

Les grues de chargement

Une grue de chargement est un appareil de levage motorisé à charge suspendue, installée sur un camion de transport de matériels ou de matériaux. Son ancienne appellation est "grue hydraulique auxiliaire". La grue est installée sur le porteur par le constructeur ou un installateur spécialisé.



Source Palfinger

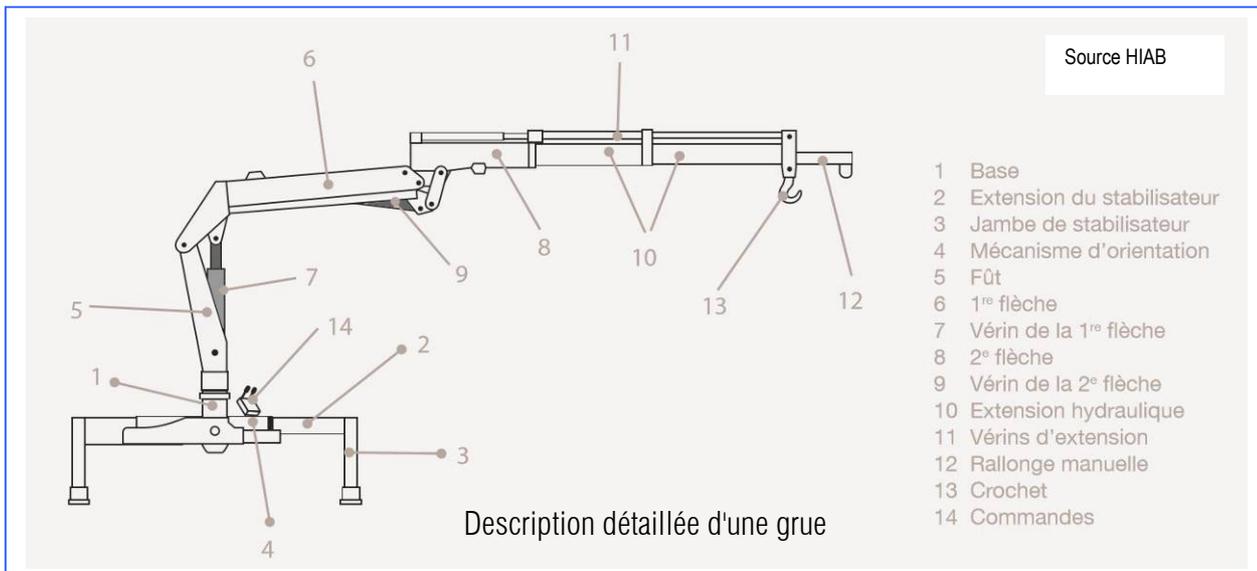
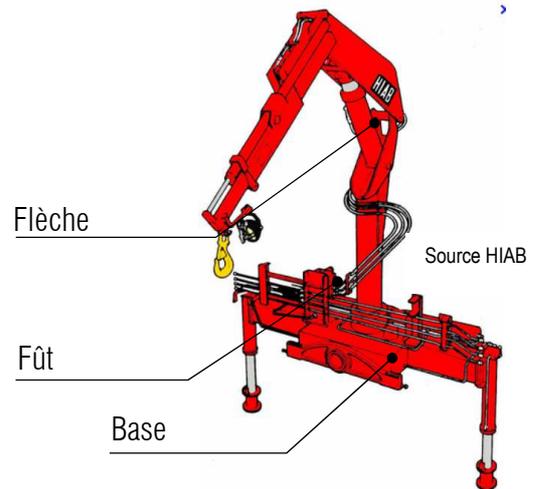


Source MAN

1. Description

Une grue est constituée :

- **d'une base** qui permet la liaison de la grue avec le châssis du véhicule. Cette base comporte les vérins stabilisateurs qui assurent la stabilité de l'appareil et limitent les effets de flexion et de torsion du châssis porteur.
- **d'un fût** vertical (colonne), relié à la base par un mécanisme d'orientation et recevant en partie haute la flèche.
- **de la flèche** composée de plusieurs éléments télescopiques, munie de vérins de relevage et comportant à son extrémité d'un crochet articulé (cas général).



2. Position de la grue sur le porteur

Il y a 2 montages possibles :

- Montage à l'avant juste derrière la cabine (on parle aussi de **montage dos cabine**),
- Montage à l'arrière du véhicule après le dernier essieu (on parle aussi de **montage en porte à faux**),

2.1. Montage dos cabine



Source INRS

Montage derrière la cabine

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Bonne stabilité à l'arrière (Bonne zone de travail à l'arrière sur 180°) - Idéal pour les tracteurs, les camions avec benne de chargement ou avec des plateaux pour conteneurs. - L'essieu arrière est légèrement chargé. - Coût peu élevé du faux châssis. - Possibilité de transporter des grandes longueurs de marchandise (celle-ci peut dépasser derrière le porte à faux). 	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvaise stabilité sur l'avant du véhicule. - L'essieu avant est fortement chargé. Selon le poids propre de la grue une augmentation de la charge admissible sur cet essieu doit être envisagée ou ajouter un essieu. - Perte de longueur de portée de grue vers l'arrière.

2.2. Montage en porte à faux



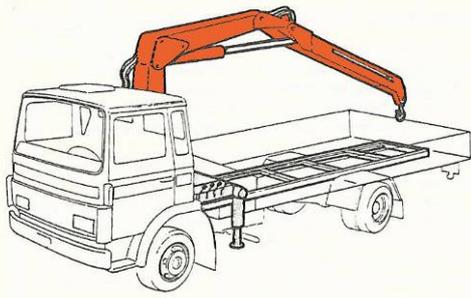
Source INRS

Montage en porte à faux arrière

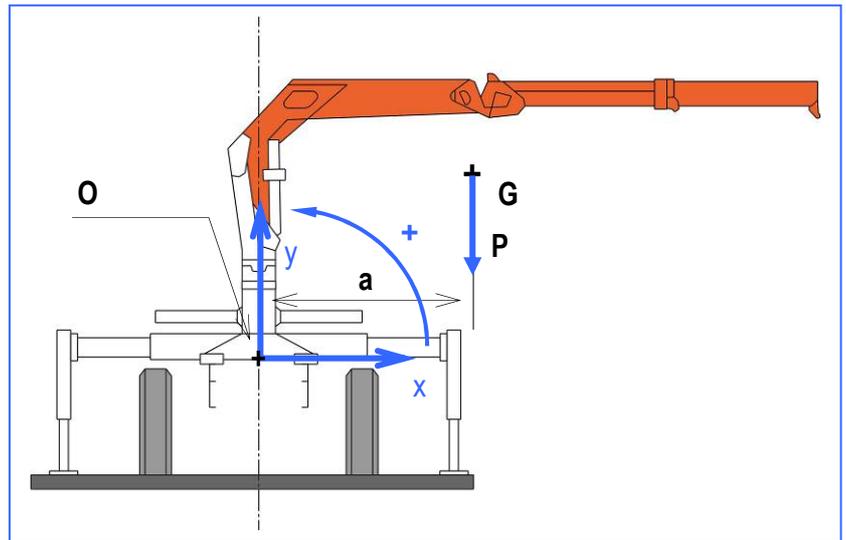
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Bonne stabilité sur l'avant du véhicule. - Ce montage est seulement approprié pour les plateaux de chargement. - L'essieu avant n'est pas surchargé. - Pas de perte de longueur de portée vers l'arrière. - Chargement et déchargement simple d'une remorque. - Zone de travail importante (360°). 	<ul style="list-style-type: none"> - Le transport de longueur importante est limité. - Essieu Arrière très chargé. - Effort de torsion plus important ce qui implique un faux châssis plus résistant.

3. Moment dynamique d'une grue

Nous prenons un camion équipé d'une grue.



Source ETAI



3.1. Moment statique dû au poids de la flèche de la grue

Lorsque la grue est en position flèche horizontale complètement sortie, le poids propre de la flèche (noté P) tend à faire basculer le porteur. Les constructeurs donnent pour chaque grue la distance maximale (a) du centre de gravité (G) de la flèche seule (en couleur orange sur la figure ci dessus) par rapport à l'axe de la grue.

- Donner l'expression littérale du vecteur moment $\vec{M}_O(\vec{P}) = - (P \cdot a) \vec{z}$ puis son intensité $M_O(\vec{P}) = P \cdot a$.

- Application numérique

- Nous prenons une grue **Palfinger PK2900 A** (voir doc page 5), calculer la valeur de l'intensité du moment du poids propre de la flèche en position horizontale par rapport l'axe de la grue en kN·m :

La valeur du bras de levier (a) à retenir est $SZA = 2050 \text{ mm}$ (PK2900A). La masse de la flèche est de 179 kg (1,76 kN avec $p = m \cdot g$ avec $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$).

$$M_O(\vec{P}) = P \cdot a = 1,76 \cdot 2,05 = 3,608 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

3.2. Moment statique dû au poids de la charge maxi

Pour chaque grue il y a un graphe de portée dont les principales valeurs sont indiquées sur une plaque fixée sur la grue.

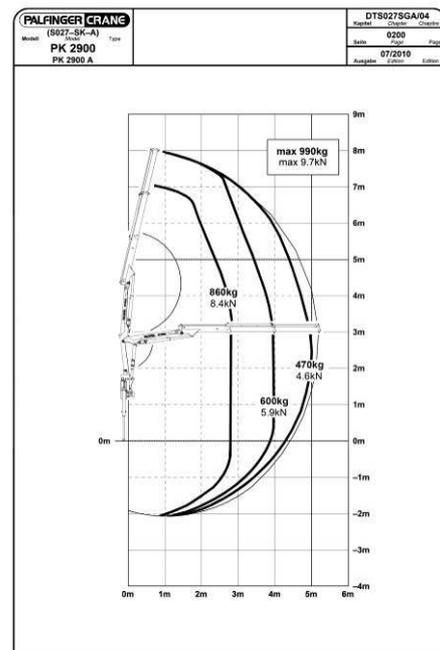
A partir du graphe de la page 6 :

- Indiquer la valeur maximale (en m) de la portée lorsque la flèche en position horizontale est complètement sortie :

$$b = 5,2 \text{ m}$$

- A partir de la page 6, donner pour cette valeur maximale de portée, la valeur de la charge maximale F (en kN) pouvant être soulevée par la grue :

$$\begin{aligned} \text{La masse de la charge maximale est } 470 \text{ kg.} \\ F = m \cdot g = 470 \cdot 9,81 = 4611 \text{ N} = 4,611 \text{ kN} \end{aligned}$$



Source Palfinger

Donner l'expression littérale du moment

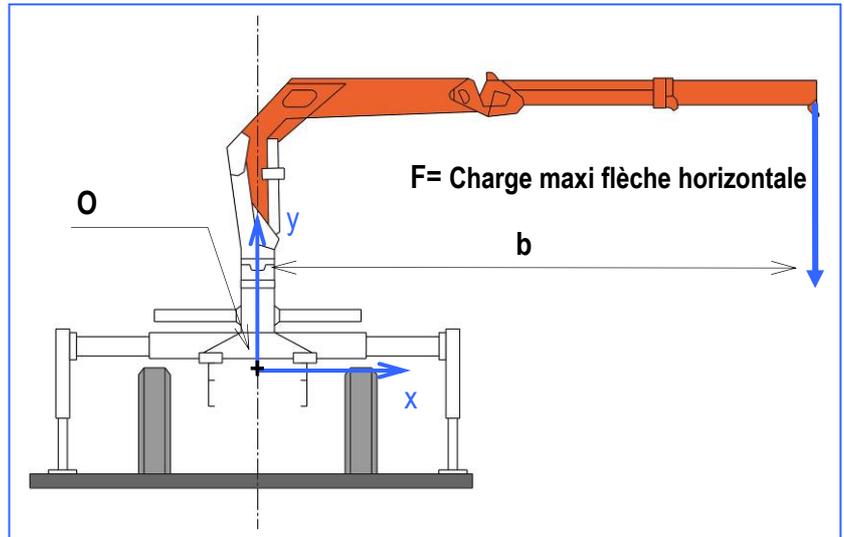
$$= M_O(\vec{F}) = -(\vec{F} \cdot \vec{b}) \vec{z} \text{ puis son intensité}$$

$$M_O(\vec{F}) = F \cdot b.$$

- Calculer la valeur de ce moment (en kN·m) :

$$M_O(\vec{F}) = F \cdot b = 4,611 \cdot 5,2 = 23,977 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La valeur correspond au "couple de levage" de la grue.
C'est une constante de la grue.



- Calculer la force de levage lorsque la flèche de la grue est déployée de 2,8 m : $F_{2,8} = M_O(\vec{F}) / 2,8 = 23,977 / 2,8 = 8,56 \text{ kN}$

- Proposer une autre méthode pour déterminer cette valeur : A partir du graphe de la page 6.

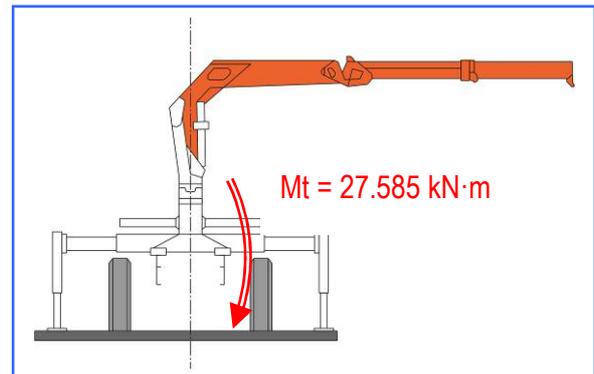
- Donner le tonnage par mètre de la grue : Il faut calculer la masse de la charge que peut soulever une grue pour 1 m soit :

$F_1 = M_O(\vec{F}) / 1 = 23,977 \text{ kN}$. La masse est $m = F_1 / g = 23977 / 9.81 = 2444 \text{ kg} = 2.45 \text{ tonnes}$ pour un mètre. Les fabricants de grue donne alors une capacité 2,5 tonnes par mètre qui est souvent déformée en 2,5 tonnes tous les mètres qui donnerait par exemple pour 3 m une capacité de charge de la grue de $2,5 \times 3 = 7,54 \text{ tonnes}$!!!!!

- Donner la valeur du moment "total" pouvant faire basculer la grue : C'est le moment résultant du moment du poids de la flèche et du poids de la charge $M_t = M_O(\vec{P}) + M_O(\vec{F}) = 3,608 + 23,977 = 27,585 \text{ kN}\cdot\text{m}$.

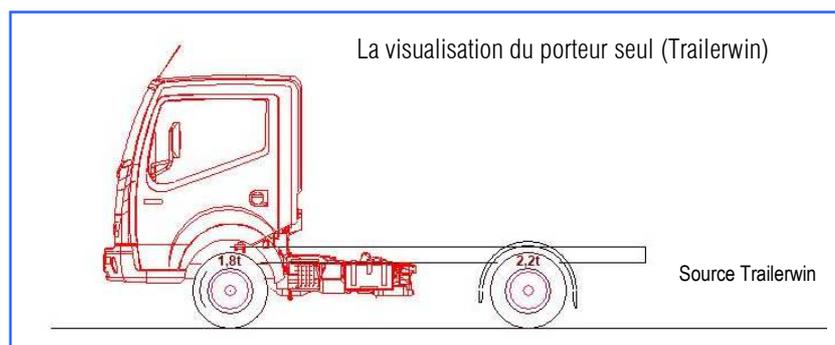
- Représenter sur la figure suivante le moment total.

- Quelle est l'incidence de ce moment sur la fixation de la grue :
Il tend à "arracher" la grue du véhicule ou à faire basculer le véhicule.



3.3. Activité sur poste

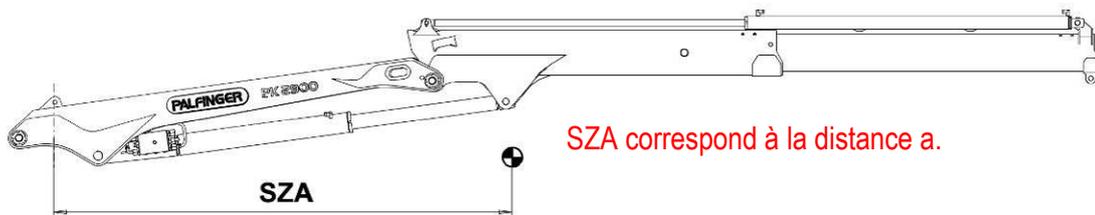
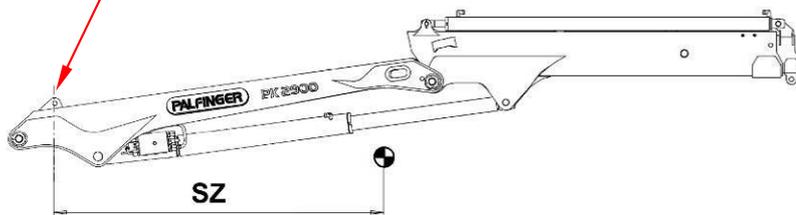
Sous Trailerwin, insérer le véhicule Renault Maxity 3T5 CCAB 130 E6 empattement 2500.



PALFINGER CRANE		DTS027SGA/05	
(S027-SK-A)		Kapitel Chapter Chapitre	
Modell Model Type	PK 2900	Seite Page Page	
		08/2008	
		Ausgabe Edition Edition	
		SZ	SZA
PK 2900 ()	147 kg 1.44 kN (327 lbs)	1312 mm (51.65")	1554 mm (61.18")
PK 2900 A	179 kg 1.76 kN (395 lbs)	1465 mm (57.68")	2050 mm (80.71")
PK 2900 B	207 kg 2.05 kN (456 lbs)	1568 mm (61.73")	2518 mm (99.13")

Le poids de la flèche vaut 1.76 kN
 $P = m \cdot g = 179 \cdot 9.81 = 1760 \text{ N}$

Axe de la grue



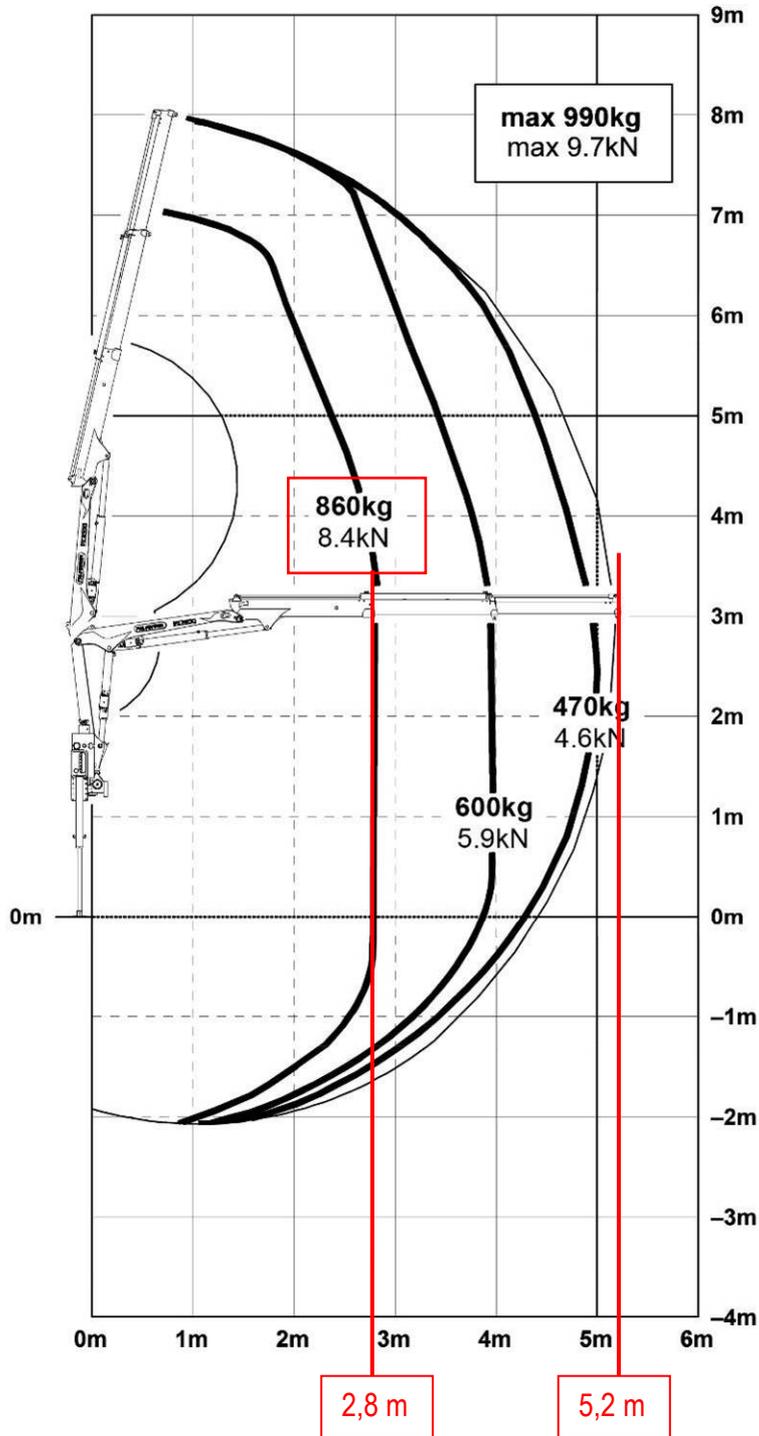
SZA correspond à la distance a.

Flèche horizontale complètement sortie

Source Palfinger

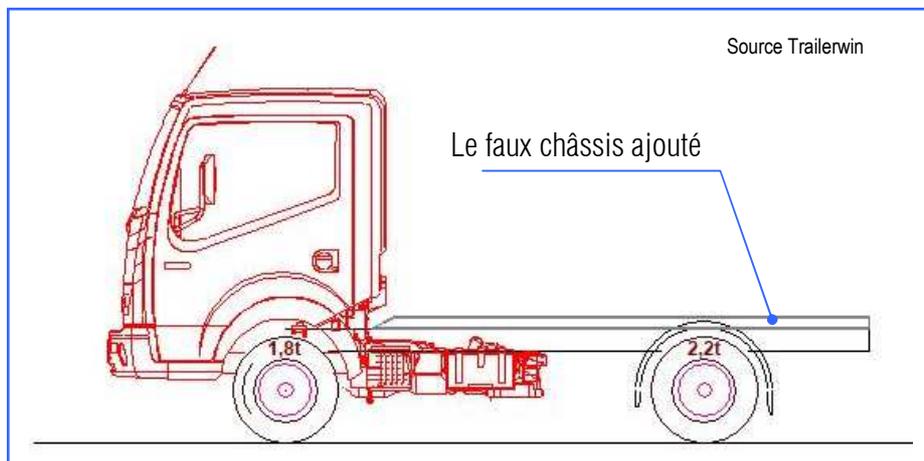
	STZS5	STZY5
R2	219 kg 2.15 kN (483 lbs)	239 kg 2.34 kN (527 lbs)

La charge maximale est de 9,7 kN



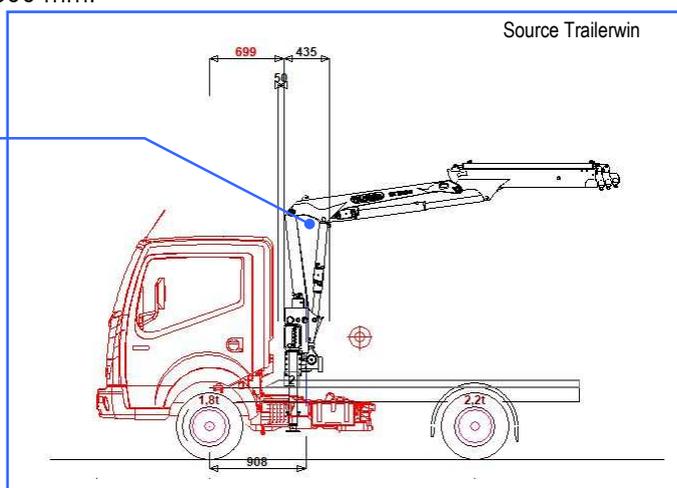
Source Palfinger

- Ajouter un faux châssis d'une hauteur de 80 mm (la forme de la section du profilé par défaut en U) de 100 kg/m :

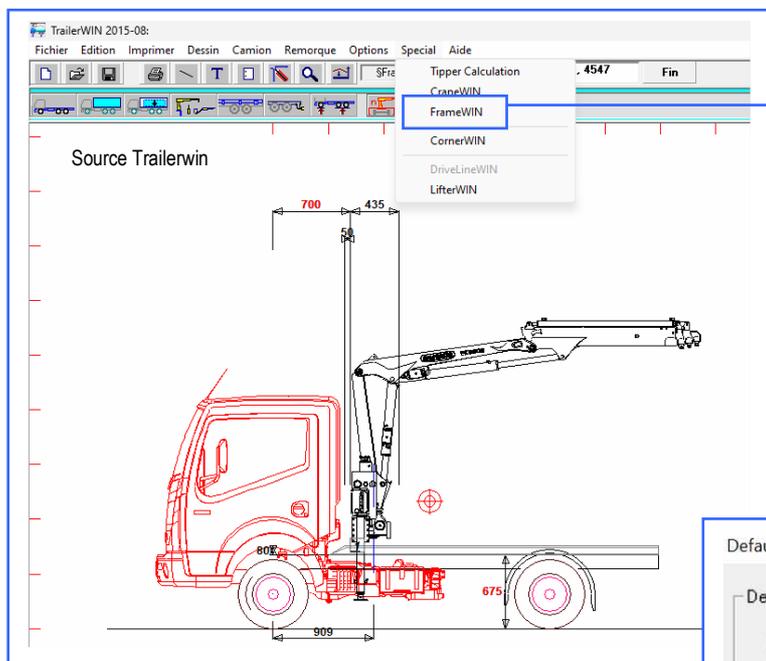


- Placer la grue Palfinger PK2900 A R2 STZS5 3300 mm.

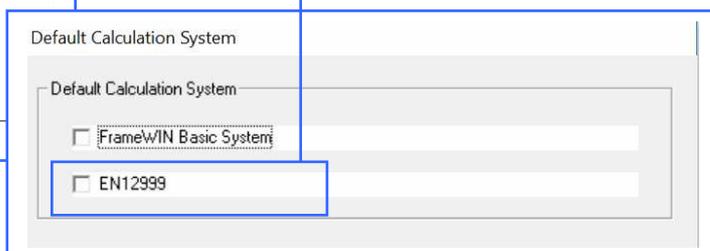
La grue ajoutée



- Lancer l'atelier "FrameWin" qui permet de vérifier la résistance du châssis et du faux châssis au droit de la grue.



- Cliquer sur l'onglet "Spécial" puis sur "FrameWin". Cocher "EN12999" (norme européenne).



La page de calcul suivante s'affiche :

Moment : (Charge maxi à la portée maxi) 470kg x 5,2m x g = 24 kNm
 Moment : (Propre poids de la grue) 179kg x 2,05m x g = 4 kNm
 Dyn Moment : (Charge maxi à la portée maxi) 1,34 x 1.178 x 470kg x 5,2m x g = 38 kNm
 Dyn Moment : (Propre poids de la grue) 1,22 x 1,1 x 179kg x 2,05m x g = 5 kNm

Load Combination = A1, regular load, lifting/lowering speed from one function EN12999
 Class of hoist drive = HD4, Normal spool valve EN12999
 Calculated with vertical hook speed = 1,5 m/s $\phi 2 = 1.05 + 0.17 \cdot v/2$

Par défaut FrameWin propose un faux châssis en "C" de 60 mm de haut. Ce qui ne correspond pas à celui que nous avons déterminé.

Vous avez ici le profil du châssis. FrameWin ne fait pas le lien avec TrailerWin. Vous pouvez constater que le châssis correspond à un Renault Mascott et non un Maxity. !

	[A]	[B]				
Contrainte sur faux-châssis N/mm2	144	299	Bride supérieure			
Contrainte sur faux-châssis N/mm2	144	137	Bride inférieure			
Contrainte sur cadre de châssis N/mm2	364	275				
Facteur de sécurité sur faux-châssis: Bride supérieure	2.47	1.19				
Facteur de sécurité sur faux-châssis: Bride inférieure	2.47	2.60				
Facteur de sécurité sur cadre de châssis	0.98	1.29				
Liste des profilés (données pour chaque rail)	H mm	A mm2	Ix cm4	Wx cm3	m kg/m	
1 U 60x40x3	60	402	23.45	7.82	3.2	
cadre de châssis : RENAULT Mascott 152x56x5	152	1270	421.95	55.52	10.0	
=> Cadre + Faux-châssis (pour chaque rail)	H mm	A mm2	Ix cm4	Wx cm3	RBM Nm	m kg/m
[A] Faux-châssis installé dans une façon flexible	212	1672	445.39	58.60	20805	13.1
[B] Installé avec des plaques coupe-résistantes	212	1672	788.48	71.35	25328	13.1

3.4. Analyse partielle du contenu de la fiche de calcul

Ce moment correspond à celui du poids de la flèche de la grue complètement sortie.

Ce moment correspond à celui de la charge calculé pour une flèche horizontale complètement sortie.

Moment : (Charge maxi à la portée maxi)	470kg x 5,2m x g =	24	kNm
Moment : (Propre poids de la grue)	179kg x 2,05m x g =	4	kNm
Dyn Moment : (Charge maxi à la portée maxi)	1,34 x 1.178 x 470kg x 5,2m x g =	38	kNm
Dyn Moment : (Propre poids de la grue)	1,22 x 1,1 x 179kg x 2,05m x g =	5	kNm
Load Combination = A1, regular load, lifting/lowering speed from one function		EN12999	
Class of hoist drive = HD4, Normal spool valve		EN12999	
Calculated with vertical hook speed = 1,5 m/s	$\phi 2 = 1.05 + 0.17 \cdot v/2$		

Ce sont les valeurs arrondies que vous avez calculées au paragraphe 3.2.

Les effets dynamiques dus aux vibrations de la structure lors du levage ou de l'abaissement d'une charge sont pris en compte en appliquant des coefficients, ici 1.1 et 1.178 (voir détail EN 12999). Framewin majore chaque moment statique par des coefficients. Ce qui donne les moments dynamiques.

4. Modifier la forme et la dimension du châssis du porteur

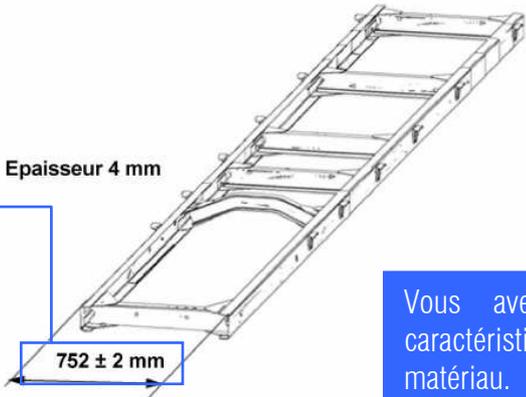
La forme et les dimensions du châssis peuvent être déterminés de plusieurs façons :

- A partir du modèle 3D du véhicule : les constructeurs partagent difficilement leur modèle 3D.
- A partir du plan : tous les constructeurs fournissent les plans de leur véhicule au format DXF ou PDF.
- A partir de la fiche technique : tous les constructeurs fournissent les fiches techniques de leur véhicule.
- A partir de la documentation de montage : tous les constructeurs fournissent des documentations générales ou spécifiques de leur véhicule.

Dans la documentation spécifique du véhicule nous trouvons les informations suivantes :

3.2.2 Configuration du châssis

Le châssis est composé de longerons formés par des tôles d'acier soudées profilées en U, reliées entre elles par des traverses.



CRIME0001

Vous avez ici l'entraxe.

Vous avez ici les caractéristiques du matériau.

Vous avez ici la section des longerons.

Matériaux du châssis

Les matériaux utilisés pour produire les longerons des véhicules en production sont les suivants :

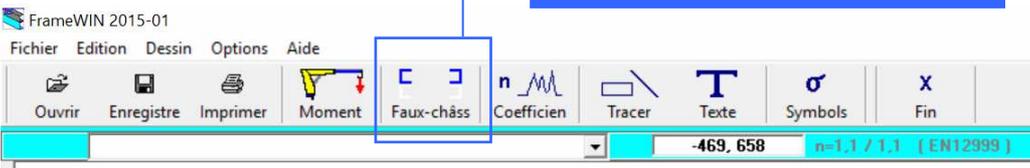
Section du châssis (mm)	Empattement (mm)	MATERIAU			
		TYPE	Résistance à la rupture Rm MPa (kg/mm ²)	Limite d'élasticité Re MPa (kg/mm ²)	Moment de résistance W max cm ²
128 x 52 x4	2.500	ST-44-2 (DIN 17100)	412-540 (42-55)	275 (28)	32
	2.900	SOLDUR 355 (NF-A36-231)	432-510 (44-52)	342-422 (35-43)	
	3.400				

FRMA0001

4.1. Modification de la section et du matériau du faux châssis

- Sous FrameWin, Lancer l'atelier "Faux-châssis".

- Cliquer sur l'icône "Faux-châssis".



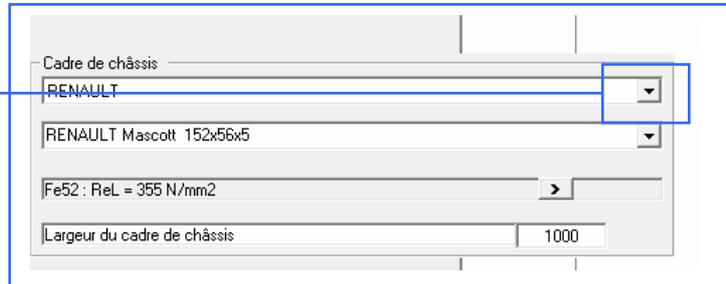
FrameWIN 2015-01
Fichier Edition Dessin Options Aide
Ouvrir Enregistre Imprimer Moment Faux-châssis Coefficient Tracer Texte Symbols Fin
-469,658 n=1.1 / 1.1 { EN12999 }

Le faux châssis est de section en U 80 x 50 x 5 et de matériau S235.

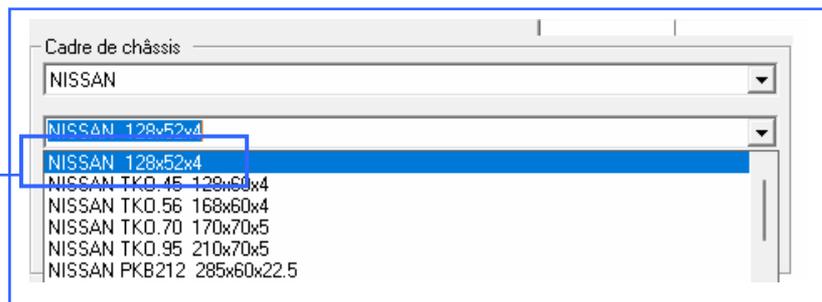
La marque et le modèle n'ont aucune importance pour la suite des calculs. Dans la liste proposée vous devez sélectionner un cadre de châssis correspondant à celui identifié à la page 9, soit une section en C de dimensions 128 x 52 x 4.

4.1.1. Indiquer la section et le matériau du cadre de châssis.

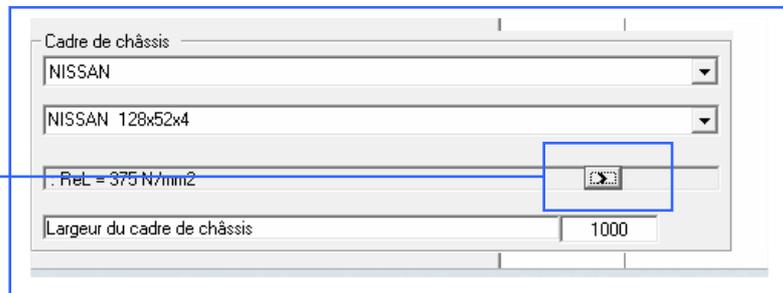
Développer le menu et choisir "Nissan".



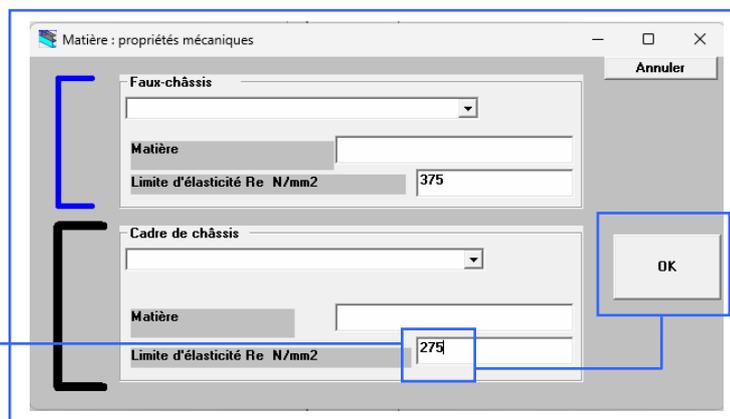
Développer et sélectionner "NISSAN 128x52x4".



Pour changer la matière, cliquer sur la flèche "Suivante".



Remplacer la valeur de 375 (par défaut) par 275 Mpa (page 9). Cliquer sur "OK" pour valider le choix de matière.

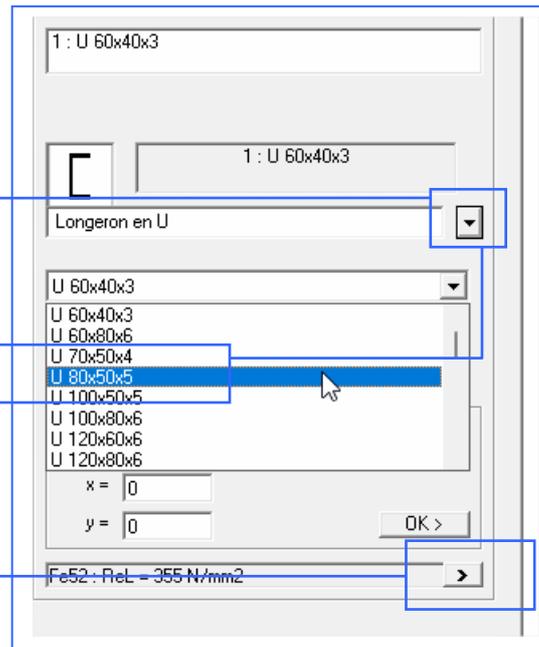


4.1.2. Indiquer la section et le matériau du faux châssis

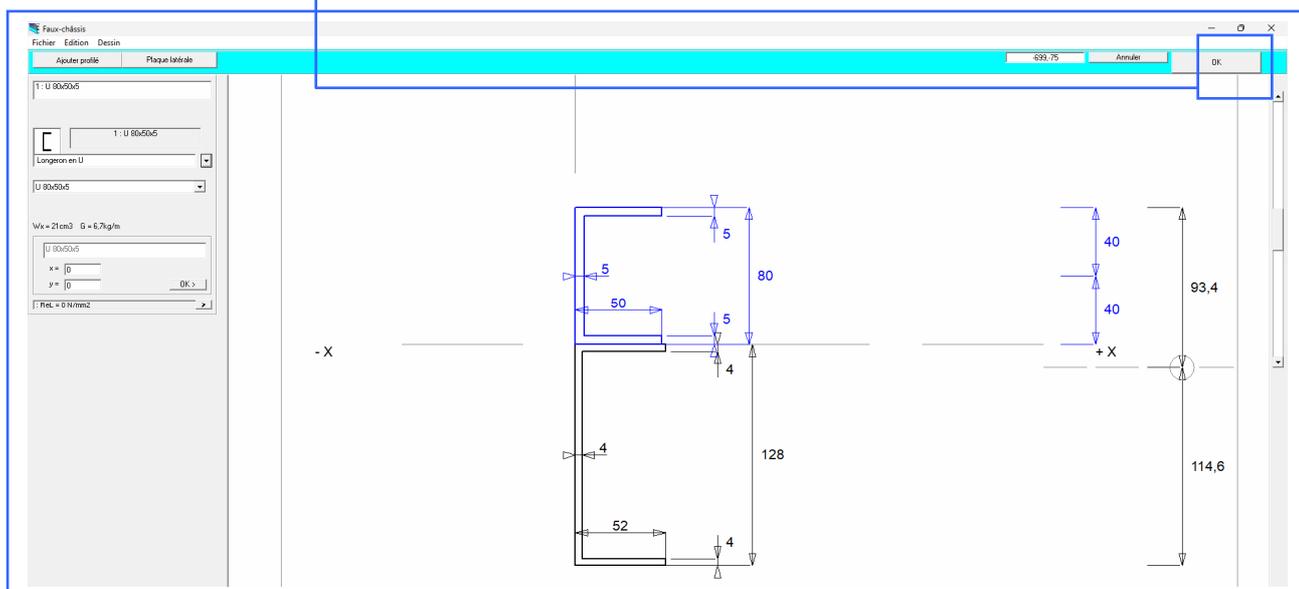
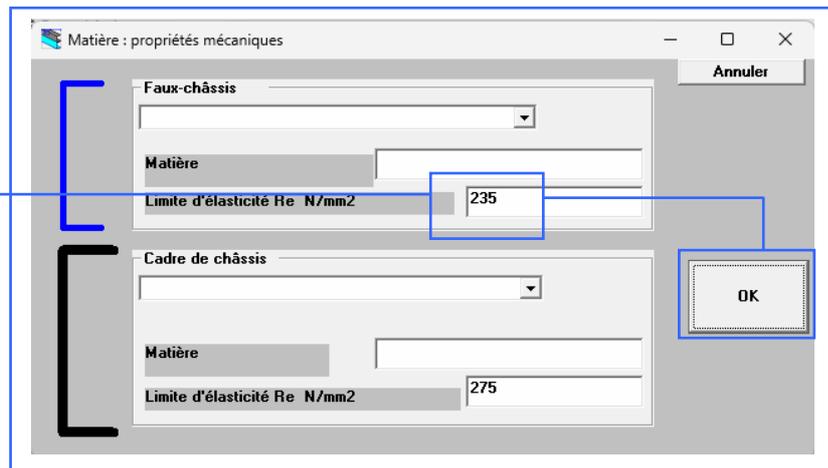
Le menu suivant s'affiche :

1. Développer le menu et choisir le profilé U 80x50x5.

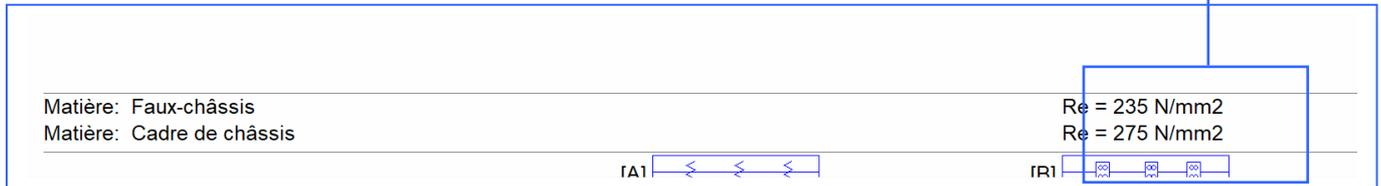
2. Cliquer sur la flèche "suivante". Dans le nouveau menu entrer la valeur de 235 Mpa. Valider en cliquant sur "OK".



Valider les modifications.



Vous retrouvez ici les limites élastiques du châssis et du faux châssis, ces valeurs sont modifiables. Rappel : $1\text{N/mm}^2 = 1\ 10^6\ \text{pa} = 1\ \text{Mpa}$.



(1) Suivant la localisation de la grue (dos de cabine ou en porte à faux arrière), les calculs tiennent compte du type de fixation du faux châssis sur le porteur :
(A) : fixation flexible ou (B) : fixation rigide.
Les valeurs à prendre en compte dépendent du type de fixation choisi au droit de la grue.

Matière: Faux-châssis Matière: Cadre de châssis			Re = 235 N/mm2 Re = 275 N/mm2	
	[A]	[B]		
Contrainte sur faux-châssis N/mm2	282	257		Bride supérieure
Contrainte sur faux-châssis N/mm2	282	37		Bride inférieure
Contrainte sur cadre de châssis N/mm2	452	316		
Facteur de sécurité sur faux-châssis: Bride supérieure	0.83	0.91		
Facteur de sécurité sur faux-châssis: Bride inférieure	0.83	6.38		
Facteur de sécurité sur cadre de châssis	0.61	0.87		

Liste des profilés (données pour chaque rail)	H mm	A mm2	Ix cm4	Wx cm3	m kg/m	
1 U 80x50x5	80	850	84.71	21.18	6.7	
Cadre de châssis : NISSAN 128x52x4	128	896	217.57	33.99	7.0	
=> Cadre + Faux-châssis (pour chaque rail)	H mm	A mm2	Ix cm4	Wx cm3	RBM Nm	m kg/m
[A] Faux-châssis installé dans une façon flexible	208	1746	302.27	47.23	12988	13.7
[B] Installé avec des plaques coupe-résistantes	208	1746	774.06	67.53	18570	13.7

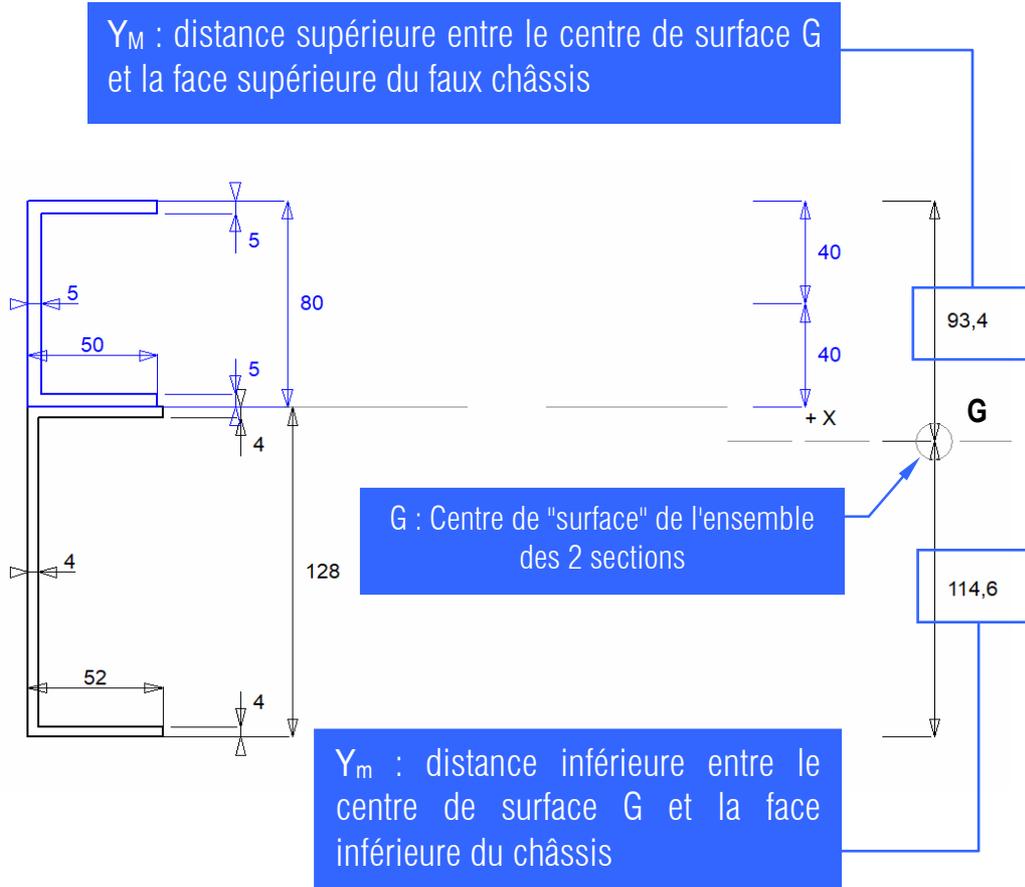
(2) Suivant le type de fixation, Framewin calcule le moment quadratique Ix (en cm⁴) et le module de flexion Wx (en cm³). Nous remarquons que les valeurs les plus grandes sont obtenues avec des fixations rigides.

(3) Nous retrouvons les caractéristiques des 2 profilés (châssis et faux châssis).

5. Calcul des contraintes normales

5.1. Cas fixation rigide

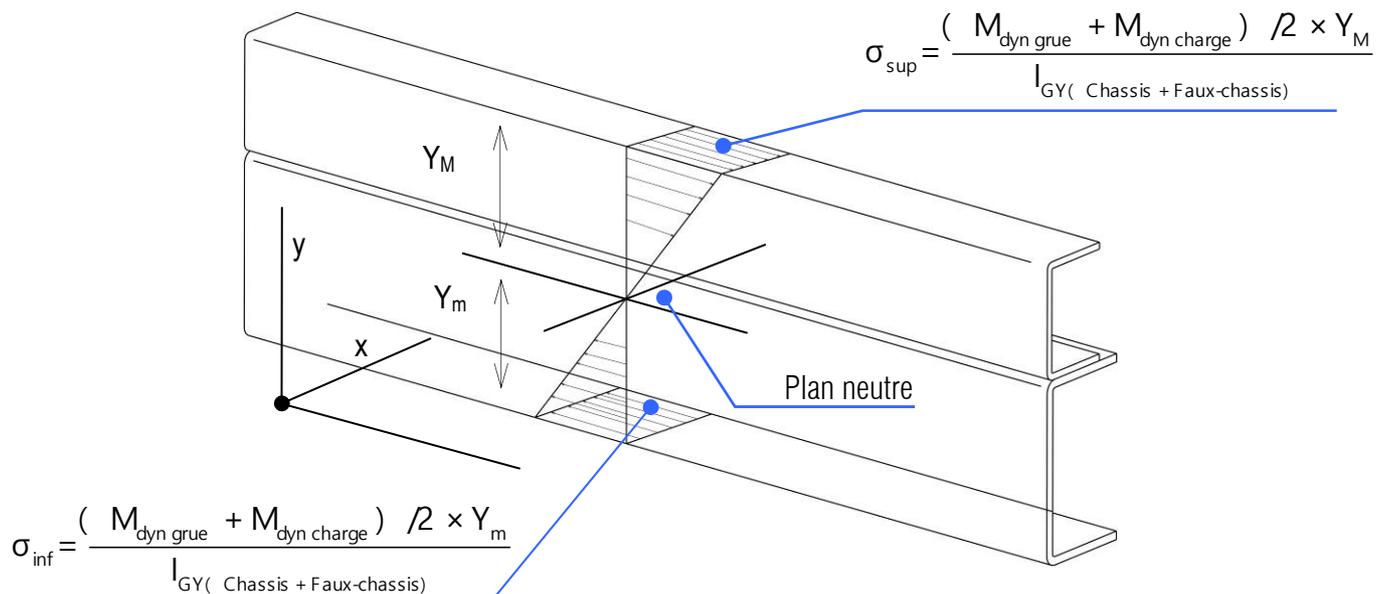
La position du centre de surface (G) est connue (elle est calculée par FrameWin), nous relevons les valeurs Y_M et Y_m correspondantes à la dimension entre les faces supérieures et inférieures avec le centre de surface G.



Les calculs des contraintes normales sont définis comme indiqué sur la figure ci-dessous.

Les moments dynamiques s'appliquent sur les 2 longerons. (1 longeron = longeron châssis + longeron faux châssis)

Comme nous recherchons les contraintes dans un seul longeron, il faut diviser par 2 la valeur des moments dynamiques.



- Application numérique

- Calculer la contrainte σ_{sup} .

$$M_{dyn} \text{ charge} = 38000 \text{ N}\cdot\text{m}, M_{dyn} \text{ grue} = 5000 \text{ N}\cdot\text{m}, I_{CY} = 774,06 \text{ cm}^4 = 774,06 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4, Y_M = 0,093 \text{ m}$$

$$\sigma_{sup} = ((38000+5000) \times 0,0933) / 2 \times 774,06 \times 10^{-8} = 259146577 \text{ pa} = 259,2 \text{ Mpa}$$

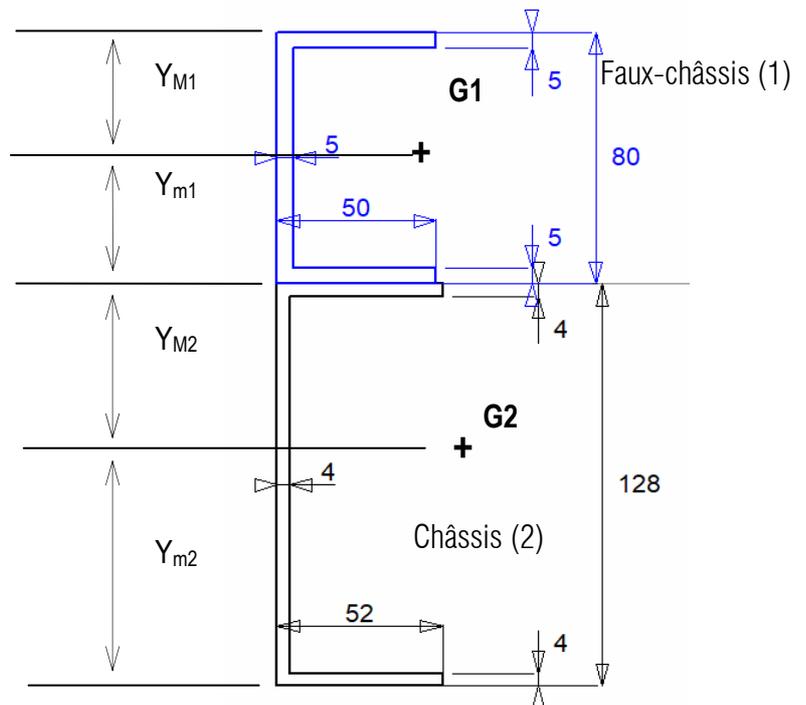
- Retrouver cette valeur dans la feuille calcul de FrameWin.

Matière: Faux-châssis						Re = 235 N/mm2	
Matière: Cadre de châssis						Re = 275 N/mm2	
	[A] 					[B] 	
Contrainte sur faux-châssis N/mm2	282					257	Bride supérieure
Contrainte sur faux-châssis N/mm2	282					37	Bride inférieure
Contrainte sur cadre de châssis N/mm2	452					316	
Facteur de sécurité sur faux-châssis: Bride supérieure	0.83					0.91	
Facteur de sécurité sur faux-châssis: Bride inférieure	0.83					6.38	
Facteur de sécurité sur cadre de châssis	0.61					0.87	
Liste des profilés (données pour chaque rail)							
	H mm	A mm2	Ix cm4	Wx cm3			m kg/m
1 U 80x50x5	80	850	84.71	21.18			6.7
Cadre de châssis : NISSAN 128x52x4							
=> Cadre + Faux-châssis (pour chaque rail)	H mm	A mm2	Ix cm4	Wx cm3			m kg/m
[A] Faux-chassis installé dans une façon flexible	208	1746	774.06	67.53			13.7
[B] Installé avec des plaques coupe-resistantes							

Nous retenons la fixation (B) : fixation rigide. La valeur est de 257 Mpa, nous avons calculé 259,2 Mpa.

4.2. Cas fixation souple

Nous donnons le repérage des cotes.



Nous donnons l'expression littérale des contraintes normales.

$$\sigma_{M1} = \frac{(M_{\text{dyn grue}} + M_{\text{dyn charge}}) / 2 \times y_{M1}}{I_{G1 (\text{Faux-chassis})} + I_{G2 (\text{Chassis})}}$$

$$\sigma_{m1} = \frac{(M_{\text{dyn grue}} + M_{\text{dyn charge}}) / 2 \times y_{m1}}{I_{G1 (\text{Faux-chassis})} + I_{G2 (\text{Chassis})}}$$

$$\sigma_{M2} = \frac{(M_{\text{dyn grue}} + M_{\text{dyn charge}}) / 2 \times y_{M2}}{I_{G1 (\text{Faux-chassis})} + I_{G2 (\text{Chassis})}}$$

$$\sigma_{m2} = \frac{(M_{\text{dyn grue}} + M_{\text{dyn charge}}) / 2 \times y_{m2}}{I_{G1 (\text{Faux-chassis})} + I_{G2 (\text{Chassis})}}$$

- Application numérique

- Calculer la contrainte σ_{M1} .

$M_{\text{dyn charge}} = 38000 \text{ N}\cdot\text{m}$, $M_{\text{dyn grue}} = 5000 \text{ N}\cdot\text{m}$, Voir sur la figure ci dessous : $I_{G1 \text{ faux chassis}} = 84.71 \text{ cm}^4 = 84,71 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$, $I_{G2 \text{ Chassis}} = 217,57 \text{ cm}^4 = 217,57 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$, $Y_{M1} = 0,04 \text{ m}$

$$\sigma_{\text{sup}} = ((38000+5000) \times 0,04) / 2 \times (84,71+217,57) \times 10^{-8} = 284204433 \text{ pa} = 284,2 \text{ Mpa}$$

- Retrouver ces valeurs dans la feuille de calcul de FrameWin.

La valeur de la contrainte est ici :

Matière: Cadre de châssis		Re = 235 N/mm2		Re = 275 N/mm2		
		[A]	[B]			
Contrainte sur faux-châssis N/mm2		282	257		Bride supérieure	
Contrainte sur faux-châssis N/mm2		282	37		Bride inférieure	
Contrainte sur cadre de châssis N/mm2		452	316			
Facteur de sécurité sur faux-châssis: Bride supérieure		0.83				
Facteur de sécurité sur faux-châssis: Bride inférieure		0.83				
Facteur de sécurité		0.61				
Liste des p		mm	A mm2	Ix cm4	Wx cm3	m kg/m
1 U 80x50x5		80	850	84.71	21.18	6.7
Cadre de châssis : NISSAN 128x52x4		128	896	217.57	33.99	7.0
=> Cadre + Faux-châssis (pour chaque rail)		H mm	A mm2	Ix cm4	Wx cm3	RBM Nm
[A] Faux-châssis installé dans une façon flexible		208	1746	302.27	47.23	12988
[B] Installe avec des plaques coupe-resistantes		208	1746	774.06	67.53	18570

Pour les calculs de la page 15, Valeur $I_{G1 \text{ faux chassis}} = 84,71 \text{ cm}^4$

Pour les calculs de la page 15, Valeur $I_{G1 \text{ faux chassis}} = 302,27 \text{ cm}^4$

4.4. Calcul du coefficient de sécurité

Selon la norme E12999 le coefficient de sécurité (s) doit être au minimum de 1,1.
Pour rappel, la condition de résistance est :

$$\sigma \leq R_{pe} = \frac{R_e}{s}$$

Comme nous connaissons la limite élastique (Re) et la contrainte réelle (σ), il est facile de calculer le coefficient de sécurité réel (s) et de le comparer la valeur minimale de 1,1.

$$s = \frac{R_e}{\sigma}$$

Application numérique

Dans le cas d'une fixation rigide, vous avez calculé la contrainte normale supérieure du cadre de châssis avec $\sigma = 257$ Mpa

- **Calculer** le coefficient de sécurité réel correspondant au faux châssis:

Re du faux châssis : 235 Mpa
S = Re/σ = 235/257 = 0,91

- **Retrouver** ce coefficient de sécurité sur la figure ci-dessous et **conclure** : **comme le coefficient de sécurité est inférieure à 1,1, ce montage ne peut être réalisé sans détérioration. Le carrossier doit changer les dimensions du faux châssis ou sa matière. Il peut aussi ajouter des plaques latérales jusqu'à ce que le coefficient de sécurité soit obtenu.**

Matière: Faux-châssis							Re = 235 N/mm2
Matière: Cadre de châssis							Re = 275 N/mm2
		[A]			[B]		
Contrainte sur faux-châssis N/mm2			282			257	Bride supérieure
Contrainte sur faux-châssis N/mm2			282			37	Bride inférieure
Contrainte sur cadre de châssis N/mm2			452			316	
Facteur de sécurité sur faux-châssis: Bride supérieure			0.83			0.91	
Facteur de sécurité sur faux-châssis: Bride inférieure			0.83			6.38	
Facteur de sécurité sur cadre de châssis			0.61			0.87	
Liste des profilés (données pour chaque rail)		H mm	A mm2	Ix cm4	Wx cm3		m kg/m
1 U 80x50x5		80	850	84.71	21.18		6.7
Cadre de châssis : NISSAN 128x52x4		128	896	217.57	33.99		7.0
=> Cadre + Faux-châssis (pour chaque rail)		H mm	A mm2	Ix cm4	Wx cm3	RBM Nm	m kg/m
[A] Faux-châssis installé dans une façon flexible		208	1746	302.27	47.23	12988	13.7
[B] Installe avec des plaques coupe-resistantes		208	1746	774.06	67.53	18570	13.7

- **Conclure** sur l'information **Facteur de sécurité sur cadre de châssis !!** affichée sur la page de calcul.

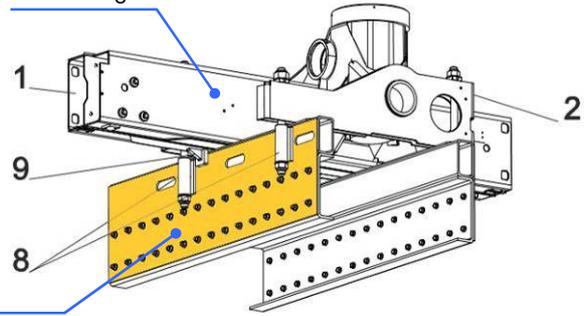
Ce message vous indique que le coefficient de sécurité de 1,1 n'est obtenu sur le faux châssis. Vous aurez un message identique si c'est le cas sur le châssis.

4.5. Ajout d'une plaque latérale

La plaque latérale (ou encore plaque de cisaillement) est solidaire du faux châssis et du châssis.

L'utilisation d'une plaque engendre une fixation rigide entre le châssis et le faux châssis.

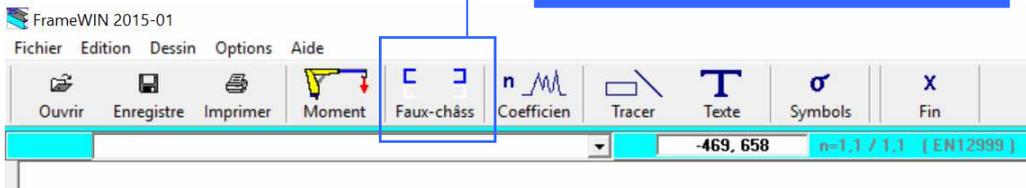
Socle de grue



La plaque latérale

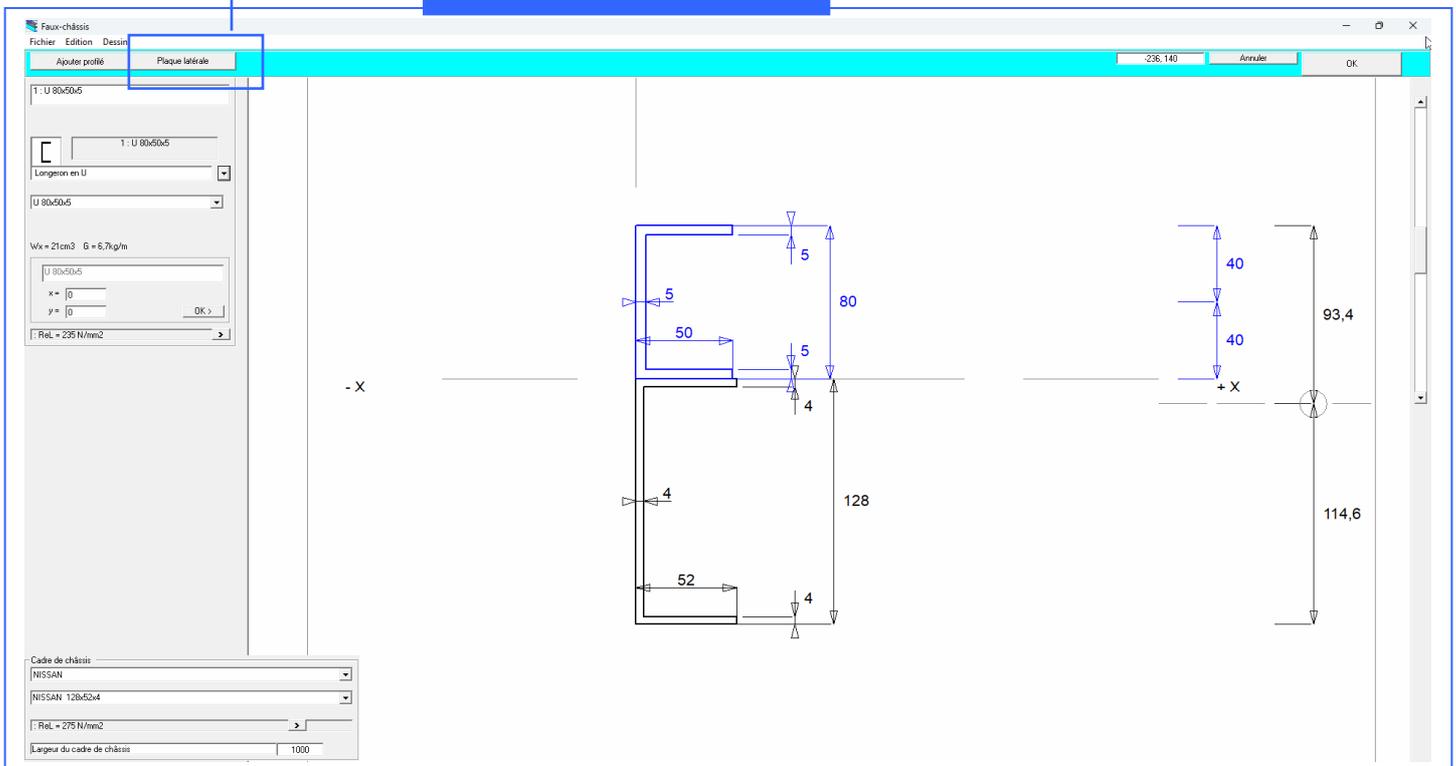
- Lancer l'atelier "Faux-châssis".

- Cliquer sur l'icône "Faux-châssis".



Le menu suivant s'affiche :

- Cliquer sur "Plaque latérale".



1. Dans le menu déroulant choisir une plaque 10 x 120.

4. La plaque est correctement dessinée en position, cliquer sur "OK" en haut à droite.

3. Valider pour voir les modifications.

2. Modifier sa hauteur et positionner la plaque.

Les résultats sont modifiés :

Cette solution convient-elle ? Oui car tous les coefficients de sécurité sont supérieurs à 1,1.

Matière: Faux-châssis		Re = 235 N/mm2	
Matière: Cadre de châssis		Re = 275 N/mm2	
Contrainte sur faux-châssis N/mm2	140	138	Bride supérieure
Contrainte sur faux-châssis N/mm2	201	151	Bride inférieure
Contrainte sur cadre de châssis N/mm2	105	151	
Facteur de sécurité sur faux-châssis: Bride supérieure	1.68	1.71	
Facteur de sécurité sur faux-châssis: Bride inférieure	1.17	1.55	
Facteur de sécurité sur cadre de châssis	2.62	1.82	

Liste des profilés (données pour chaque rail)	H mm	A mm2	Ix cm4	Wx cm3	m kg/m	
1 U 80x50x5	80	850	84.71	21.18	6.7	
2 208x10	208	2080	749.91	72.11	16.3	
=> Profilés de faux-châssis ensemble	208	2930	1081.78	88.26	23.0	
Cadre de châssis : NISSAN 128x52x4						
	128	896	217.57	33.99	7.0	
=> Cadre + Faux-châssis (pour chaque rail)	H mm	A mm2	Ix cm4	Wx cm3	RBM Nm	m kg/m
[A] Faux-châssis installé dans une façon flexible	208	3826	1299.34	106.01	24913	30.0
[B] Installe avec des plaques coupe-resistantes	208	3826	1534.70	140.99	36375	30.0

- Enregistrer votre travail.

5. Le basculement du véhicule

On parle aussi de la stabilité du camion.

Cette étude est toujours réalisée dans le cas le plus défavorable : le camion est "vide" de tout chargement et de conducteur et passagers. La grue est à charge maximale pour une portée maximale.



Cette étude prend en compte :

- Le moment total (que l'on appelle cette fois ci moment de renversement) généré par la grue alors qu'elle travaille dans des conditions les plus défavorables.

- Le moment de stabilité qui oppose au basculement du véhicule et qui prend en compte le poids du camion à vide (PV) et au comportement de toutes les parties qui contribuent à empêcher le renversement du véhicule.

Cette étude ne prend pas en compte la hauteur l'élasticité du châssis.

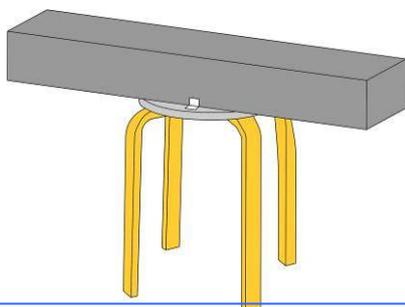
Pour les calculs, le véhicule est toujours placé sur un sol stable et horizontal.

5.1 Rappel de mécanique

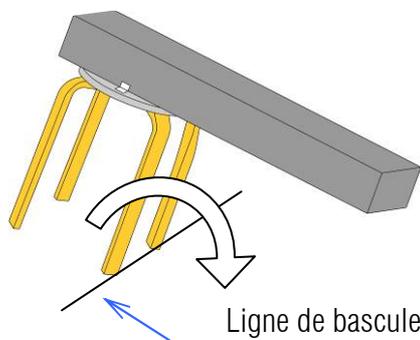
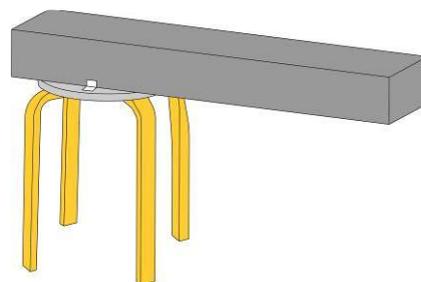
Nous prenons un tabouret.



Nous plaçons une planche fixée sur ce tabouret, le tabouret reste stable, il ne bascule pas.



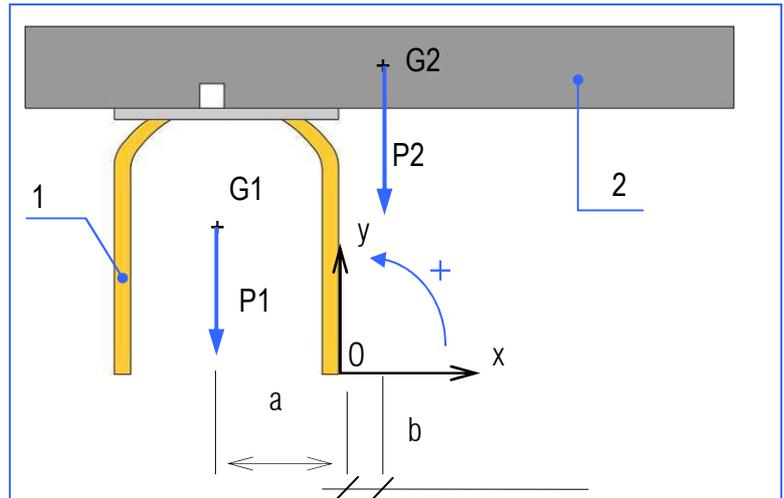
Nous déplaçons la planche vers la droite.



L'effet est immédiat : le tabouret bascule autour de la droite passant par les 2 pieds ! Dans la suite vous allez calculer le moment résultant correspondant par rapport à la ligne de basculement.

5.1.1. Etude mécanique (résolution par les bras de levier)

1. Nous plaçons un repère au point de basculement (O).
2. Nous plaçons le sens de rotation positif.
3. Nous plaçons les centres de gravité de chacun des solides : G1 pour le tabouret (1) et G2 pour la planche (2)
4. Nous plaçons les poids P1 et P2 (sans les flèches) mais en conservant la bonne orientation
5. Nous repérons les bras de levier a et b.
6. Donner l'expression littérale de l'intensité du moment résultant des 2 poids au point de basculement (O).



$$M_O = M_O(\vec{P1}) + M_O(\vec{P2}) = P1 \cdot a - P2 \cdot b$$

Il y aura basculement si $(P1 \cdot a - P2 \cdot b)$ est négatif (sens du moment résultant). Si le résultat est positif alors il n'y a pas basculement.

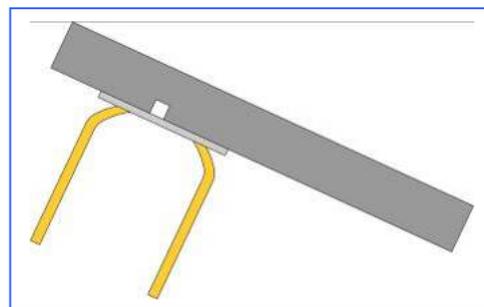
- Application numérique

1) $P1 : 50 \text{ N}$, $a = 15 \text{ cm}$, $P2 = 30 \text{ N}$ et $b = 5 \text{ cm}$

$$50 \times 15 - 30 \times 5 = + 600, \text{ le signe est positif : pas de basculement}$$

2) $P1 : 50 \text{ N}$, $a = 15 \text{ cm}$, $P2 = 160 \text{ N}$ et $b = 5 \text{ cm}$

$$50 \times 15 - 160 \times 5 = - 50, \text{ le signe est négatif : basculement}$$



Une autre méthode consiste à calculer le centre de gravité de l'ensemble en vue de dessus.

$$X_G = \frac{M_1 \times X_{G1} + M_2 \times X_{G2}}{M_1 + M_2}$$

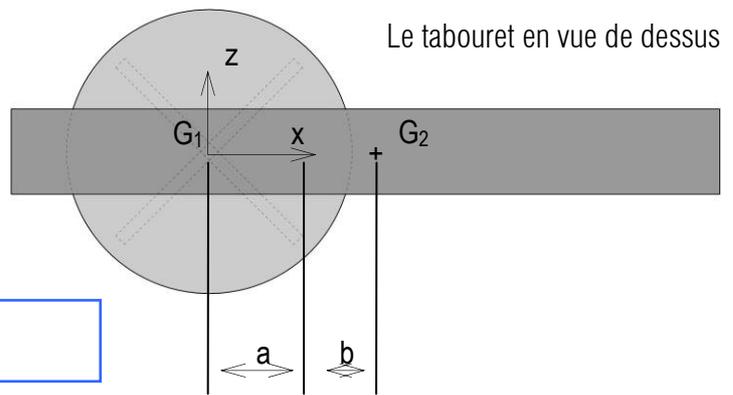
et

$$Z_G = \frac{M_1 \times Z_{G1} + M_2 \times Z_{G2}}{M_1 + M_2}$$

Nous plaçons judicieusement le repère de travail.

- Application numérique

1) $P_1 : 50 \text{ N}$, $a = 15 \text{ cm}$, $P_2 = 30 \text{ N}$ et $b = 5 \text{ cm}$



$$X_G = (50 \times 0 + 30 \times (15 + 5)) / (50 + 30) = 7,5 < a = 15$$

G est à l'intérieur du polygone de sustentation, pas de basculement

- Placer le centre de gravité sur la figure :

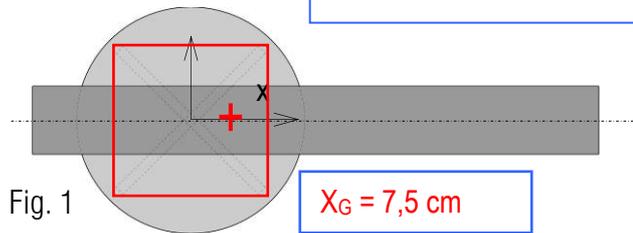


Fig. 1

$$X_G = 7,5 \text{ cm}$$

G est à l'extérieur du polygone de sustentation, il y a basculement

1) $P_1 : 50 \text{ N}$, $a = 15 \text{ cm}$, $P_2 = 30 \text{ N}$ et $b = 35 \text{ cm}$

$$X_G = (50 \times 0 + 30 \times (15 + 35)) / (50 + 30) = 18,75 \text{ cm}$$

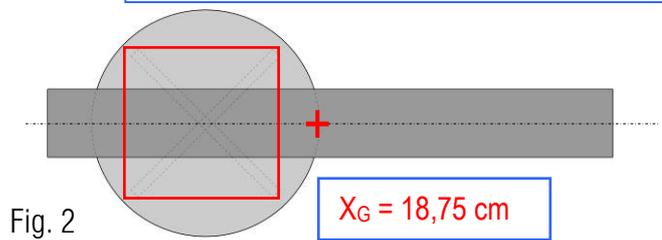


Fig. 2

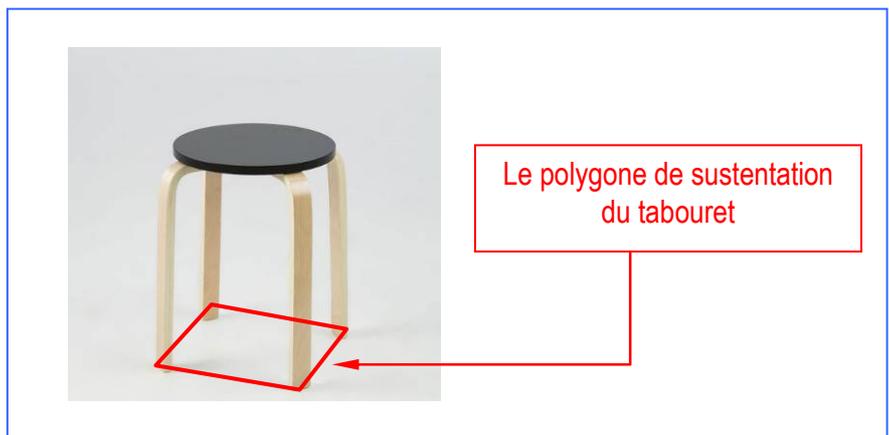
$$X_G = 18,75 \text{ cm}$$

- Polygone de sustentation

Le polygone de sustentation passe par tous les points de basculement possibles.

- Tracer sur la figure ci-contre le polygone de sustentation.

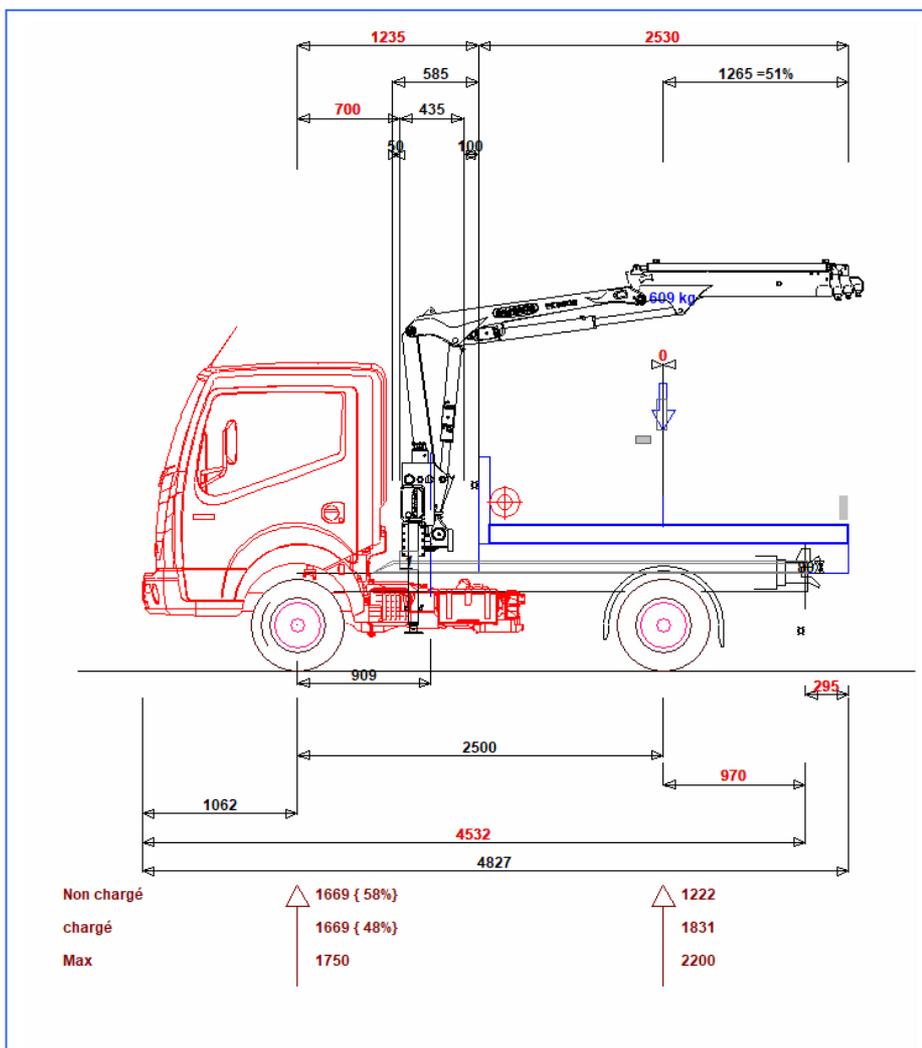
- Si le centre de gravité de l'ensemble (tabouret + planche) est à l'intérieur de ce polygone, il n'y a pas basculement.
- Si le centre de gravité de l'ensemble (tabouret + planche) est à l'extérieur de ce polygone, il y a basculement.



Le polygone de sustentation du tabouret

- Tracer sur les 2 figures (Fig. 1 et 2) le polygone de sustentation et vérifier le basculement ou pas.

Nous reprenons l'exercice.
 Le véhicule est équipé d'un plateau.

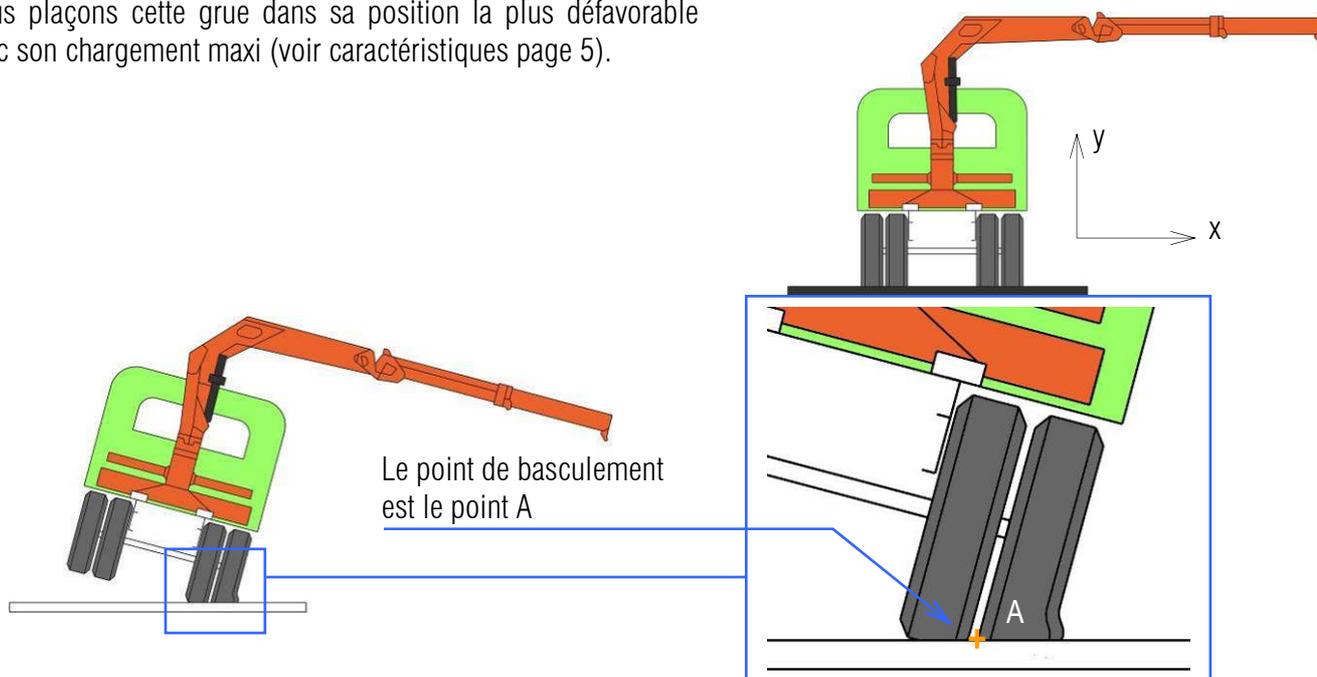


TrailerWin donne la répartition des poids.

Poids				
	x CDG	AV	AR	Total
+ Poids du chassis		1224	471	1695
+ Nombre de personnes 3 x 75 kg	0	225	0	225
+ Poids de la carrosserie 80 kg/m	2500	0	200	200
+ poids du faux-chassis 100 kg/m	2067	49	234	283
1 PALFINGER PK 2900 2(A)	1418	190	248	438
+ Crochet de remorque	3470	-19	69	50
= Poids à vide :		1669	1222	2891
+ charge utile	2500	0	609	609
= Poids chargé :		1669	1831	3500
:: Poids total maximum autorisé (PTMA)		1750	2200	3500

Fig. 3

Nous plaçons cette grue dans sa position la plus défavorable avec son chargement maxi (voir caractéristiques page 5).



Etape 1 : Calcul du moment de stabilité

Ce moment prend en compte les poids qui empêchent le basculement du porteur.

• Détermination du poids résistant du camion

- A partir des informations de la figure 3, page 22, Calculer le poids "résistant" du véhicule : **PR** :

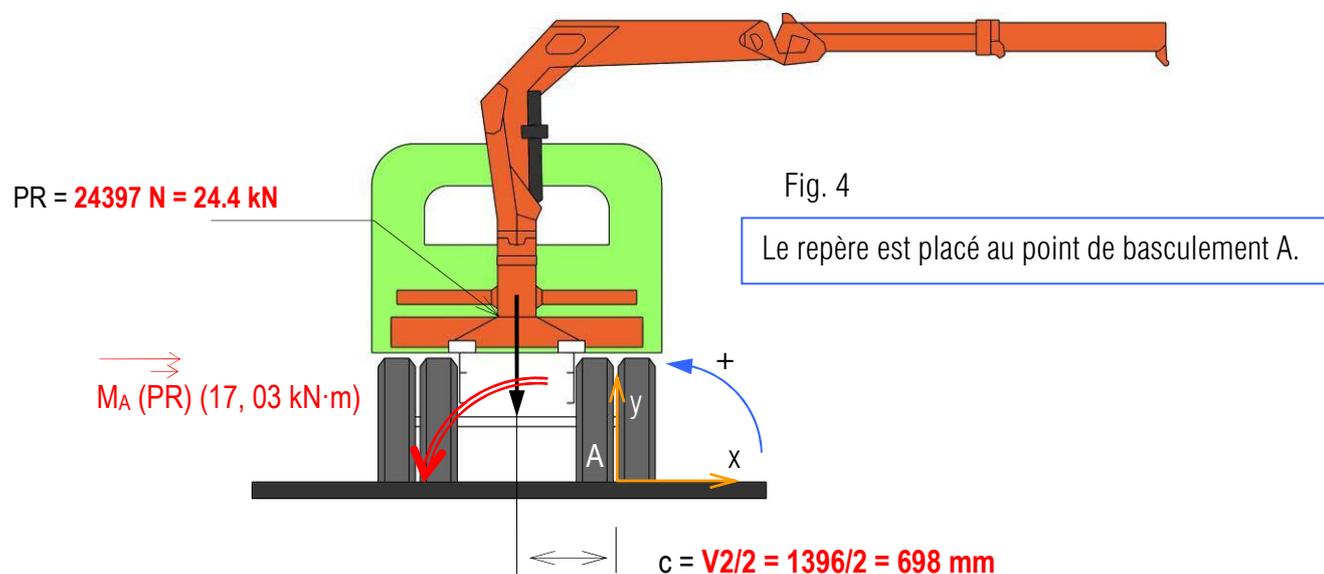
$$PR = PV - \text{Poids flèche grue} = (2891 - 225 - 179) \times 9.81 = 24397 \text{ N}$$

Attention dans le PV, TrailerWin intègre le conducteur et les 2 passagers qu'il vous faut soustraire.

• Détermination de la voie 2

A partir des pages 27 et 28, donner la valeur de la voie arrière (V2) : **1396 mm**

- Compléter sur la figure les valeurs de PR et de c.



- Détermination du moment de stabilité

- Donner l'expression du moment du poids \vec{PR} par rapport au point de basculement A, noté $M_A(\vec{PR})$ en kN·m.

$$M_A(\vec{PR}) = + (PR \times c) \cdot z$$

- Calculer la valeur de $M_A(\vec{PR})$:

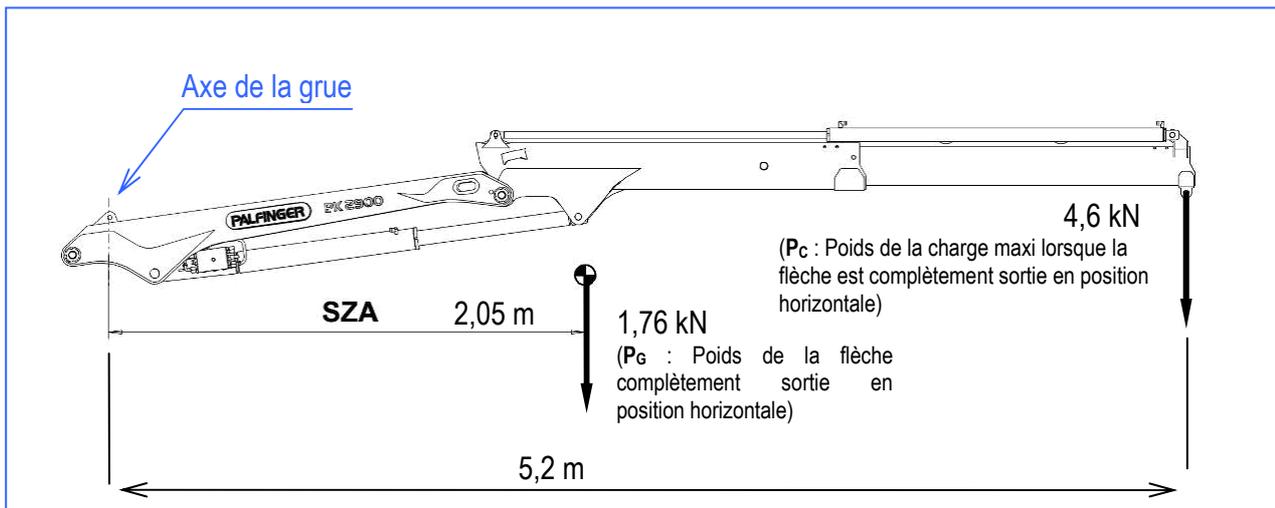
$$M_A(\vec{PR}) = 24,4 \times 0,698 = 17,03 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- Tracer sur la figure 4, $M_A(\vec{PR})$.

Etape 2 : Calcul du moment de renversement

Ce moment prend en compte les poids qui favorisent le basculement du porteur lorsque la flèche de la grue est complètement sortie et en charge maxi.

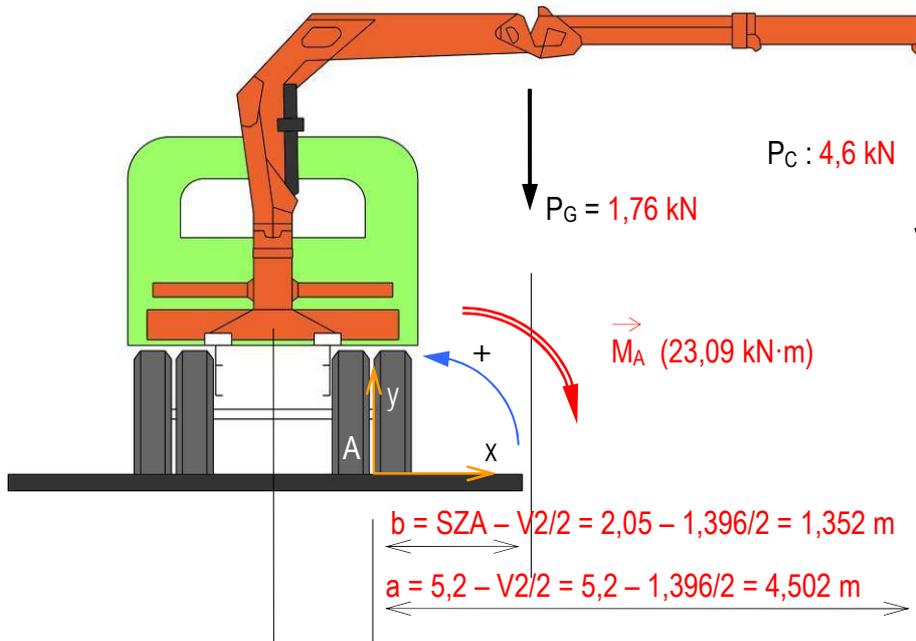
On rappelle les poids du bras de la grue et de la charge maximale



- Compléter sur la figure ci-dessous les valeurs manquantes.

- Donner l'expression du moment résultant des poids \vec{P}_G et \vec{P}_C par rapport au point de basculement A, noté \vec{M}_A .

$$\vec{M}_A = M_A(P_G) + M_A(P_C) = -(P_G \times b) \cdot \vec{z} - (P_C \times a) \cdot \vec{z} = -(P_G \times b + P_C \times a) \cdot \vec{z}$$



- Calculer la valeur de M_A : $-(P_G \times b + P_C \times a) = 1,76 \times 1,352 + 4,6 \times 4,502 = - 23,09 \text{ kN}\cdot\text{m}$.

- Tracer sur la figure précédente \vec{M}_A .

- Calculer le moment résultant du moment de stabilité et de renversement :

$$MR = M_A(\text{PR}) + M_A = 17,03 - 23,09 = - 6,06 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- Conclure sur le basculement : Comme le signe du moment résultant est négatif, le véhicule bascule. Mais cette étude été réalisée sans les béquilles ! Ces béquilles permettent d'augmenter le bras de levier (b) et de diminuer (a), ce qui permettra d'obtenir un moment résultant positif et par conséquent empêchera le basculement.

Etape 3 : Calcul du facteur de stabilité

Avec une certaine logique, il suffit que la valeur du moment de stabilité soit supérieure au moment de renversement pour que le camion ne bascule pas.

C'est cette logique qui est utilisée dans les logiciels. Le coefficient de sécurité ici appelé facteur de stabilité doit être supérieur à 1,4.

- **Calculer** le facteur de stabilité (n) :

$$\text{facteur de stabilité } n = \frac{\text{Moment de stabilité (résistant)}}{\text{Moment de renversement}}$$

- Selon la norme (EN12999), ce facteur de stabilité doit être supérieur à 1,4. **Conclure** :

$$n = M_A (\overrightarrow{PR})/MA = 17,03/23,06 = 0,74 < 1,4.$$

L'utilisation de béquilles est indispensable.



Source Renault

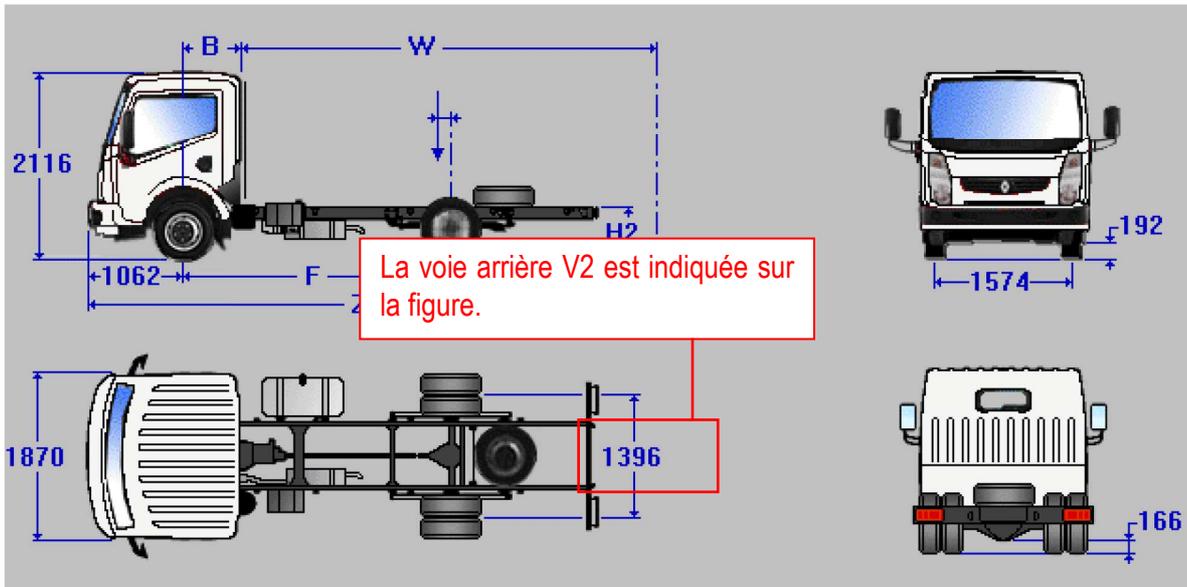
Maxity

MAXITY 110.35/5 CHASSIS CABINE L1

Code feuillet 91A 20300420

P.T.A.C.: 3,5t
 P.T.A.C.: 3,5t P.T.R.A.: 7t

3,5t/7t
 CABINE COURTE
 SUSPENSION AR RENFORCEE TYPE 4,5T

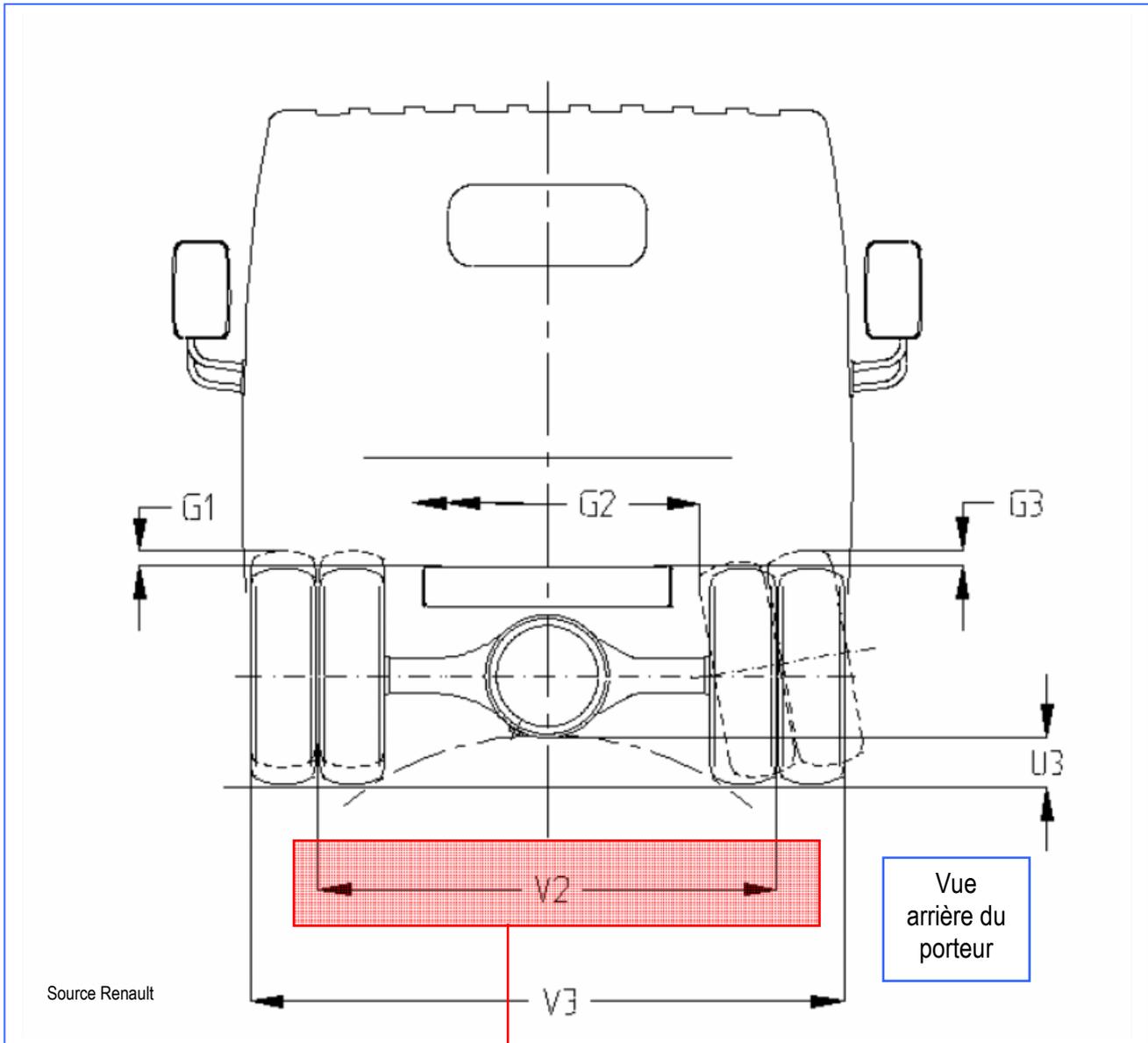


POIDS

EMPATTEMENT		2,500
Charge totale	kg	1 845
Poids châssis cabine	kg	1 655
Répartition AV	kg	1 195
Répartition AR	kg	460
charge maxi essieu AV	kg	1 750
charge maxi essieu AR	kg	2 200
PTAC	kg	3 500

DIMENSIONS

EMPATTEMENT		2,500
Empattement (F)	mm	2 500
Longueur carrossable Mini (W)	mm	2 651
Longueur carrossable Maxi (W)	mm	3 476
Long totale châssis cab (A)	mm	4 685
Longueur véhicule Mini (Z)	mm	4 685
Longueur véhicule Maxi (Z)	mm	5 188
Entrée cabine (B)	mm	650
Porte à faux AR châssis cab (N)	mm	983
Porte à faux avant (H)	mm	1 062
Haut. pavillon/sol à vide (O)	mm	2 116
Haut du châssis à vide (H2) avec pneum. série	mm	675
Largeur cabine aux ailes	mm	1 870
Voie avant (V1)	mm	1 574
Voie arrière (V2)	mm	1 396
Garde au sol avant	mm	192
Garde au sol arrière	mm	166
Rayon de braquage hors tout	mm	5 280
Hauteur seuil à vide	mm	0
Hauteur ridelles	mm	0
Largeur intérieure carrosserie	mm	0
Longueur intérieure carrosserie	mm	0



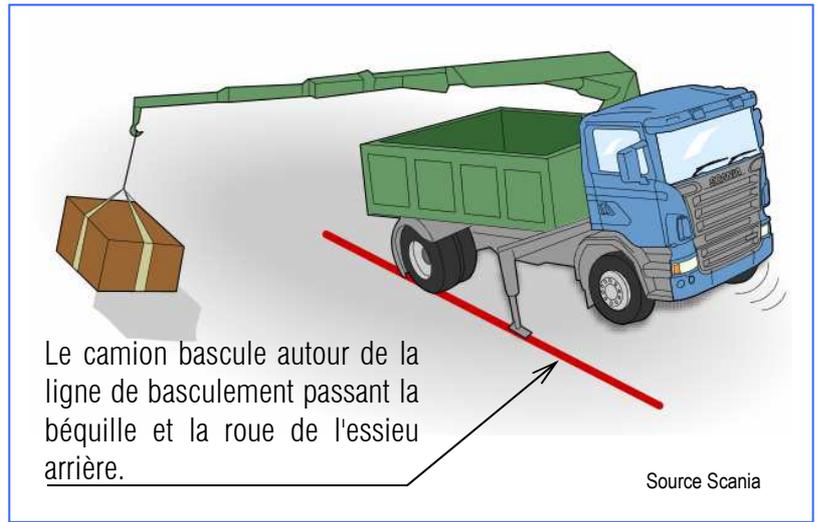
610	170	945	140	22°	14°	137	198	1573	1394	1816	2116
610	170	945	140	22°	14°	137	198	1573	1394	1816	2116
610	170	945	140	22°	14°	160	192	1573	1396	1818	2116
611	170	945	140	22°	14°	160	192	1573	1396	1818	2116
611	170	945	140	22°	14°	166	192	1573	1396	1818	2116
GH	G3	G2	G1	x	z	U3	U1	V1	V2	V3	0
HAUTEUR CENTRE DE GRAVITE (EN VIDE) GRAVITY CENTRE HEIGHT (UNLOADED)	PASSAGE DE ROUE WHEEL CLEARANCE			ANGLES D'ATTAQUE ET DE FUITE (EN CHARGE) APPROACH/DEPARTURE ANGLES (LOADED)		GARGES AU SOL CLEARANCES		VOIES TRACKS		LARGEUR ARR. REAR WIDTH	HAUTEUR CABINE CAB HEIGHT

Source Renault

▪ **Interprétation des résultats**

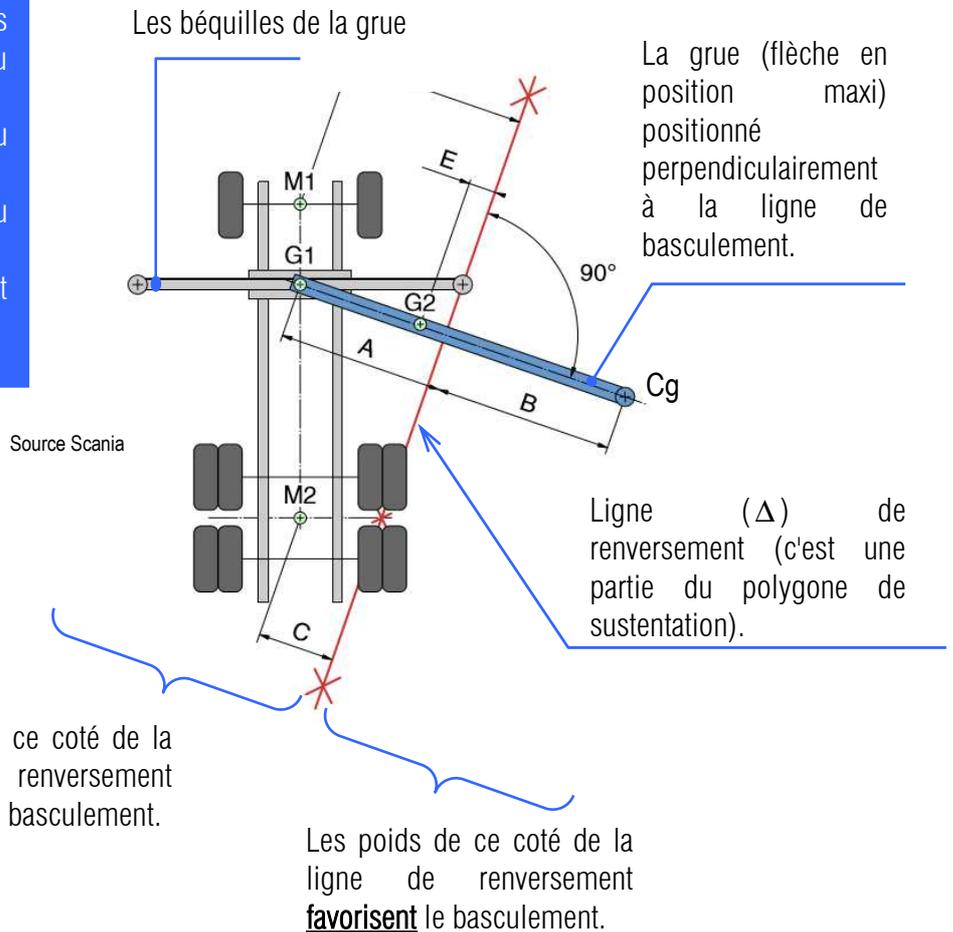
Les résultats calculés précédemment ne tiennent pas compte de la présence des béquilles. La présence de ces béquilles modifie le polygone de sustentation, les calculs sont alors plus complexes et prennent en compte la localisation de la grue (dos de cabine ou en porte à faux).

Les calculs se font alors en vue de dessus.



▪ **Exemple**

- Le poids du porteur avec le faux châssis et la carrosserie sont répartis sur l'essieu AV et AR aux points M1 et M2.
- Le poids des béquilles est appliqué au point G1.
- Le poids de la flèche est appliqué au point G2.
- Le poids de la charge à soulever est appliqué au point Cg.



Le facteur de stabilité (n) est :

$$n = \frac{\sum \text{moment autour de la droite } (\Delta) \text{ des poids qui empêchent le basculement}}{\sum \text{moment autour de la droite } (\Delta) \text{ des poids qui favorisent le basculement}} > 1,4$$

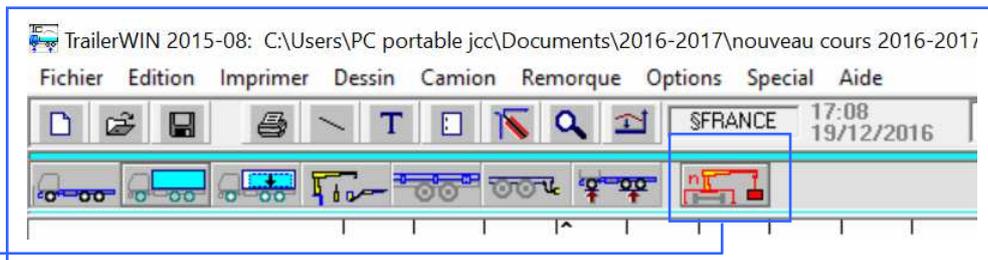
Ces calculs restent fastidieux car le carrossier doit effectuer les calculs pour toutes les configurations de la grue (En avant, de côté gauche, droite et en arrière). Actuellement les logiciels (par exemple CraneWin) permettent d'effectuer ces calculs.

6. Utilisation de l'informatique pour résoudre la stabilité

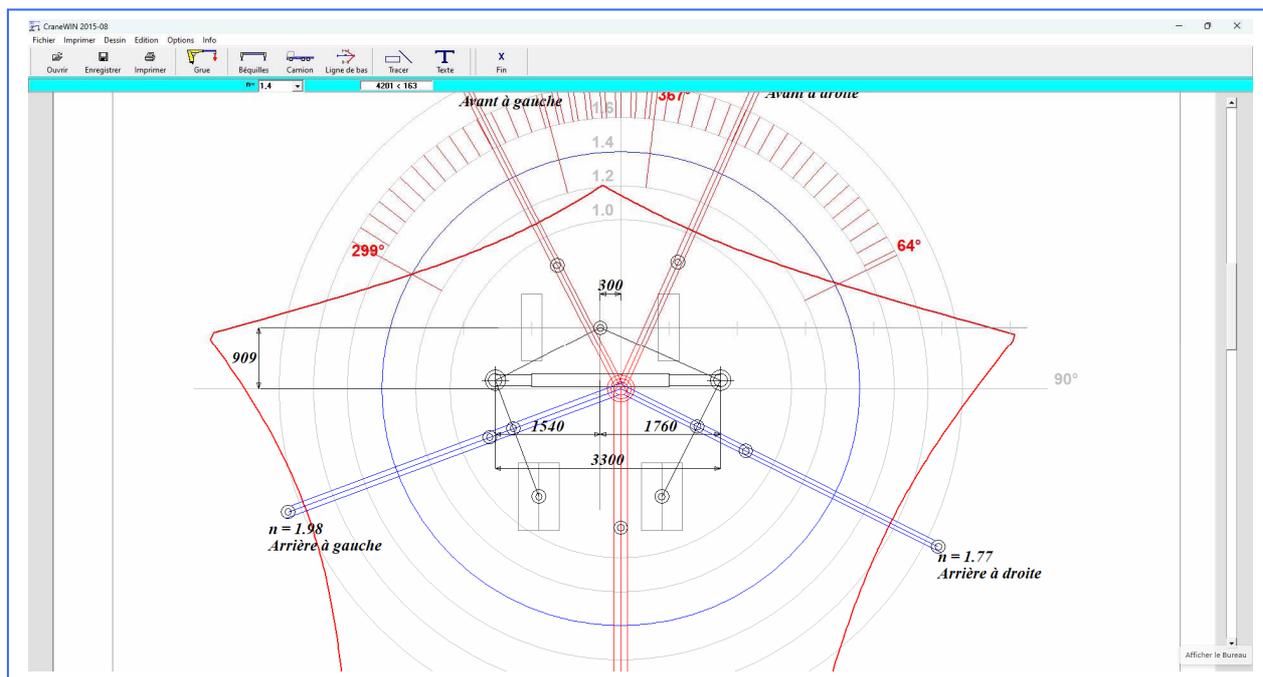
L'atelier CraneWIN de TrailerWIN permet de résoudre rapidement les problèmes de stabilité des véhicules équipés de grues.

- Lancer l'atelier CraneWIN.

- Cliquer sur l'icône "CraneWin" ou sur l'onglet "Spécial" puis sur "CraneWIN".

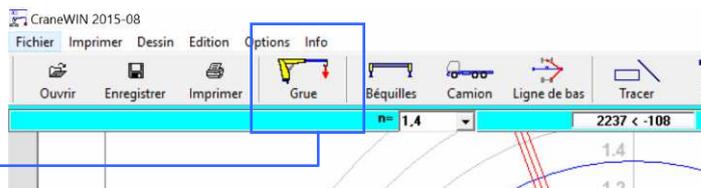


La page suivante s'affiche :



- Etape 1 : Vérification des données de la grue

- Cliquer sur l'icône "Grue".



Le menu suivant s'affiche :

Nous retrouvons les caractéristiques de la grue.

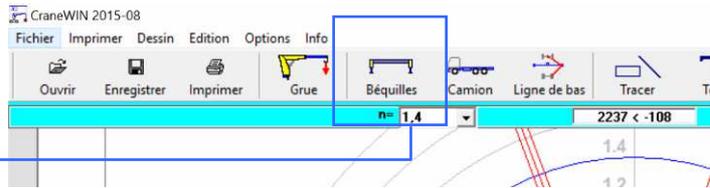
Nom de la tâche / Moment		Annuler
Nom de la tâche		 <input type="button" value="OK"/>
Client		
Camion	RENAULT MAXITY 120.35/5 CC E5 PTAC 3.50T CABINE C	
Grue	PALFINGER PK 2900 2(A)	
Moment		<input type="radio"/>  <input type="radio"/> 
Force de levage à portée max kg	470	
Portée max mm	5200	
		M1 = 24 kNm
Poids de la grue sans bras kg	219	<input type="radio"/>  <input type="radio"/> 
Poids du bras kg	170	
Centre de gravité du bras mm	2050	
		M2 = 4 kNm
		M1 + M2 = 28 kNm

Nous retrouvons le poids de la flèche seule.

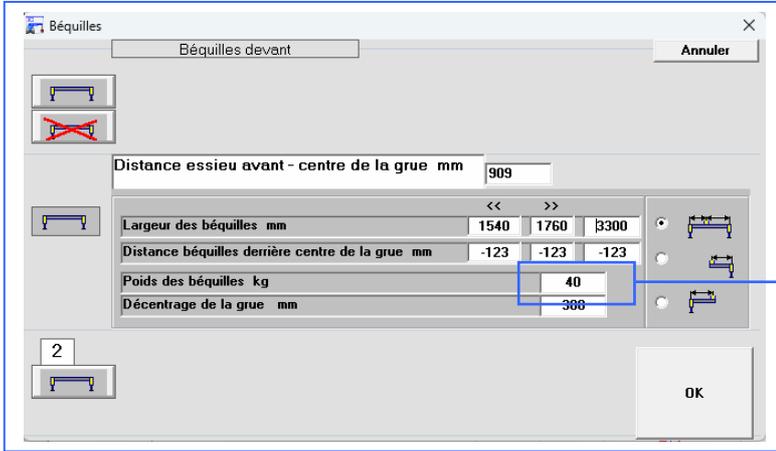
La masse totale de la grue est de 219 kg, auquel s'ajoute la masse des bécquilles (40 kg) soit un total de 438 kg.

▪ Etape 2 : Vérification des données des béquilles

- Cliquer sur l'icône "Béquilles".



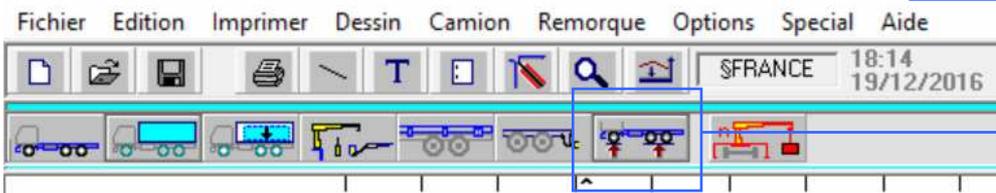
Le menu suivant s'affiche :



La masse des béquilles est de 40 kg.

▪ Etape 3 : Vérification des données du porteur

La répartition des masses est obtenue en cliquant sur l'icône "Poids" de TrailerWIN.



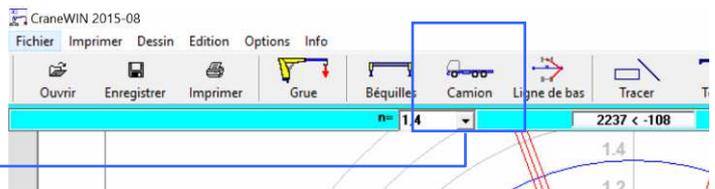
	x CDG	AV	AR	Total
+ Poids du chassis		1224	471	1695
+ Nombre de personnes 3 x 75 kg	0	225	0	225
+ Poids de la carrosserie 80 kg/m	2500	0	200	200
+ poids du faux-chassis 100 kg/m	2067	49	234	283
1 PALFINGER PK 2900 2(A)	1418	190	248	438
+ Crochet de remorque	3470	-19	69	50
= Poids à vide :		1669	1222	2891
+ charge utile	2500	0	609	609
= Poids chargé :		1669	1831	3500
:: Poids total maximum autorisé (PTMA)		1750	2200	3500

Nous remarquons que pour le calcul du poids à vide, le logiciel a intégré le poids du conducteur et passagers qu'il faut bien sûr retirer mais aussi celui du poids de la flèche (179 kg).

En tenant compte de cette remarque, les valeurs à utiliser pour le calcul de la stabilité deviennent les suivantes :

PV.AV	PV.AR
$1669 - 225 - 78 = 1366\text{kg}$	$1222 - 101 = 1121\text{ kg}$

- Cliquer sur l'icône "Camion".



Nous remarquons que ces valeurs qui seront utilisées pour le calcul de la stabilité sont fausses. Remplacer ces valeurs par les 2 valeurs du tableau précédent (page 31).

Ici les largeurs entre roue correspondent à la valeur de V1 et V2.
Les valeurs de la fiche technique diffèrent : $V1 = 1574$ et $V2 = 1396$.

- Corriger ces 4 valeurs dans le menu.

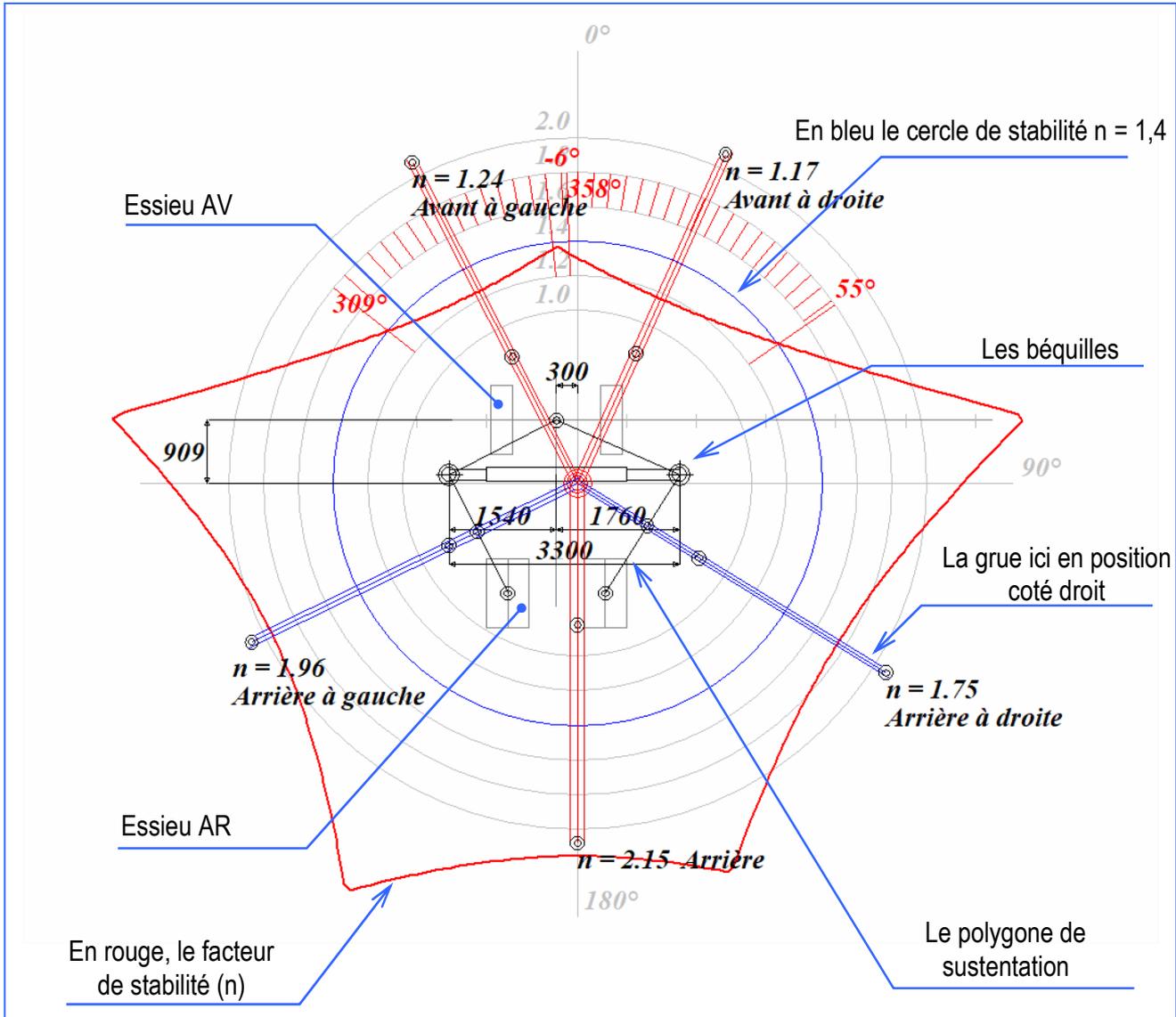
Ce qui donne
- Valider.

Les résultats sont mis à jour et sont donnés à la page suivante.

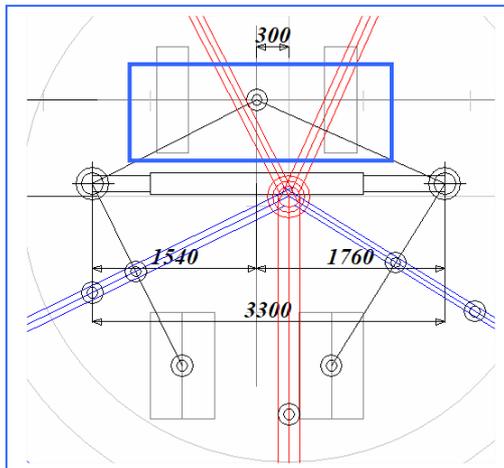
- Etape 4 : Analyse des résultats

Sur cet abaque, nous trouvons :

- La représentation des essieux avant et arrière,
- Le polygone de sustentation,
- Le cercle en bleu du rapport de stabilité ($n = 1,4$)
- Des représentations de la grue dans différentes positions et perpendiculaires au polygone de sustentation,
- Le décentrage de la grue (-300 mm), C'est vrai on n'en a pas parlé jusqu'à maintenant,
- Les béquilles de la grue.



Nous remarquons que le polygone de sustentation ne passe pas par les roues Avant mais par le centre de l'essieu Avant. Il est important de corriger cette erreur.

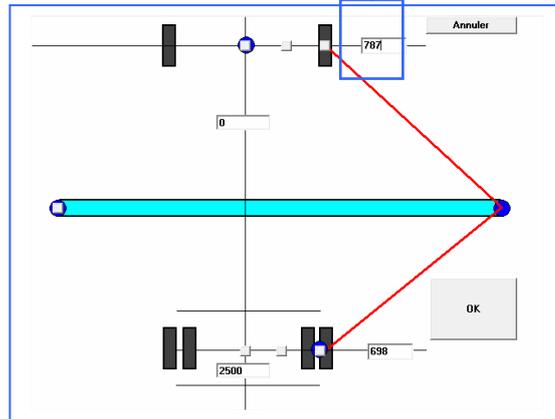
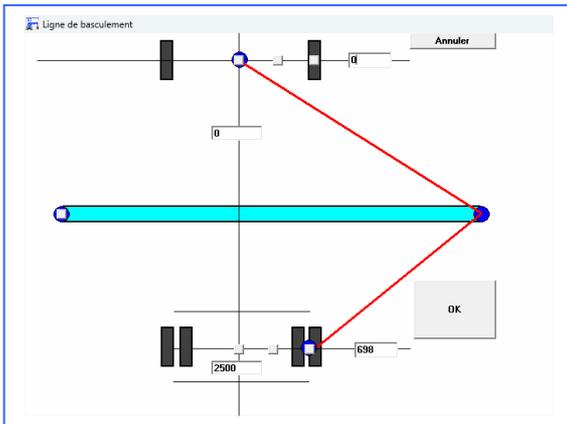


Nous allons modifier ce polygone.



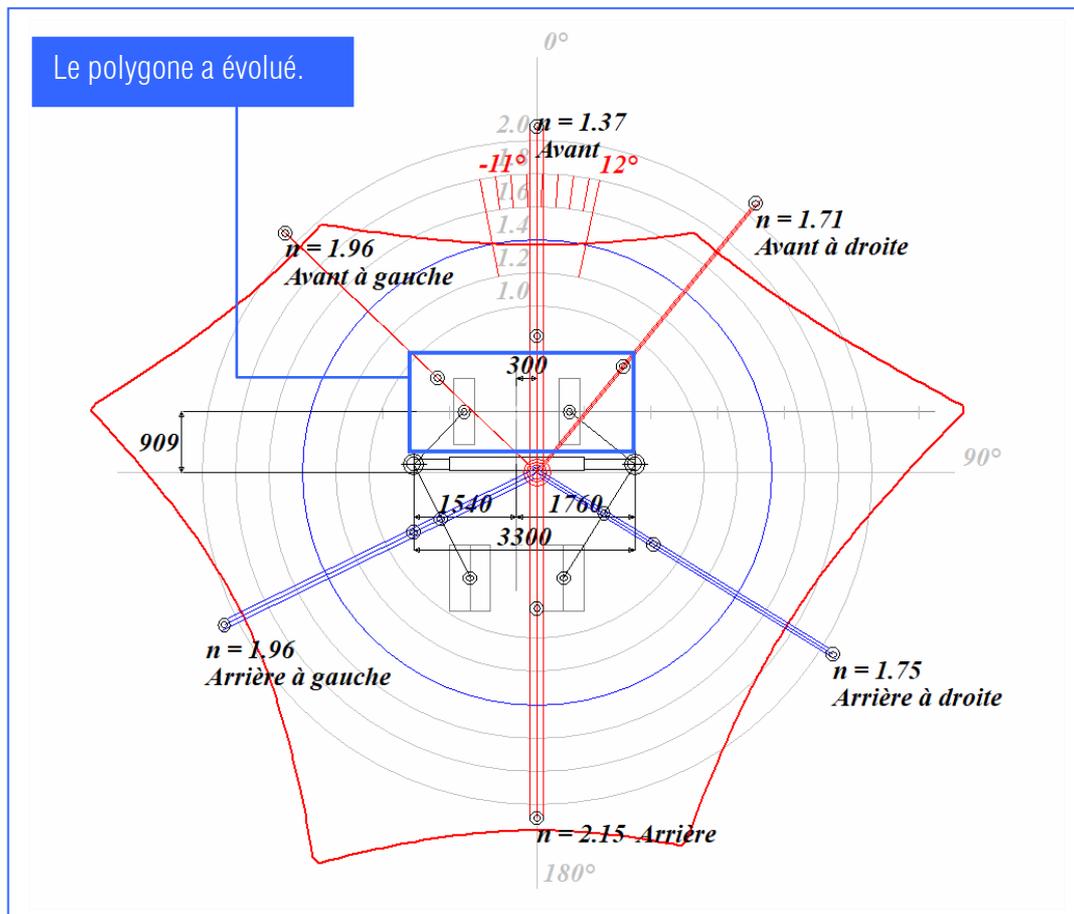
- Cliquer sur l'icône "Ligne de basculement".

- Déplacer la ligne de basculement en donnant la valeur de 787 (c'est la moitié de la voie $V1 = 1587/2 = 787$ mm).
 - Valider, les résultats sont instantanément modifiés.



Les résultats :

Le polygone a évolué.



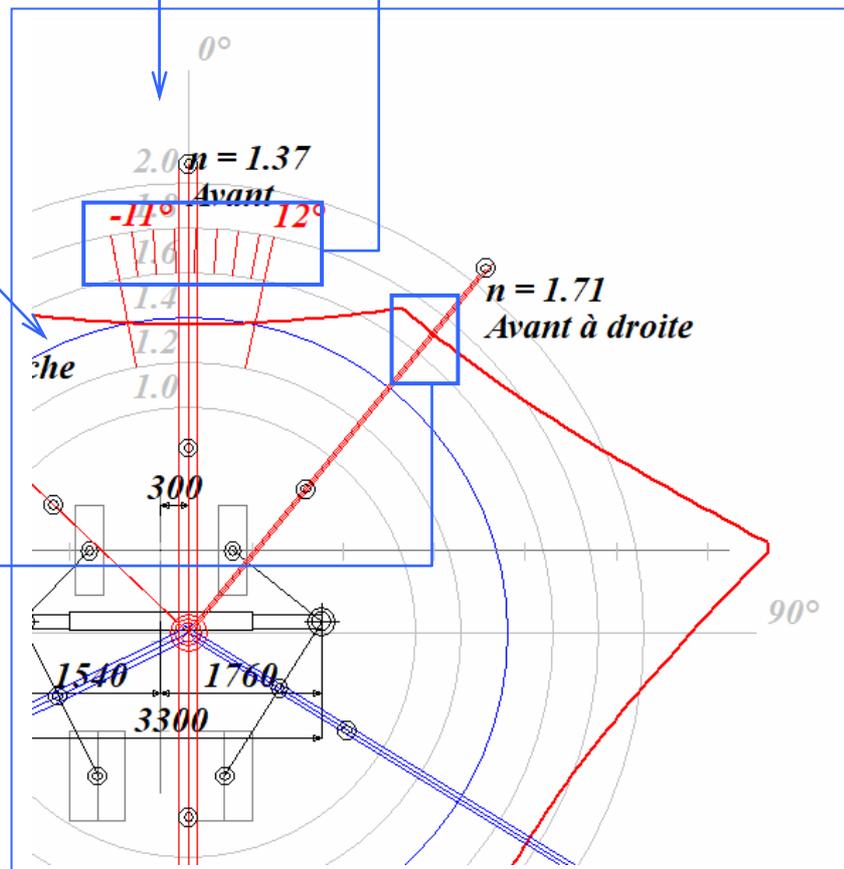
a) Identifier le facteur de stabilité

Le facteur de stabilité est représenté par des cercles concentriques repérés de 1 à 2.

Le cercle bleu correspond au facteur $n = 1,4$.

Dans cette zone hachurée, $n < 1,4$ l'utilisation de la grue est interdite car il y a risque de basculement.

La courbe rouge est située entre les cercles $n = 1,6$ et $n = 1,8$; plus précisément à $1,71 > 1,4$. Il n'y a pas de basculement possible.

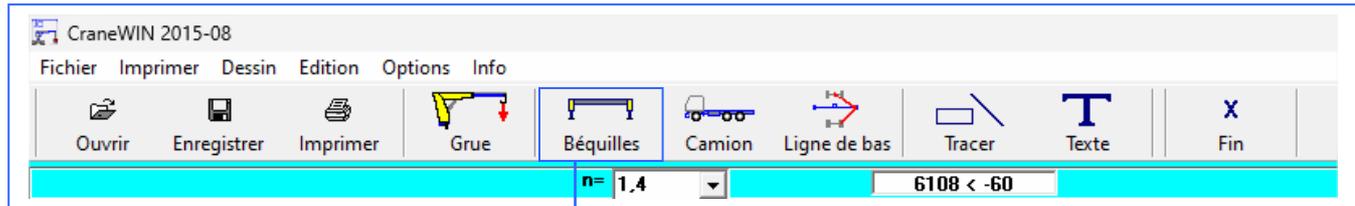


b) Qu'en est-il du calcul de stabilité effectué à la page 26 ?

Pour ce calcul, il n'y avait pas de béquilles et nous avons fait l'hypothèse que la voie Avant était égal à la voie AR = 1396 mm. Nous avons trouvé $n = 0,75$.

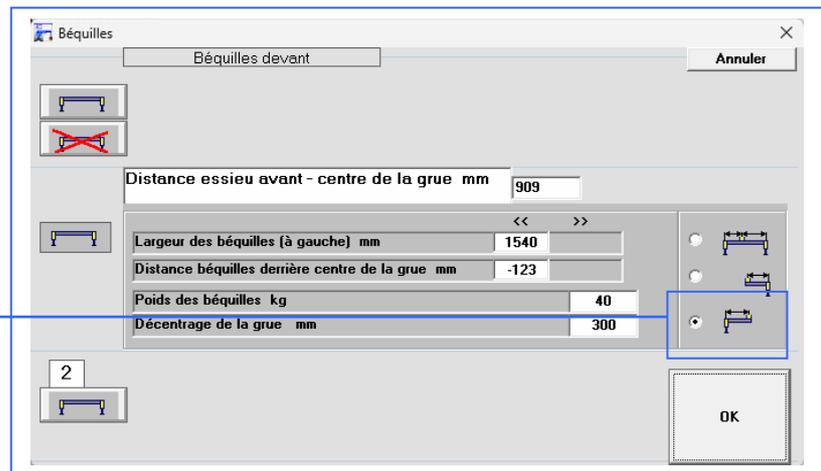
Dans la suite nous allons supprimer la béquille de droite et fixer la voie Avant égale à la voie Arrière soit 1396 mm.

b1) Supprimer la béquille de droite

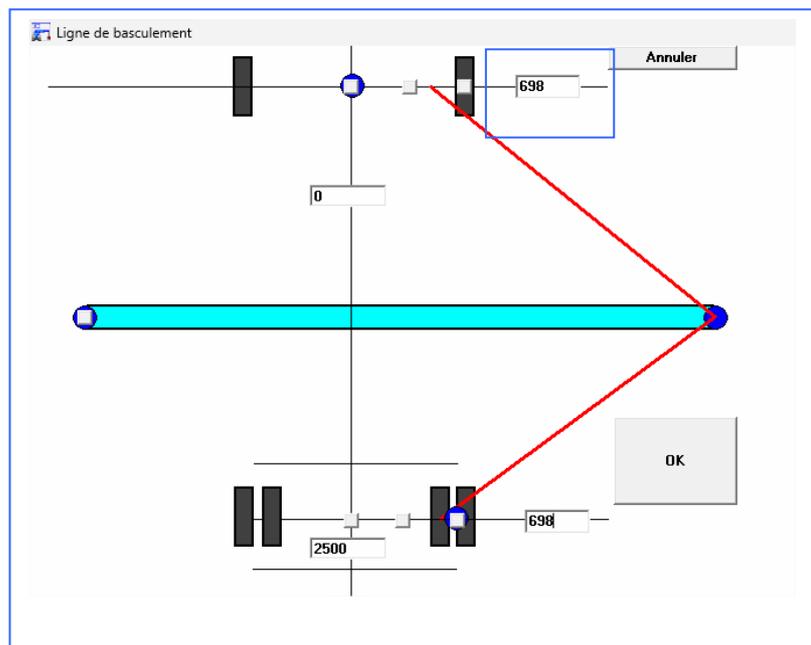


- Cliquer sur l'icône "Béquilles".

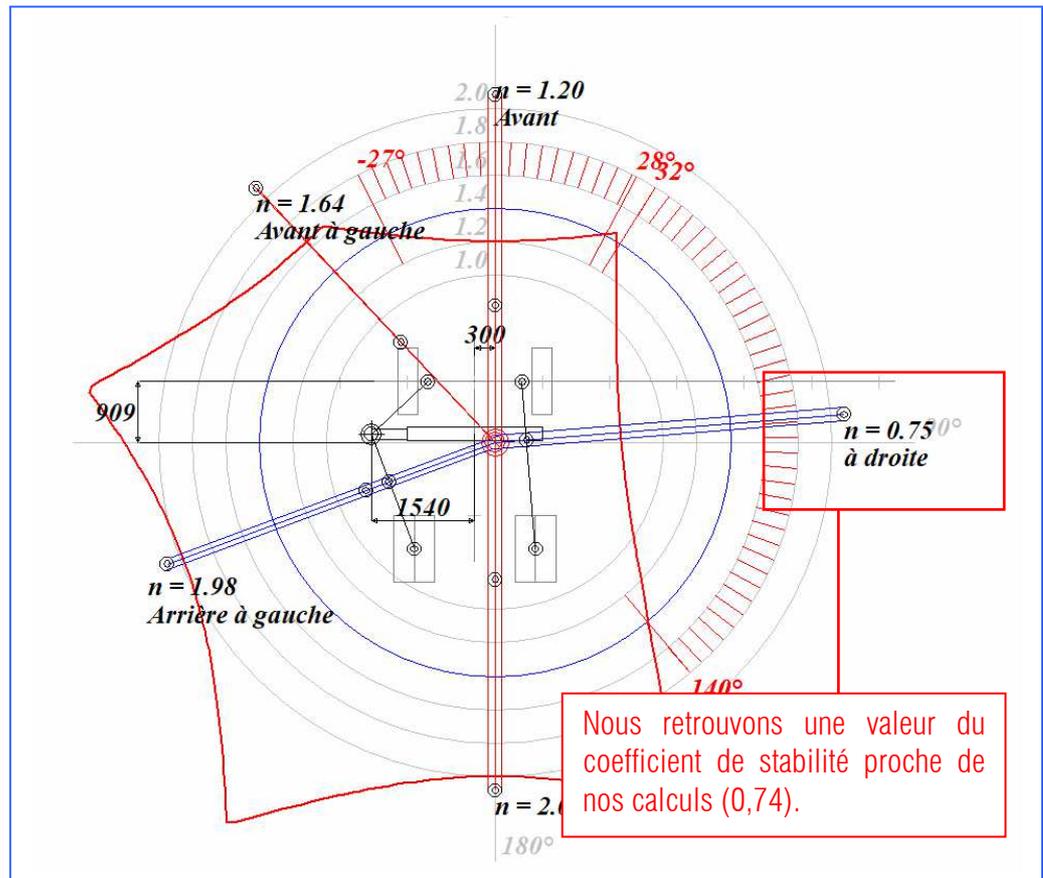
- Cocher "Béquilles gauche (seule)" et valider.



b2) Modifier la voie Avant



Les résultats évoluent :

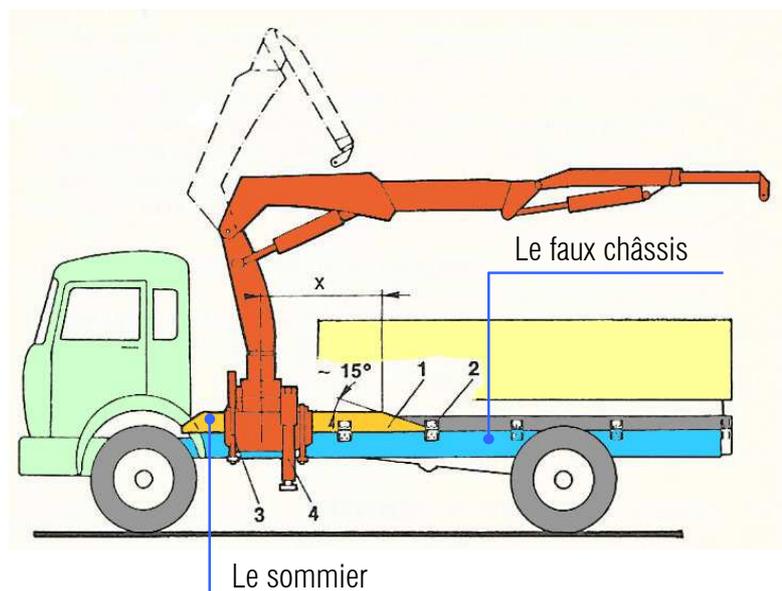
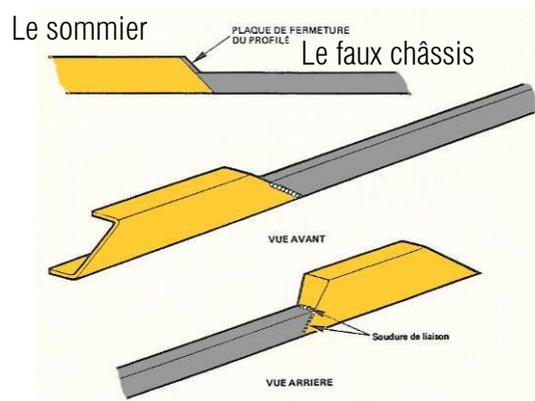


8. Renforcement du faux châssis

- Cas des grues dos de cabine

Par expérience la longueur (x) du sommier est comprise entre $(0.25 \times F)$ et $(0.35 \times F)$ de l'empattement (F) du véhicule.

De préférence, le sommier et le faux châssis auront le même type de profil. Il est préférable de passer graduellement du sommier au faux châssis.



La hauteur du sommier peut être calculée sous FrameWin.

- Cas des grues en porte à faux

L'emploi de béquilles hydrauliques à l'arrière est systématique. L'emploi d'un faux châssis est indispensable. Le faux châssis doit être lié rigidement avec le châssis du véhicule. Plusieurs solutions existent :

