	Résistance au cisaillement
		Rp 0,2 mini MPa	Rm mini	Rm maxi MPa	A 5,65 mini %			
1050A	H14	85	105	145	4	35	69 000	70
1200	O	25	75	105	24	23	69 000	60
2017A	T4	260	390	425	13	111	74 000	275
2024	T3	290	340	475	14	123	73 000	290
2030	T3	240	370	460	7	115	73 000	280
3003	H14	125	145	185	3	45	69 000	95
3005	H14	150	170	215	2	55	69 000	120
Isolalu®	H11	90	120	175	3	----	69 000	----
Isocal®	H12	120	145	195	2	----	69 000	----
Poudral® ep < 2,1	H12	120	145	195	2	----	69 000	----
Poudral® ep > 2,1	H12	80	140	180	12	----	69 000	----
5005	H24	120	145	185	3	45	69 000	95
5083	H111	125	275	350	15	70	71 000	175
Sealium®	H116	220	305		10	----	71 000	----
5086	H111	100	240	310	15	65	71 000	165
5754	H111	80	190	240	18	55	70 000	140
5754	H22	130	220	270	10	75	70 000	140
6005A	T6	215	260	285	8	90	79 500	175
6060	T6	160	215	245	12	85	69 500	150
6061	T6	240	260		8	95	69 000	190
6082	T6	200	270		10	95	69 000	210
6106	T6	200	250		14	85	69 500	----
7075	T6	475	545		8	150	72 000	305

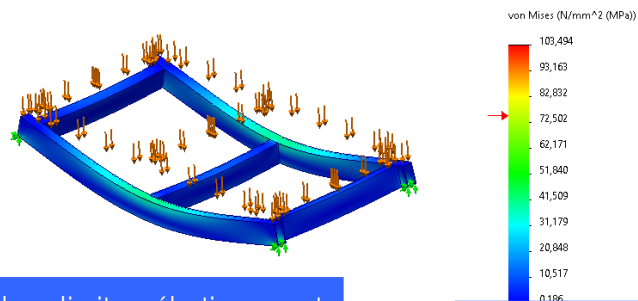
On constate que plus le premier chiffre de la famille est grand, plus la limite élastique est grande. Nous testons dans les mêmes conditions de chargement le faux châssis :

- Donner la limite élastique pour la série 3003 : _____

On teste le châssis dans les mêmes conditions que celui de la page 2 pour 3 familles d'alliage d'aluminium :

Série 1060

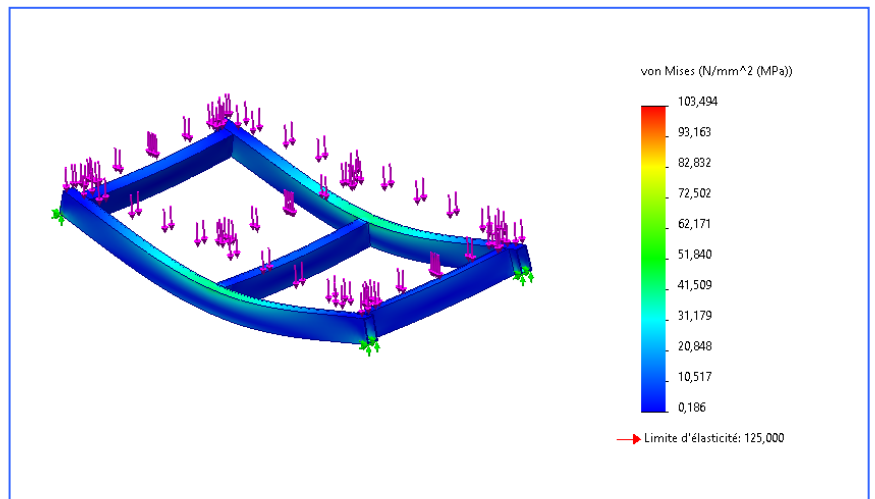
- Indiquer la valeur maximale de contrainte Von mises : _____
- Conclure :



La limite élastique est indiquée.

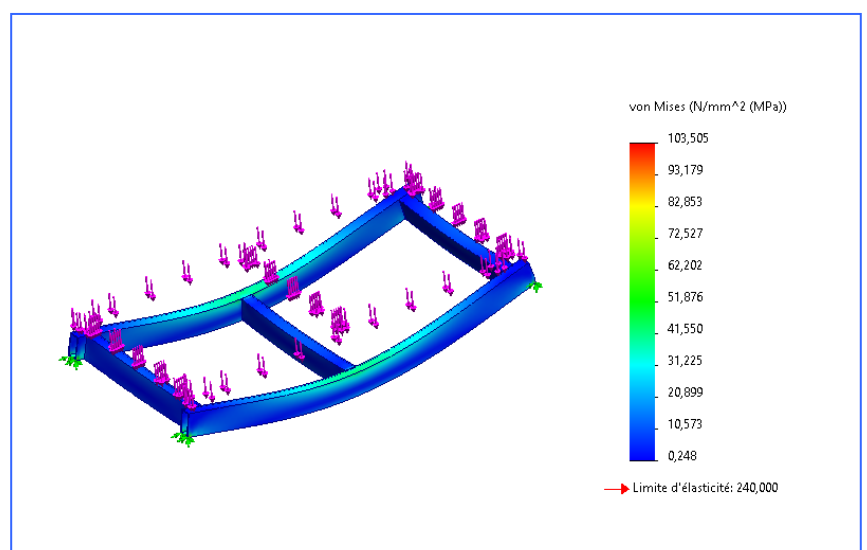
Série 3003

- Indiquer la valeur maximale de contrainte Von mises : _____
- Conclure :



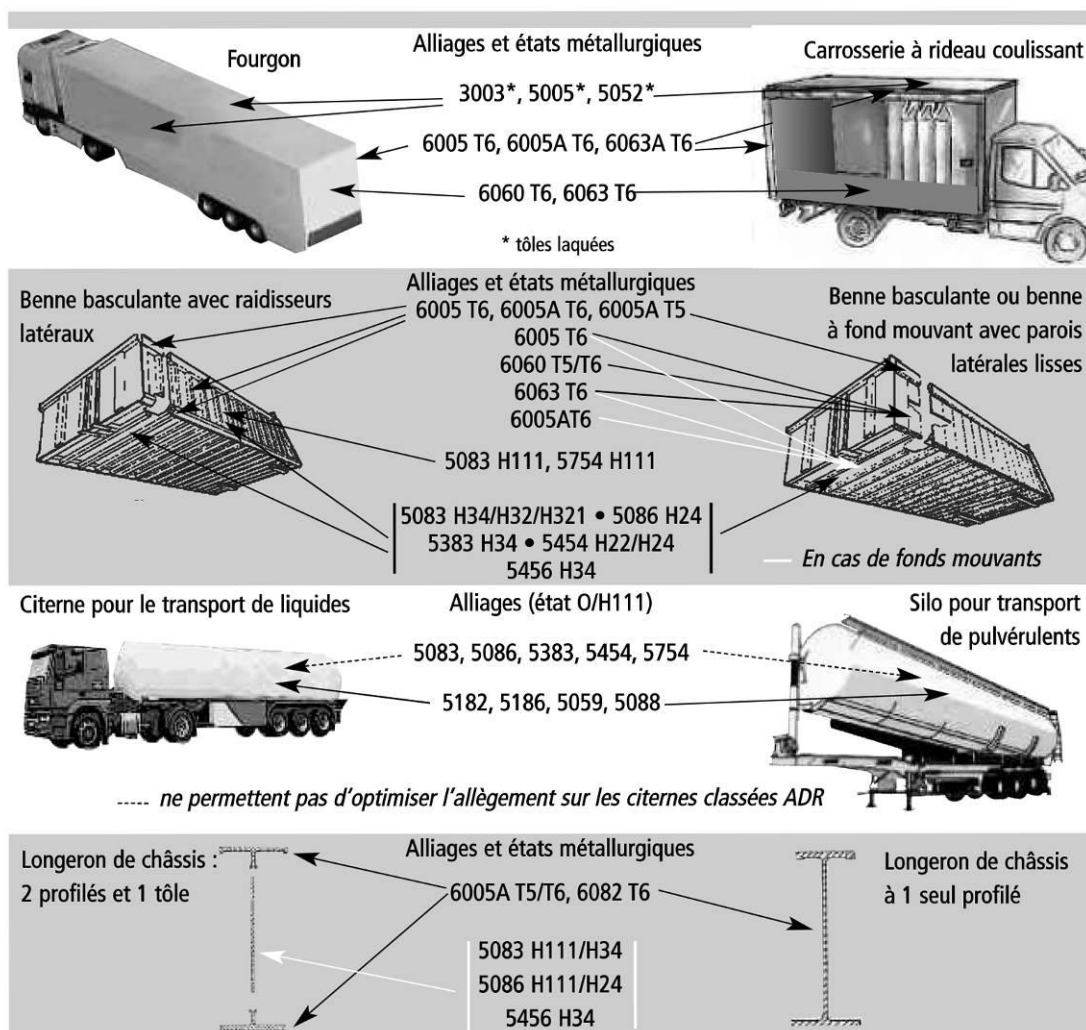
Série 6080

- Indiquer la valeur maximale de contrainte Von mises : _____
- Conclure :



7. Guide de choix de l'aluminium

L'association européenne de l'aluminium donne pour indication les séries d'alliage d'aluminium à utiliser dans les carrosseries industrielles.



AUTRES APPLICATIONS

Roues	6061, 6082	Suspensions	21100
Réservoir gazole	5052, 5754	Composants structuraux & supports de charnières	42000, 42100
Hayon élévateur	6005A	Pièces aux formes complexes subissant des contraintes moyennes	43000
Plancher	6082, 5086, 5754	Pièces aux formes très complexes sans fonction structurales	44000
Cadres pour autobus	6060, 6005A		
Parois latérales et toits pour autobus	3003, 5005		
Modules anticollision	6008		
Parechocs, boîtier anti collision, protection anti retournement	7003, 7108		