

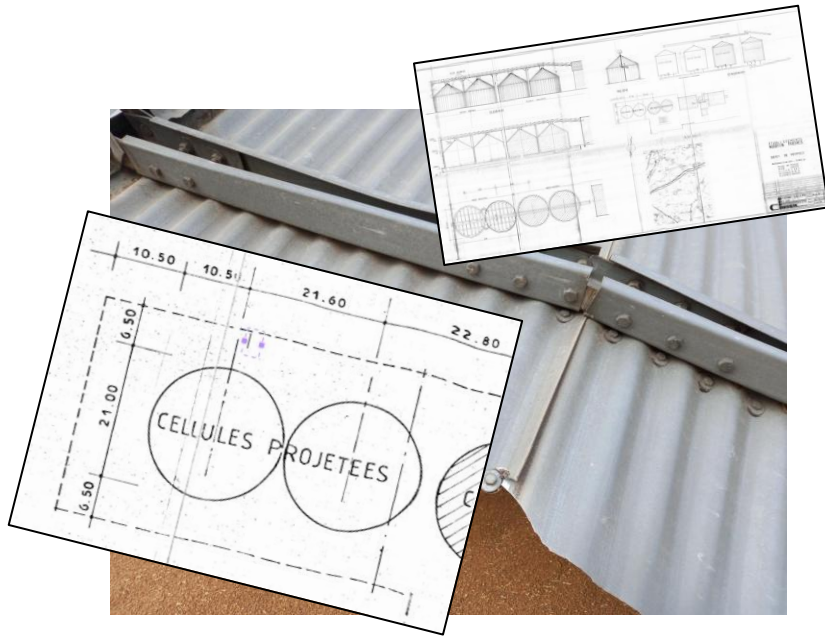
Étude de l'effondrement d'un silo agricole

Présentée par Laurent FLACELIÈRE et Co-écrit avec Élodie ROULLAND

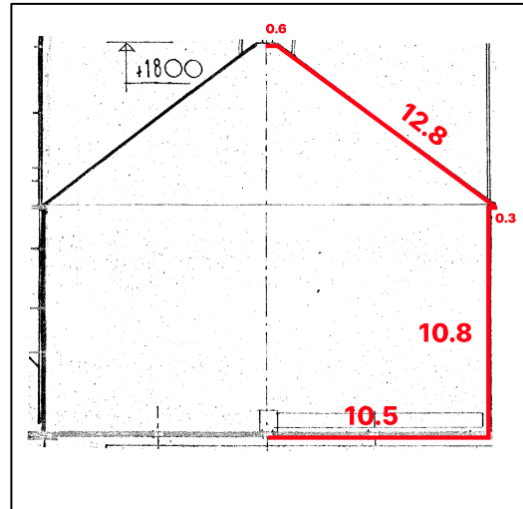


3) Description du projet

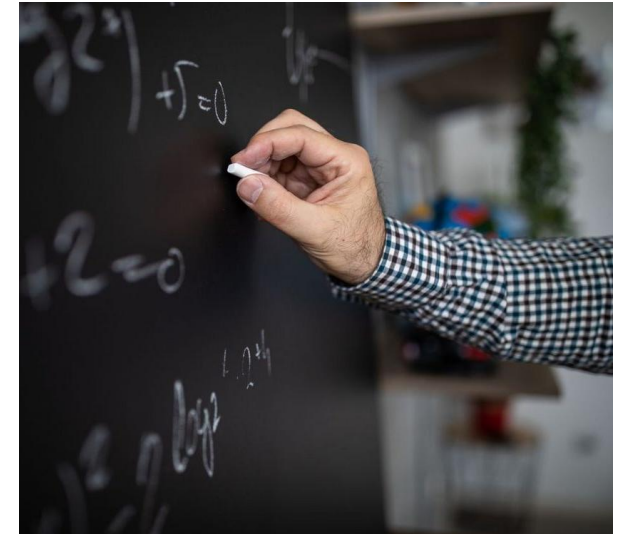
Un projet avec peu de données d'entrée



Données Partielles
(quelques schémas, photo...)



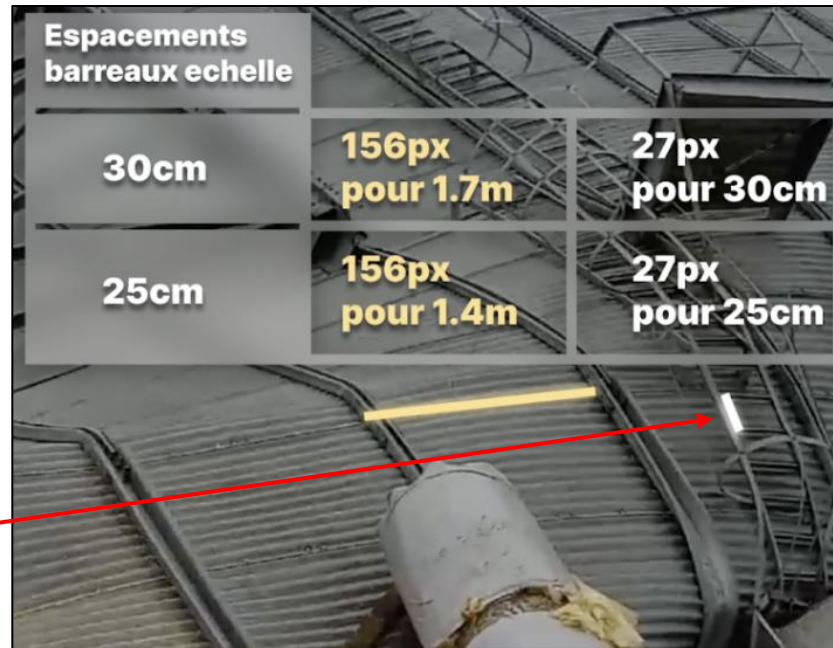
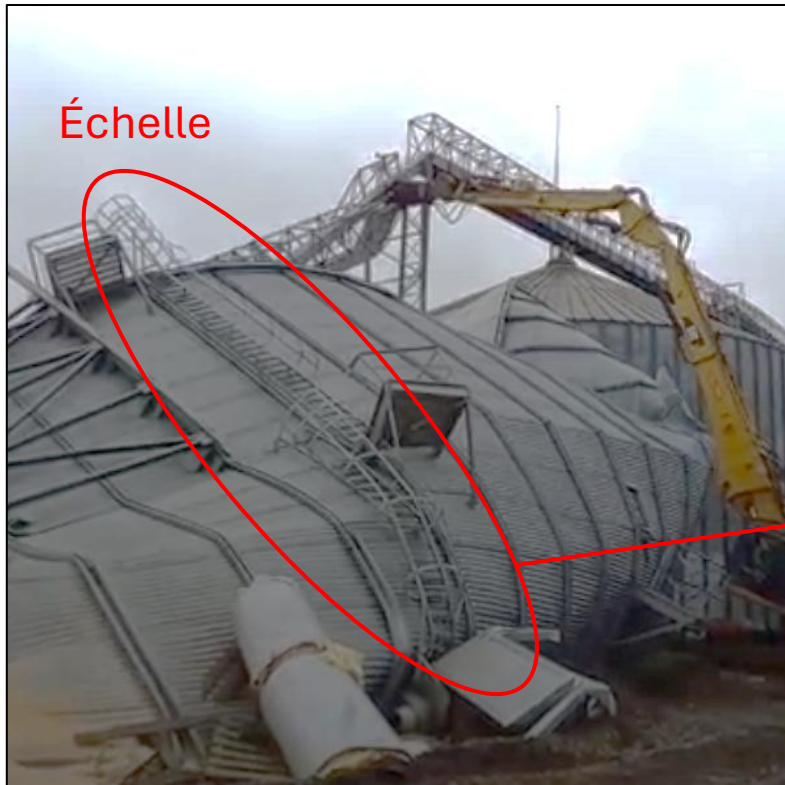
Plans très peu côtés



Approximations & Hypothèses
nécessaires
pour modéliser le silo

4) Méthodologie / Plan d'action

Exemple : Méthode de détermination pour trouver le nombre de facettes du silo



Selon la norme **EN ISO 14122-4** , la distance standard entre les barreaux d'une échelle doit être comprise entre **25 cm et 30 cm**.

Ainsi :

Nous trouvons une largeur entre 1,4 et 1,7m nous allons choisir une largeur de 1,5m en tant que valeur intermédiaire pour la largeur de notre facette.

$$n = D \cdot \pi / L$$
$$n = 21 \cdot \pi / 1,5$$
$$n \approx 44$$

Le Silo possède environ 44 facettes

5) Modélisation Numérique

Les efforts appliqués dans la structure :

$$F = 0.5 * 760 * 9.81 * (z + |z|) \div 2$$

Constantes du calcul :

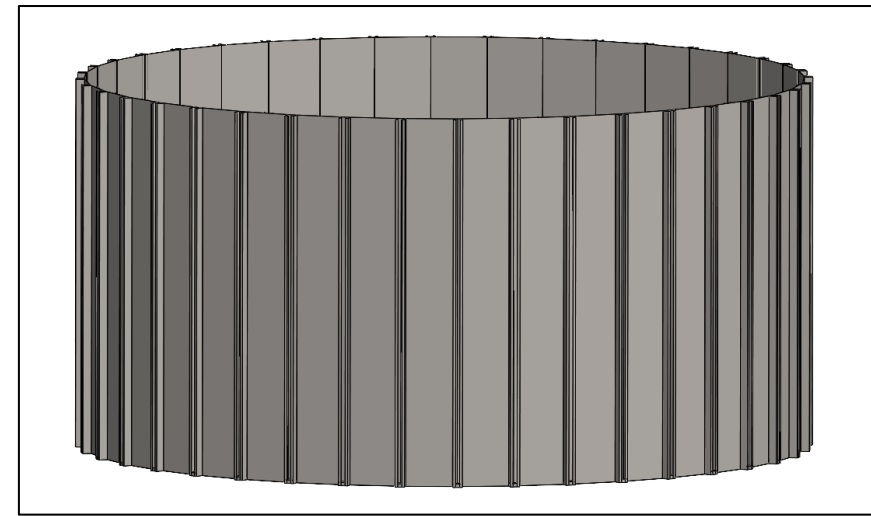
$K = 0.5$: Coefficient de poussée effectif, traduisant le fait que le blé n'exerce pas une pression strictement hydrostatique

$\rho = 760 \text{ kg/m}^3$: Masse Volumique du blé

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$: l'accélération de la pesanteur.

z : la hauteur à laquelle s'applique la force.

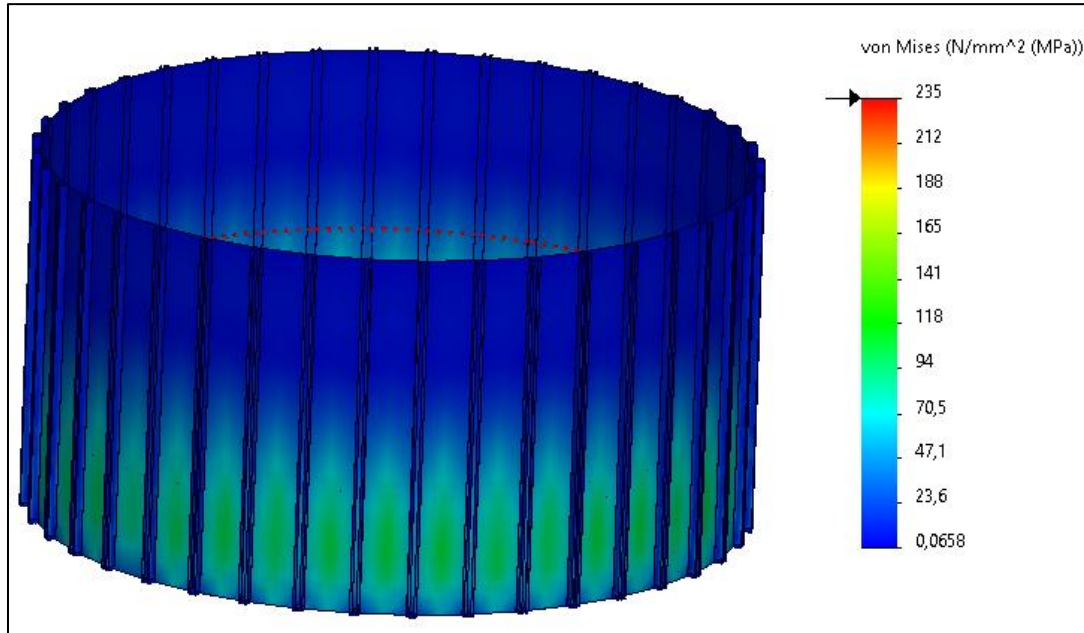
Terme $(z + |z|) \div 2$: fonction coupant l'effort lorsque $z < 0$ (pour ne pas appliquer d'effort au-dessus des 2/3 de la hauteur). Le remplissage maximum d'un silo doit être de 66% de son volume total.



6) Cas 1 : Silo maintenu par tous les goujons (40 goujons)

Vue 1 – Effort :

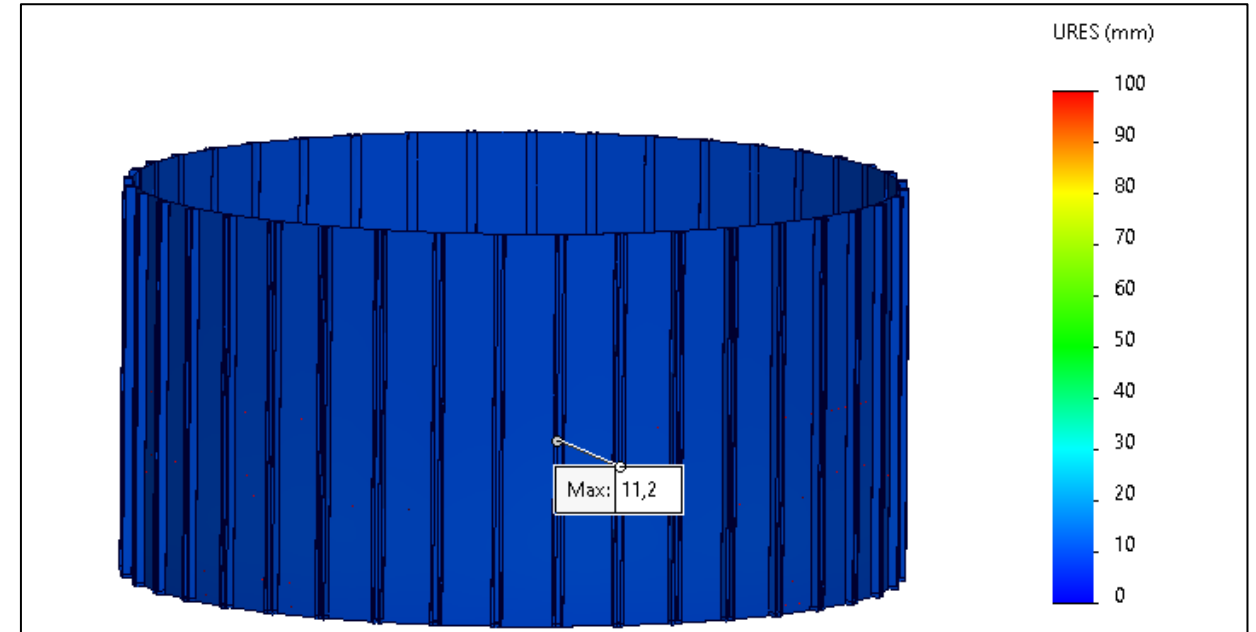
Von Mises



Les efforts sont plus importants sur la partie basse du silo (**déformation en poire**).

Au point d'ancrage, **il n'y a pas de déformation**.

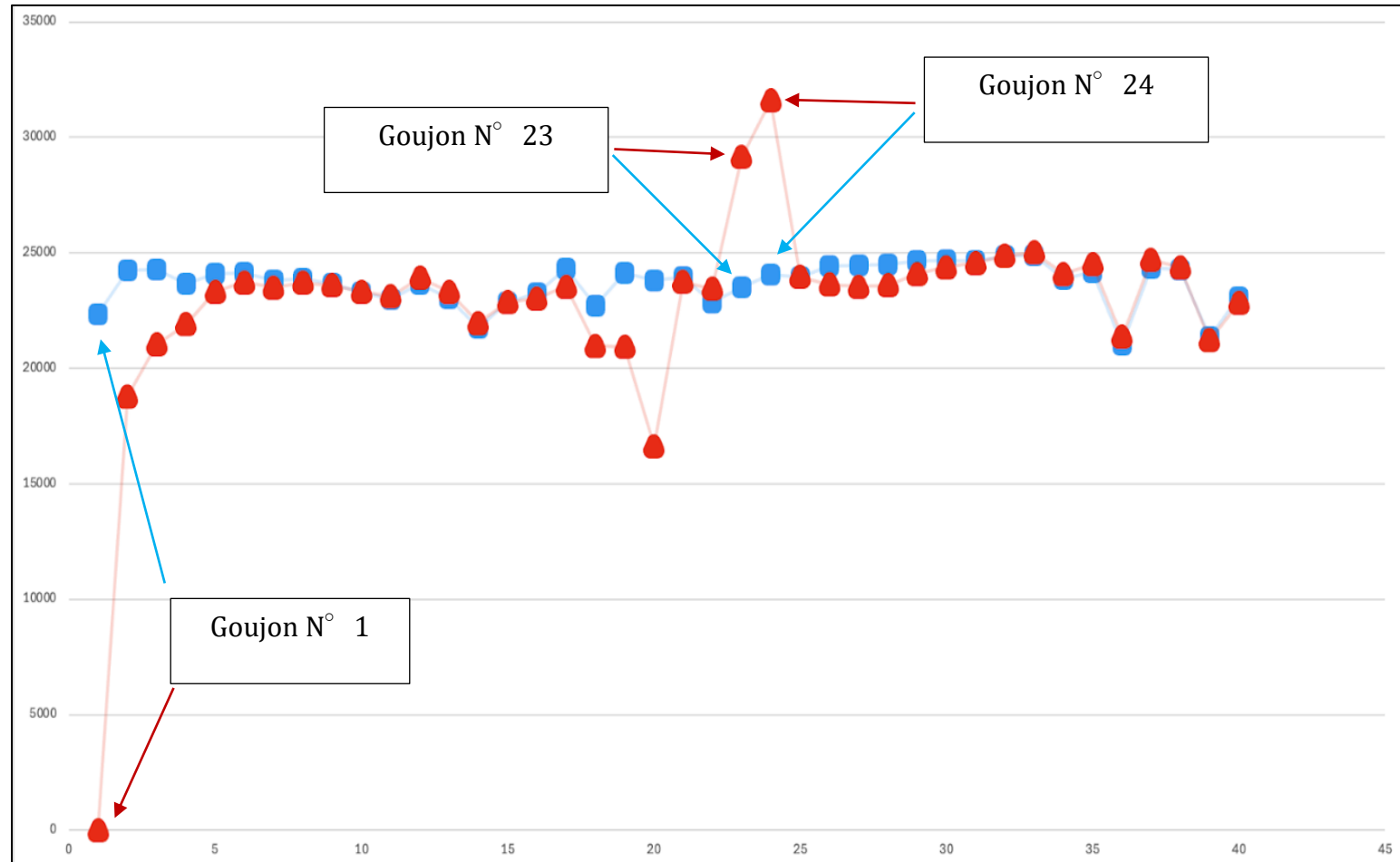
Vue 2 – Déplacement :



Le déplacement résultant **maximal est de 11,2mm**.

Le silo est rempli au maximum légal (66% du volume total du silo)

7) Cas 2 : Silo maintenu avec un goujon de moins (39 goujons)



Force (en N) appliquée sur chaque goujon

Goujon N°1 : Goujon cassé.

Nous observons dans les goujons N°23 et N°24, une contrainte supplémentaire.

Le goujon N°24 semble le plus contraint avec une contrainte de cisaillement d'environ 32kN.

- : Avec tous les goujons
- : Avec un goujon manquant

7) Cas 2 : Silo maintenu avec un goujon de moins (39 goujons)

Diamètre nominal d [mm]	Section résistante (1) A_s [mm ²]	Classe 8.8		Classe 10.9	
		Résistance au cisaillement (2)	Résistance en traction (3)	Résistance au cisaillement (2)	Résistance en traction (3)
		$F_{v,Rd}$ [kN]	$F_{t,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]	$F_{t,Rd}$ [kN]
8	36,6	✓	21,1	14,6	26,4
10	58,0	22,3	33,4	23,2	41,8
12	84,3	32,4	48,5	33,7	60,7
14	115	44,3	66,5	46,2	83,1
16	157	60,2	90,2	62,7	112,8
18	192	73,9	111	77,0	139
20	245	94,0	141	97,9	176
22	303	117	175	121,4	218
24	353	135	203	141	254
27	459	173	265	184	331
30	561	215	323	224	404
33	694	266	399	277	499
36	817	314	470	327	588
39	976	375	562	390	703
42	1121	430	646	448	807

Tableau de résistance des goujons/vis

Même avec une contrainte supplémentaire de 32kN en cisaillement le goujon N°24 résiste.

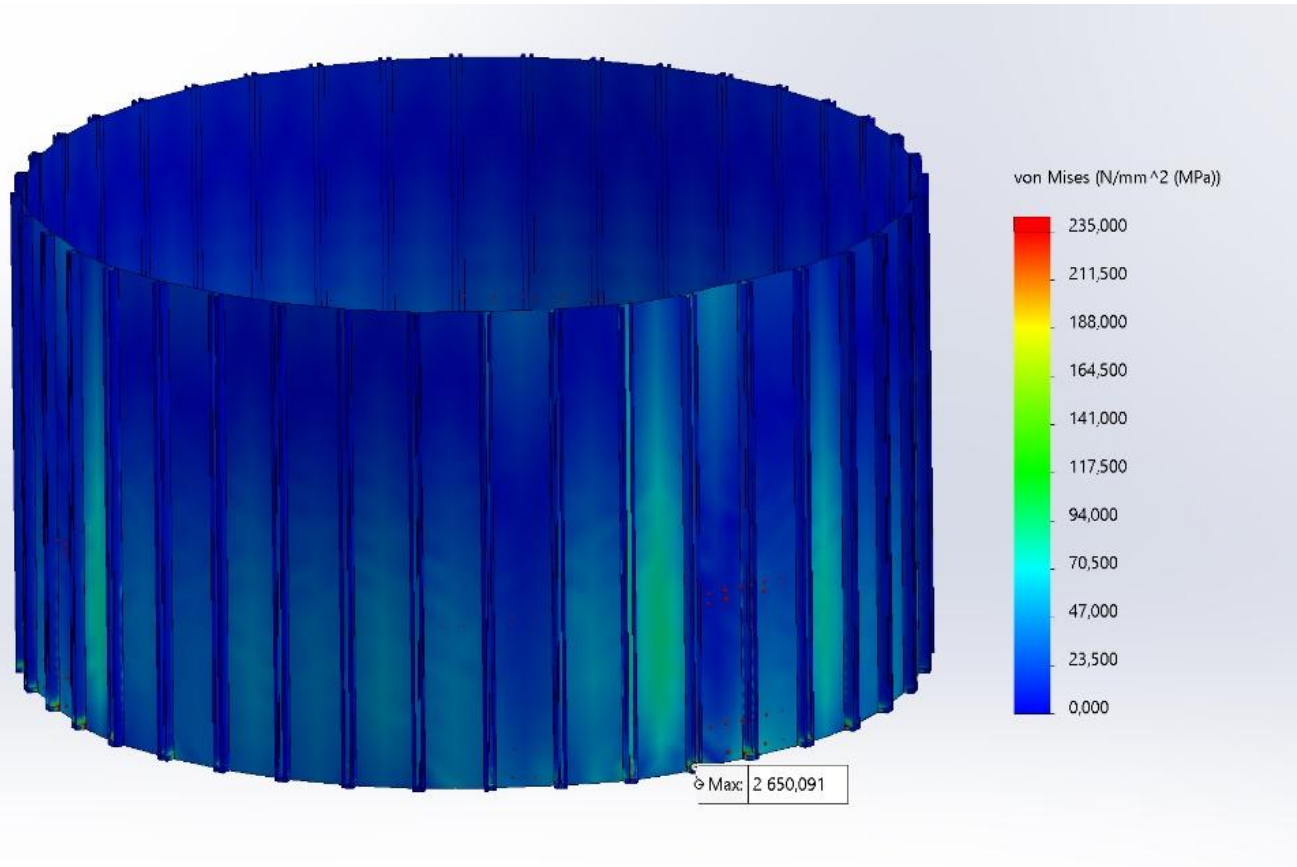
Avec nos hypothèses et nos recherches, nous pouvons trouver une résistance au cisaillement de 94kN.



8) Cas 3 : Silo maintenu avec 20 goujons cisailés (1 goujon cisailé sur 2)

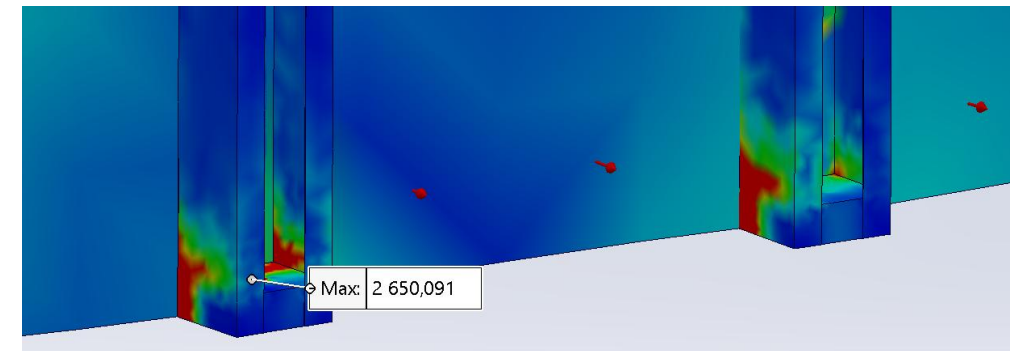
Vue 1 – Effort :

Von Mises



Avec un goujon sur deux, la structure est soumise dans de très grande contrainte Avec un maximum de 2650 MPa.

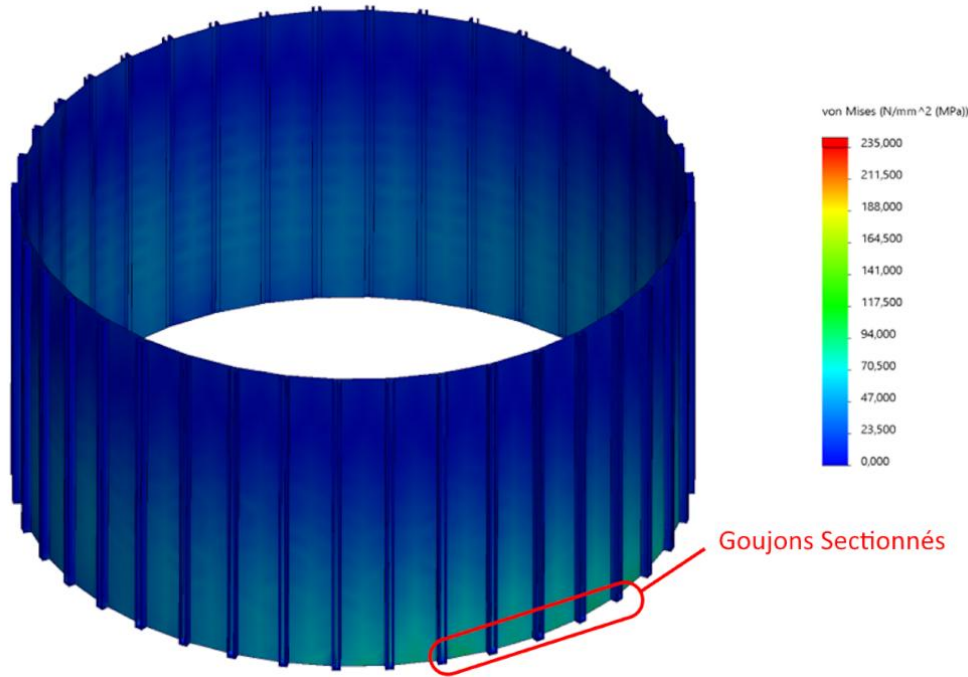
Pour rappel nous utilisons de l'acier S235 avec une résistance élastique de 235 MPa.



9) Cas 4 : Silo maintenu avec 5 goujons cisailés contigus (35 goujons)

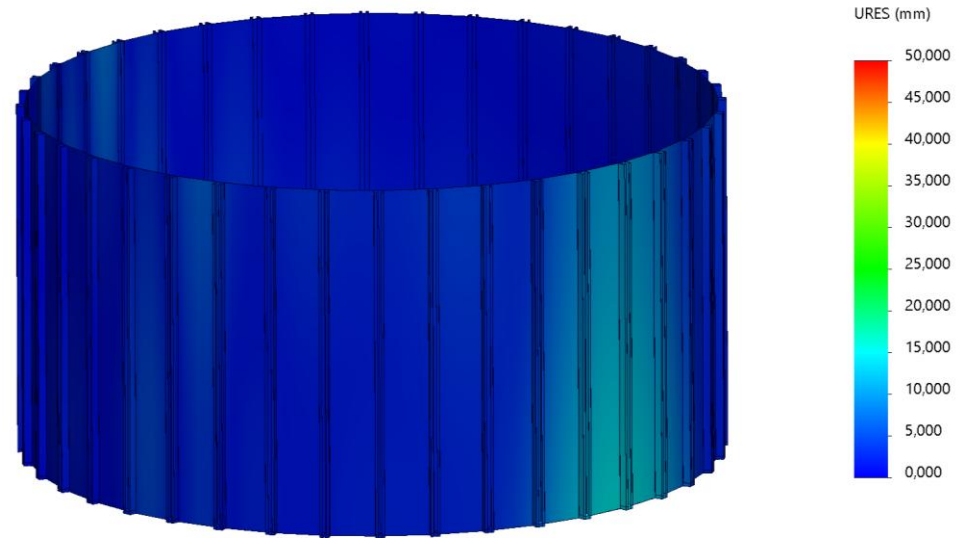
Vue 1 – Effort :

Von Mises



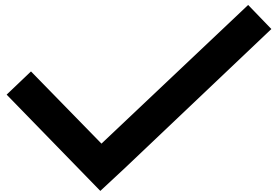
Vue 2 - Déplacement

Déplacement URES (en mm)

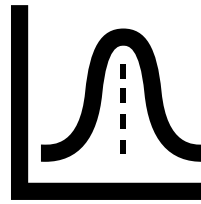


Avec 5 goujons sectionnés en contigus la structure se **déplace de 15,3mm**, les efforts de Von Mises montrent qu'il n'y a pas assez d'efforts pour faire s'effondrer le silo.

10) Conclusion



Avec un goujon sectionné, la structure résiste contrairement à ce que les experts en assurance pensaient initialement.



Il semble peu probable que 1 goujons sur 2 soit cassé , 5 goujons contigus également.



Seul un goujon a été retrouvé sur le site de l'incident, mais en est-il la cause ou la conséquence de l'effondre.

Nous ne pouvons pas le déterminer.

Merci de votre écoute
&
Avez-vous des questions ?