833®
QUALITY MOUNTING SYSTEMS

ÉTUDE DES CHARGES

833 K7 - MINI RAIL 150X45MM ARQUÉ POUR 4 MODULES

SUNCONNECTION WORLDWIDE SLU

- **Tél.:** +34 868 076 098
- **Courriel**: ingenieria@833solar.com
- **Web**: www.833solar.com

2025

1.ÉTUDE DES CHARGES

SÉLECTION DE MODULES

- **Longueur: 2,278 mètres**
- **Largeur : 1,134 mètres**
- **Épaisseur: 30 - 35 mm**
- **Podis: 32,5kg**

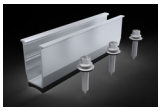
INSTALLATION DES MODULES

- **Type de surface:** Type de surface

CONFIGURATION DE BASE

- **Sélection du système:** 833-K7
- **Zone de vent 1, 2, 3 ou 4:** 35 m/s
- **Hauteur d'installation:** 15 mètres
- **Degré de rudesse de l'environnement:** III

2.LISTE DES PIÈCES DU SYSTÈME

PIÈCES		
833 MR150-45-ARC	Mini rail « U » de 150 x 45 mm pour tôle ondulée, avec EPDM arqué et visserie	
833 GF-50MM	Universel, réglable (25-35 mm), avec plaque conductrice et agrafe d'extrémité, L50 mm.	
833 GI-50MM	Universel, réglable (28-35 mm), avec plaque conductrice et ressort, agrafe intermédiaire, L : 50 mm.	

3.BASES DE LA CONCEPTION

RÉGLEMENTATION

SUPPOSITION DE CHARGE	NOM	DATE
BS EN 1990	Eurocode – Principes fondamentaux de la conception structurelle	01.01.2005
BS EN 1990/NA	Annexe. Eurocode national – Bases de la conception structurelle	04.06.2009
BS EN 1990/NA	Eurocode – Principes fondamentaux de la conception structurelle	30.06.2009
BS EN 1991-1-3	Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-3 : Actions générales, charges de neige	01.08.2005
BS EN 1991-1-3/NA	Annexe nationale à l'Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-3 : Actions générales – Charges de neige	29.06.2007
BS EN 1991-1-4	Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-4 : Actions générales, actions du vent	15.05.2011
BS EN 1991-1-4/NA	Annexe nationale à l'Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-4: actions générales, actions du vent	Noviembre de 2008
Solicitud	Résumé des résultats des essais et des simulations de vent	Junio de 2009
BS EN 1993-1-1	Eurocode 3 : Conception des structures en acier – Partie 1-1	01.10.2006
BS EN 1993-1-1/NA	Annexe nationale à l'Eurocode 3 : Conception des structures en acier – Partie 1-1	01.12.2008
BS EN 1999-1-1	Eurocode 9 - Conception des structures en aluminium, partie 1-1	01.08.2010
BS EN 1999-1-1/NA	Annexe nationale à l'Eurocode 9 - Conception des structures en aluminium, partie 1-1	01.05.2010

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES MATÉRIAUX

Matériau en aluminium

- **Structure en aluminium** AL6005-T5
- **Densité:** ρ = 27,1 kN/m^(3)
- **Module d'élasticité:** E = 6,9 × 10^4 N/mm^(2)
- **Coefficient de dilatation linéaire:** α = 2,32 × 10-5
- **Coefficient de Poisson:** ν = 0,33
- **Résistance à la traction, à la compression et à la flexion:** fs = 220 N/mm^(2)

Actions permanentes dues au poids propre

- **Charge permanente:**
  - Spécifications du module photovoltaïque:
    - ***Dimensions : 2,278 m × 1,134 m × 30 mm ; poids: 32,5 kg***
  - Charge permanente du module photovoltaïque:
    - ***G = 32,5 × 9,8/(2,278 × 1,134)/1 000 = 0,1233 kN/m^(2)***

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES MATÉRIAUX

Actions variables dues au vent

- **Calcul de la vitesse de base du vent Vb:**
  $Vb = Cdir \times Cseason \times V_o = 1{,}0 \times 1{,}0 \times 35 = 35\ m/s.$

  Où:
  - ***Cdir : facteur directionnel, valeur recommandée : 1,0 ;***
  - ***Cseason : facteur saisonnier, valeur recommandée : 1,0 ;***
  - ***Vo : vitesse de référence du vent ; Vo = 35 m/s.***

- **Calcul de la vitesse moyenne du vent :**
  $Vm(z) : Vm(z) = Cr(z) \cdot Co(z) \cdot Vb$

  Où :
  - ***Co(z):*** coefficient topographique, valeur recommandée : 1,0.
  - ***Cr(z):*** facteur de rugosité calculé à l'aide de la formule ;
  - ***Facteur de rugosité : Cr(z)***
    - ***$Cr(z) = Kr \cdot ln(Z/Z_o)$ avec $Zmin \leq Z \leq Zmáximo$***
    - ***$Cr(z) = Cr(Zmín.)$ avec $Z \leq Zmin$.***

  Où :
  - ***Kr :*** facteur du terrain, calculé à l'aide de la formule ;
  - ***Z :*** hauteur du système photovoltaïque, prise comme Z = 15 m pour ce projet.
  - ***Z_o et Zmín. :*** paramètres du terrain ;

TERRAIN	DESCRIPTION	z_o (m)	z_{min} (m)
0	Mer ou zone côtière exposée à la mer ouverte	0,003	1
I	Lacs ou zones plates et horizontales, avec une végétation insignifiante et sans obstacles	0,01	1
II	Zone avec une végétation basse, telle que des pelouses, et des obstacles isolés (arbres, bâtiments), avec des séparations d'au moins 20 fois la hauteur de ces obstacles.	0,05	2
III	Zone avec une couverture végétale ou des bâtiments réguliers, ou avec des obstacles isolés espacés d'au plus 20 fois leur hauteur (comme les villages, les zones suburbaines ou les forêts permanentes)	0,3	5
IV	Zone dont au moins 15 % de la superficie est couverte de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m	1,0	10

REMARQUE: les catégories de terrain sont illustrées dans la section A.1

Zmax : valeur recommandée de 200 m ;
Facteur de terrain Kr:
Kr = 0,19·(Z_o/Z_o,II)^(0,07) = 0,19·(0,3/0,05)^(0,07) = 0,215

Où :
- ***Z_o*** longueur de rugosité pour la catégorie de terrain III ; Z_o = 0,3 mètre ;
- ***Z_o,*** II valeur du tableau, 0,05 m ;
- ***Zmin = 5 m***

Par conséquent,
- ***Cr(z) = Kr·ln(Z/Z_o) = 0,215·ln(15/0,3) = 0,843***
- ***Vm(z) = Cr(z) · Co(z) · Vb = 0,843 · 1 · 35 = 29,491 m/s***

- **Calcul de la pression dynamique du vent qp ;**
  qp = ρ·[Vm(z)]^(2) = 1,25·(29,491)^(2) = 1,087 kN/m2

  Où:
  - ***ρ : densité de l'air, valeur recommandée : 1,25 kg/m3***

- **Calcul de la pression maximale du vent qp (z) :**
  qp (z) = [1 + 7·Iv(z)] 1/2·qp

  Où:
  - ***Iv(z):*** intensité de turbulence, calculée à l'aide de la formule :
  - ***Iv(z) = K_1/[Co(z) · ln(Z/Z_o)] si Zmin ≤ Z ≤ Zmax***
  - ***Iv(z) = Iv(Z_(min)) si Z ≤ Zmin***

  Où:
  - ***K_1 :*** facteur de turbulence, valeur recommandée : 1,0 ;
  - ***Co(z) :*** coefficient topographique, valeur recommandée : 1,0 **;**
  - ***Z :*** hauteur du système photovoltaïque ; Z = 15 m ;
  - ***Z_o et Zmin :*** paramètres du terrain pour la catégorie III : Z_o = 0,3 m ;
  - ***Zmin*** = 5 m ;
  - ***Zmax :*** valeur recommandée de 200 m ;

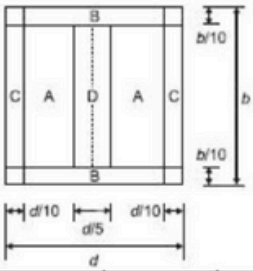
  Par conséquent,
  - ***Iv(z) = K_1/[Co(z) · ln(Z/Z_o)] = 1/[1 · ln(15/0,3)] = 0,256.***
  - ***Qp(z) = [1 + 7·Iv(z)]·1/2·Qp = (1 + 7·0,256) · 1/2 · 1,087 = 1,516 kN/m^(2).***

- **Calcul de la pression du vent Wp :**
  - **Pression Wp = qp(z) · Cpe = 1,516 · 0,4 = 0,6065 kN/m2**
  - **Aspiration Wp' = qp(z) · Cpe = 1,516 · (-0,7) = - 1,0614 kN/m2**

  Où:
  - ***Cpe:*** coefficient de force du vent, pris comme 0,4 pour le vent en pression et comme - 0,7 pour le vent en aspiration avec une inclinaison de 10°
    - ***Cpe vent en pression = 0,4***
    - ***Cpe vent en aspiration = (-0,7)***

Net pressure coefficients $c_{p,net}$

Key plan



Roof angle α [°]	Blockage φ	Overall Force Coefficient c_f	Zone A	Zone B	Zone C	Zone D
- 20	Maximum all φ	+ 0,7	+ 0,8	+ 1,6	+ 0,6	+ 1,7
	Minimum φ = 0	- 0,7	- 0,9	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum φ = 1	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
- 15	Maximum all φ	+ 0,5	+ 0,6	+ 1,5	+ 0,7	+ 1,4
	Minimum φ = 0	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum φ = 1	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 10	Maximum all φ	+ 0,4	+ 0,6	+ 1,4	+ 0,8	+ 1,1
	Minimum φ = 0	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,5	- 0,6
	Minimum φ = 1	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 5	Maximum all φ	+ 0,3	+ 0,5	+ 1,5	+ 0,8	+ 0,8
	Minimum φ = 0	- 0,5	- 0,7	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum φ = 1	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
+ 5	Maximum all φ	+ 0,3	+ 0,6	+ 1,8	+ 1,3	+ 0,4
	Minimum φ = 0	- 0,6	- 0,6	- 1,4	- 1,4	- 1,1
	Minimum φ = 1	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,5
+ 10	Maximum all φ	+ 0,4	+ 0,7	+ 1,8	+ 1,4	+ 0,4
	Minimum φ = 0	- 0,7	- 0,7	- 1,5	- 1,4	- 1,4
	Minimum φ = 1	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,8
+ 15	Maximum all φ	+ 0,4	+ 0,9	+ 1,9	+ 1,4	+ 0,4
	Minimum φ = 0	- 0,8	- 0,9	- 1,7	- 1,4	- 1,8
	Minimum φ = 1	- 1,3	- 1,3	- 2,2	- 1,6	- 2,1
+ 20	Maximum all φ	+ 0,6	+ 1,1	+ 1,9	+ 1,5	+ 0,4
	Minimum φ = 0	- 0,9	- 1,2	- 1,8	- 1,4	- 2,0
	Minimum φ = 1	- 1,3	- 1,4	- 2,2	- 1,6	- 2,1

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES MATÉRIAUX

Actions variables dues à la neige

- **Calcul de la pression effective de la neige Sk, v**
  $S_{k,v}=u \cdot C_e \cdot C_i \cdot S_k \cdot \cos\theta$

  Où,
  - **u: Coefficient de pente de neige, u = 0,8 avec angle θ < 30°;**
  - **u = 0,8 · (60 - θ) / 30 avec angle 30° < θ < 60°.**
  - **Ce: Coefficient d'exposition, valeur recommandée 1;**
  - **Ct: Coefficient thermique, valeur recommandée 1;**

  Sk: *Pression de neige de base* ***Sk=0,40 kN/m2***

  Par conséquent,
  $S_{k,v}=u \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \cdot \cos\theta=0{,}8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}40 \cdot \cos(10°)=0{,}315$ kN/m2

Les effets des actions à prendre en considération

1. Charge permanente du module photovoltaïque G: ***0,1233 kN/m2***
2. Charge de neige Sk, v: ***0,315 kN/m²***
3. Actions du vent :
   - ***Wp: 0,6065 kN/m² Pression***
   - ***Wp': -1,0614 kN/m² Aspiration***

Combinaisons de chargede carga

Pour le calcul de la résistance à l'état limite ultime, on utilise :
- **Avec charge de neige: 1,35 G + 0,9 Wp + 1,5 Sk,v**
- **Avec charge de vent sous pression: 1,35 G + 1,5 Wp + 0,75 Sk,v**
- **Avec charge de vent à aspiration: 0,9 G + 1,5 Wp'**

Remarque:
- ***G***: poids propre,
- ***Sk,v:*** charge de neige
- ***Wp:*** représente l'action du vent sous pression
- ***Wp':*** représente l'action du vent par aspiration;

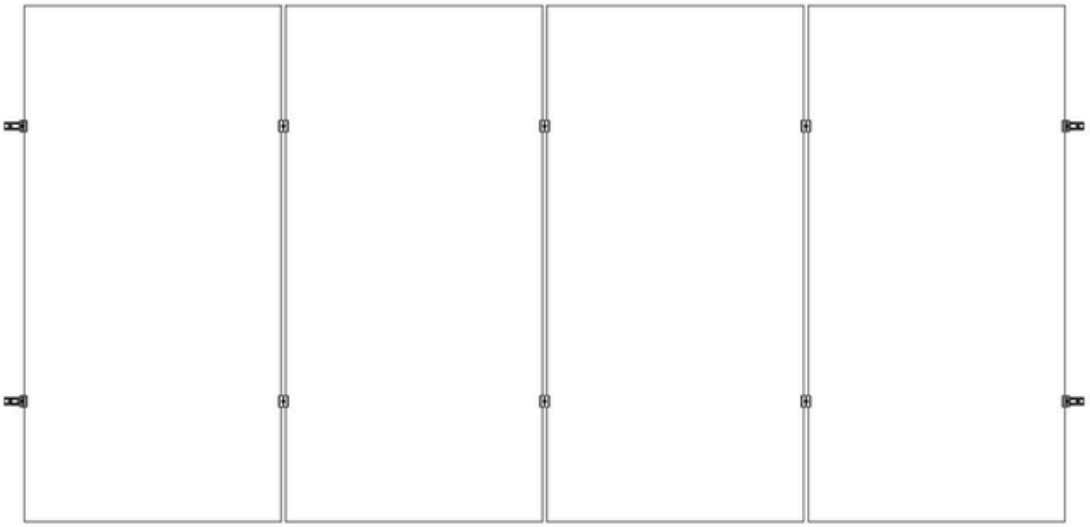
Pour le calcul de la déviation à l'état limite de service :
- **Avec charge de neige: 1,0 G + 0,6 Wp + 1,0 Sk,v**
- **Avec charge de vent sous pression: 1.0G + 1.0 Wp + 0,5 Sk,v**
- **Avec charge de vent à aspiration: 1.0G + 1.0 Wp'**

Remarque:
- ***G:*** poids propre,
- ***Sk,v:*** charge de neige
- ***Wp:*** représente l'action du vent sous pression
- ***Wp':*** représente l'action du vent par aspiration;

4. CALCULS DE STRUCTURE

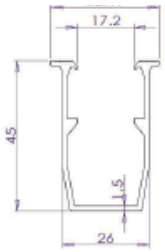
DESCRIPTION STRUCTURELLE

Ce projet prend pour exemple la disposition de composants 1x4.
Il s'agit d'une forme de pression ponctuelle, avec une pression moyenne répartie sur un rail de 45 U (150 mm).

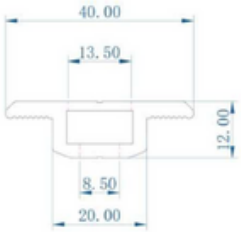


VÉRIFICATION DES PIÈCES

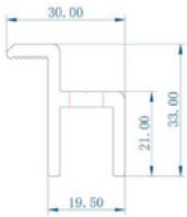
Vérifiez la résistance des pièces soumises à des contraintes.



- **Propriétés du matériau du rail :**
  - **Matériau du rail : AL6005-T5 ;**
  - **Les caractéristiques géométriques de la section transversale du rail sont les suivantes:**
    - ***Section transversale A = 163,7 mm2 ;***
    - ***Moment d'inertie (axe fort) I=16544,7 mm4;***
    - ***Le module de résistance est de 1 197 mm3.***



- **Propriétés du matériau de l'agrafe intermédiaire**
  - **Matériau: AL6005-T5;**
  - ***Section transversale A =199,7 mm²;***
  - ***Moment d'inertie (axe fort) I=31341,2 mm⁴;***
  - ***Module résistant W=1015,4 mm³***



- **Propriétés du matériau de l'agrafe finale :**
  - **Matériau : AL6005-T5;**
  - ***Section transversale A=247,7 mm²;***
  - ***Moment d'inertie (axe fort) I=9051,2 mm⁴;***
  - ***Module résistant W=1330,1 mm³***

- **Calcul des actions :**

Pour le calcul de la résistance à l'état limite ultime :

- **Avec charge de neige:**(1,35 G + 0,9 Wp + 1,5 Sk,v) ·surface pv (1,35·0,1233+ 0,9·0,6065 + 1,5·0,3151) ·2,278·1,134= **3,0612 kN**
- **Avec vent descendant (pression):** (1,35 G + 1,5 Wp + 0,75 Sk,v) ·surface pv (1,35·0,1233 + 1,5·0,6065 + 0,75·0,3151) ·2,278·1,134= **3,3907 kN**
- **Avec un vent ascendant (aspiration):** (0,9 G + 1,5 Wp') · surface pv (0,9·0,1233 + 1,5·-1,0614) ·2,278·1,134= **-3,8261 kN**

La force exercée par le vent aspirant est la plus importante. Les calculs sont effectués sur la base de cette force.

- **Pression à l'extrémité -3,8261 /4= -0,957 kN**
- **Pression dans le milieu -3,8261/2= -1,913 kN**

Pour le calcul de la déviation à l'état limite de service:

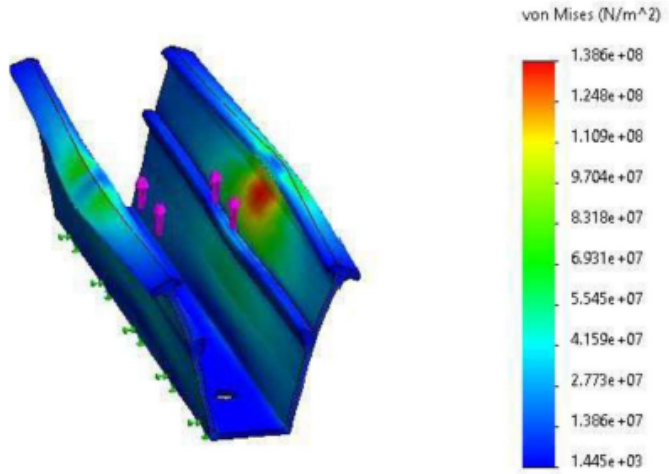
- **Avec charge de neige:** (1,0 G + 0,6 Wp + 1,0 Sk,v) ·surface pv (1,0·0,1233+ 0,6·0,6065 + 1,0·0,3151) ·2,278·1,134= **2,073 kN**
- **Avec vent descendant (pression):** (1,0 G + 1,0 Wp + 0,5 Sk,v) ·surface pv (1,0·0,1233 + 1,0·0,6065 + 0,5·0,3151) ·2,278·1,134= **2,292 kN**
- **Avec un vent ascendant (aspiration):** (1,0 G + 1,0 Wp') · surface pv (1,0·0,1233 + 1,0·-1,0614) ·2,278·1,134= **-2,423 kN**

La force exercée par le vent en aspiration est la plus importante. Les calculs sont basés sur la force exercée par le vent en aspiration.

- **Pression à l'extrémité -2,423/4= -0,606 kN**
- **Pression dans le milieu -2,423/2= -1,212 kN**

- **Analyse de vérification des rails**

1. ***Analyse de modélisation*** *(pression dans le milieu)*

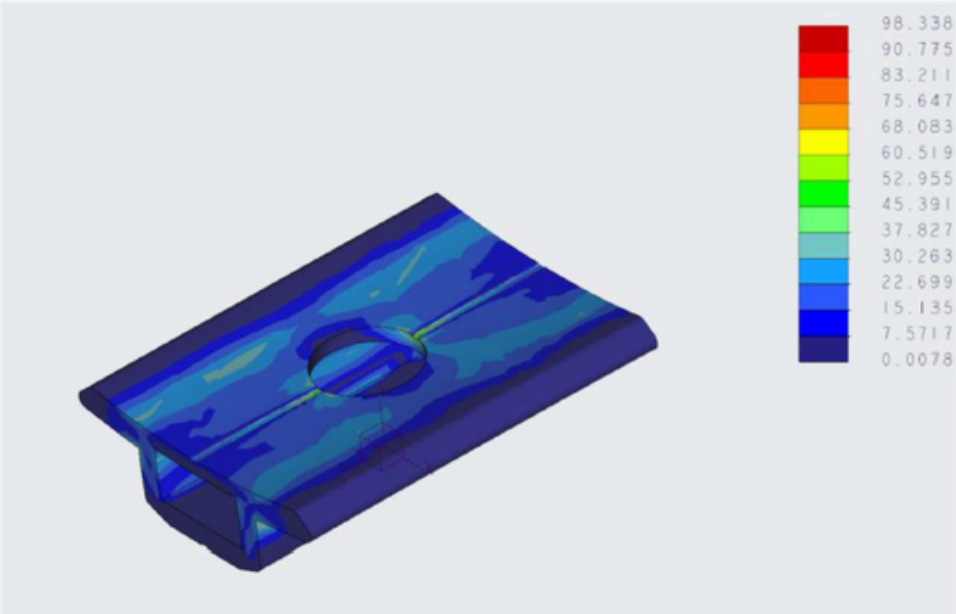


2. **Analyse de vérification de la tension maximale sur le rail:**
   σ1=104,4 N/mm²<f=220 N/mm²

CONCLUSION : le rail répond aux exigences.

- **Analyse de vérification de l'agrafe intermédiaire**

1. ***Analyse de modélisation*** *(pression dans le milieu)*

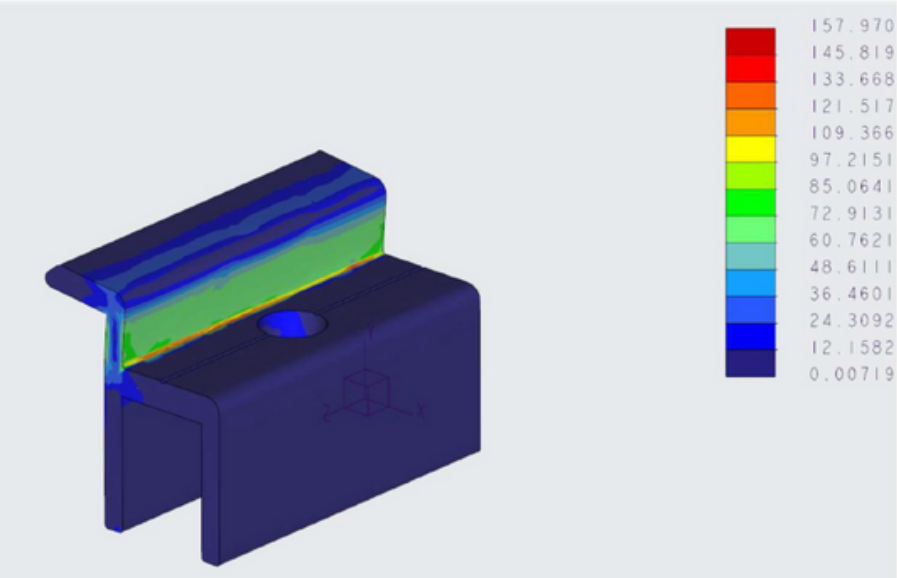


2. ***Analyse de vérification de la tension maximale au niveau de l'agrafe intermédiaire σ1=98,3 N/mm²<f=220 N/mm²***

CONCLUSION : l'agrafe intermédiaire répond aux exigences.

- **Analyse de vérification de l'agrafe finale**

1. ***Analyse de modélisation*** *(pression dans le milieu)*



2. **Analyse de vérification de la tension maximale au niveau de l'agrafe finale:**
   $\sigma 1=158\ N/mm^2 < f=220\ N/mm^2$

CONCLUSION : l'agrafe finale répond aux exigences.

CONCLUSION FINALE :
La résistance du système répond à toutes les exigences de conception.