

Etude numérique paramétrée montrant l'influence d'une dégradation des conditions d'appuis sur le comportement mécanique des prédalles précontraintes en phase provisoire

Note de Calcul

n° 2014 CERIB 3965

Demandeur :			
FEDERATION FRANCAISE DU BATIMENT 7-11 rue La Pérouse 75784 PARIS Cedex 16			
mod	date	Objet de la modification	
00	07/01/2014	Première édition	
01	09/03/2015	Prise en compte des commentaires suite à la réunion du 15 janvier 2015	
02	27/03/2015	Prise en compte des commentaires suite à la réunion du 27 mars 2015	
Etablie par :		Validée par :	
Nom : Armand LEROUX Qualité : Ingénieur Modélisation & Structures		Visa : 	Nom : Matthieu SCALLIET Qualité : Responsable du Pôle Structures
		Visa : 	

En cas d'émission du présent document par voie électronique, seul le document original sous forme de support papier signé par le CERIB fait foi en cas de litige. La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Ce document contient 94 pages

Sommaire

1.	Objet de l'étude	5
2.	Les conditions d'appuis	5
2.1.	Appuis réguliers	5
2.2.	Appuis irréguliers	6
3.	Les cas de charge	8
3.1.	Cas de charge n° 1	9
3.2.	Cas de charge n° 2	9
3.3.	Cas de charge n° 3	9
3.4.	Cas de charge n° 4	10
4.	Hypothèses des calculs numériques	11
4.1.	Modélisation de la structure	11
4.2.	Propriétés des matériaux	12
4.3.	Conditions limites	12
4.4.	Types de résultats et interprétation	13
5.	Résultats du cas de charge n° 1	15
5.1.	Configuration de référence	15
5.2.	Configuration A : Graton sur le bord du mur droit (côté chargé)	19
5.3.	Configuration B : Graton sur mur droit (côté chargé) dans l'axe de la prédalle	24
5.4.	Conclusion	30
5.5.	Configuration E : Pose avec lisses de rive	31
5.6.	Conclusion	37
6.	Résultats du cas de charge n° 3	37
6.1.	Configuration E : Pose avec lisses de rive	38
7.	Conclusion	40
8.	Documents de référence	41
Annexe 1 – Cas de charge n° 1		42
Annexe 2 – Cas de charge n° 3		57
Annexe 3 – Forces de réactions sur appuis		91
Annexe 4 – Validation de la précontrainte analytique VS numérique		93

1. Objet de l'étude

Dans la continuité de la convention entre le CERIB et la FFB sur la problématique des appuis de prédalles, une étude numérique a été réalisée afin d'analyser le comportement mécanique des prédalles précontraintes en phase provisoire avec différentes conditions d'appuis et différents cas de chargement.

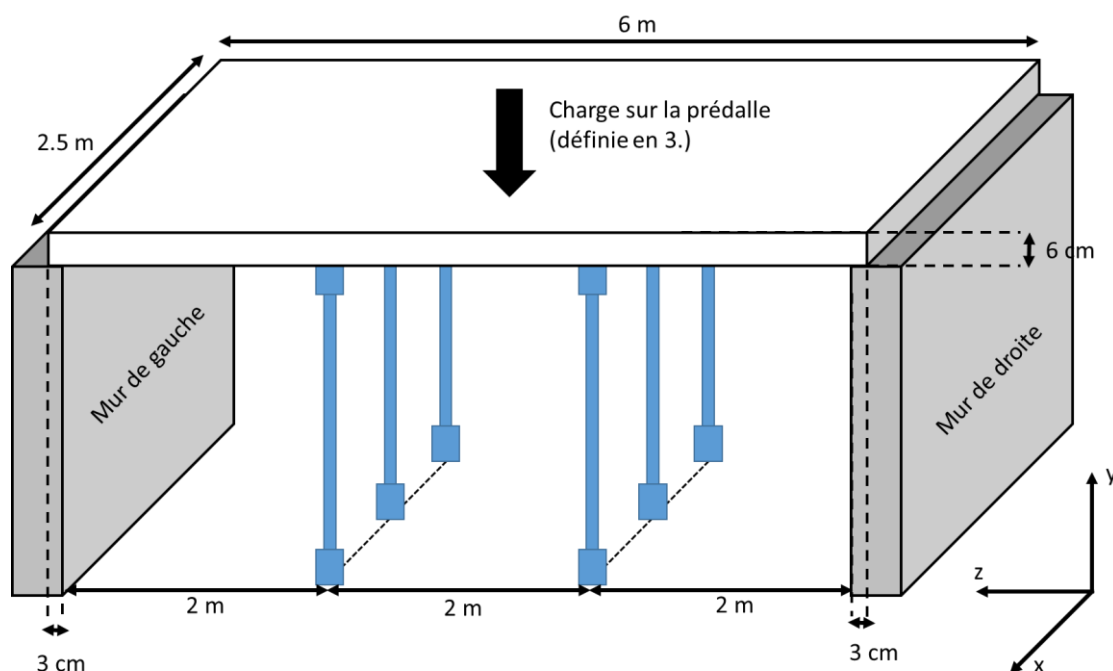
Dans le cas de pose sur voile et en l'absence de précautions particulières (état de surface d'appui surfacé au sens de la norme NF DTU 21 ou pose à bain de mortier), des conditions de pose des prédalles sont préconisées en conclusion de ce document.

2. Les conditions d'appuis

Afin de bien comprendre le comportement mécanique des prédalles précontraintes en phase provisoire, différentes conditions d'appuis ont été envisagées.

2.1. Appuis réguliers

Cette première configuration appelée **référence** procure une assise correcte (état de surface d'appui surfacé au sens de la norme NF DTU 21 ou une pose à bain de mortier) de la prédalle (appuis mur/prédalle continus) comme préconisée par le projet de DTU 23.4 :

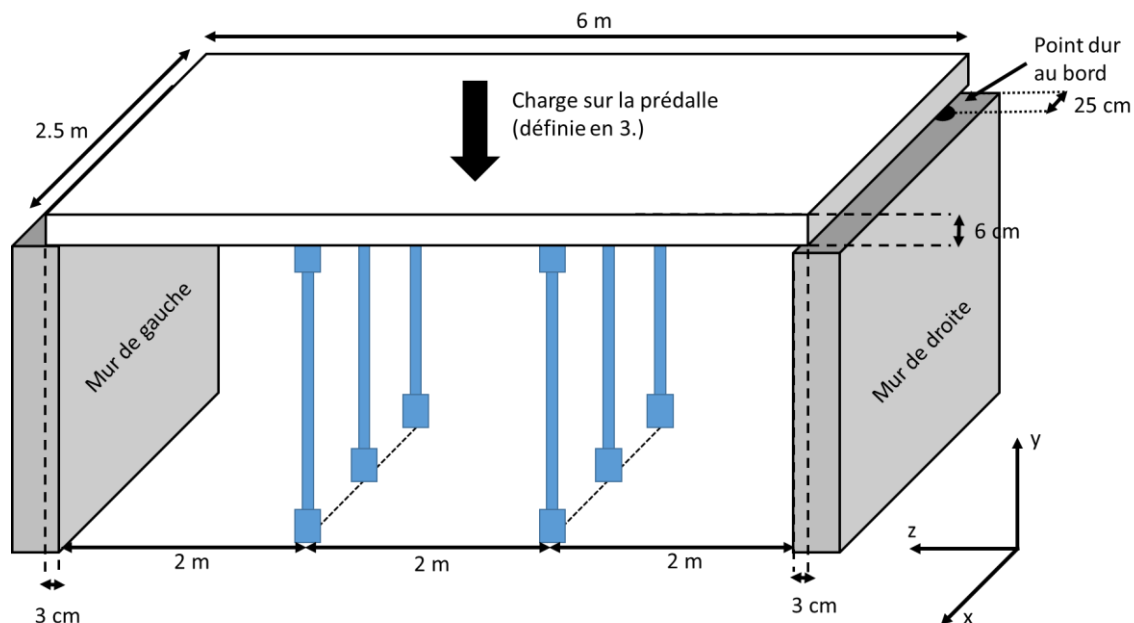


Ce cas de référence permettra d'analyser le comportement de la prédalle précontrainte en phase provisoire (état de contrainte en face supérieure et en face inférieure) avec des conditions d'appuis idéales. Cette même analyse sera effectuée pour les configurations suivantes. Le repère exposé sur le schéma ci-dessus est le même pour l'ensemble de ce rapport (y compris pour les résultats numériques). Des lisses d'étaisements intermédiaires sont prévues pour chaque configuration.

2.2. Appuis irréguliers

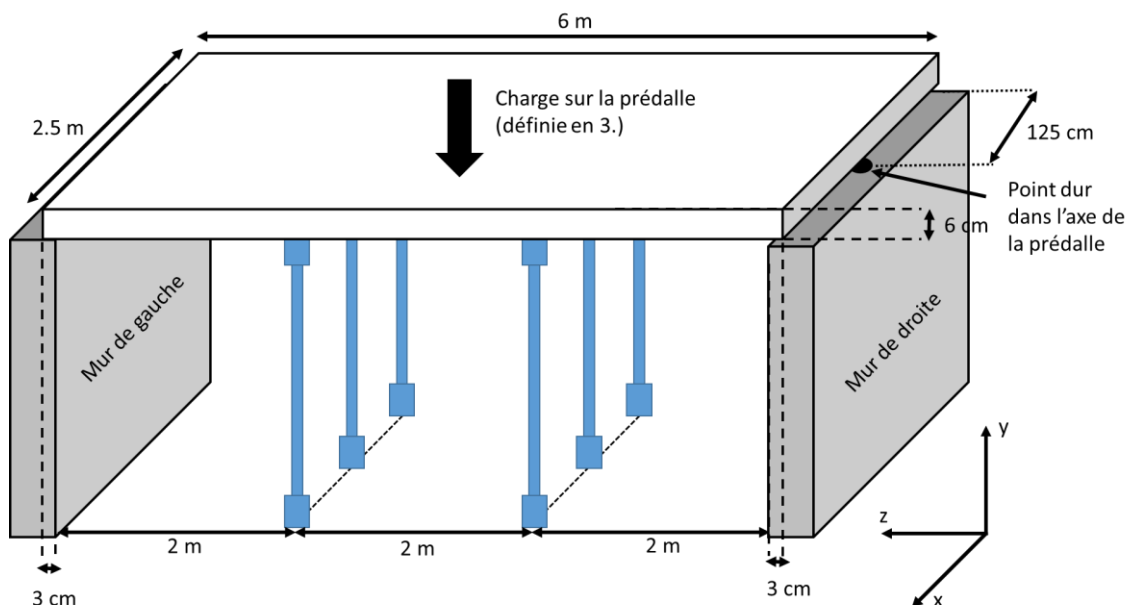
Quatre configurations (A à D) d'appuis irréguliers ont été étudiées :

- Prédalle avec des appuis mur/prédalle continus d'un côté et discontinus de l'autre dus à un point dur au bord de la prédalle de type graton :



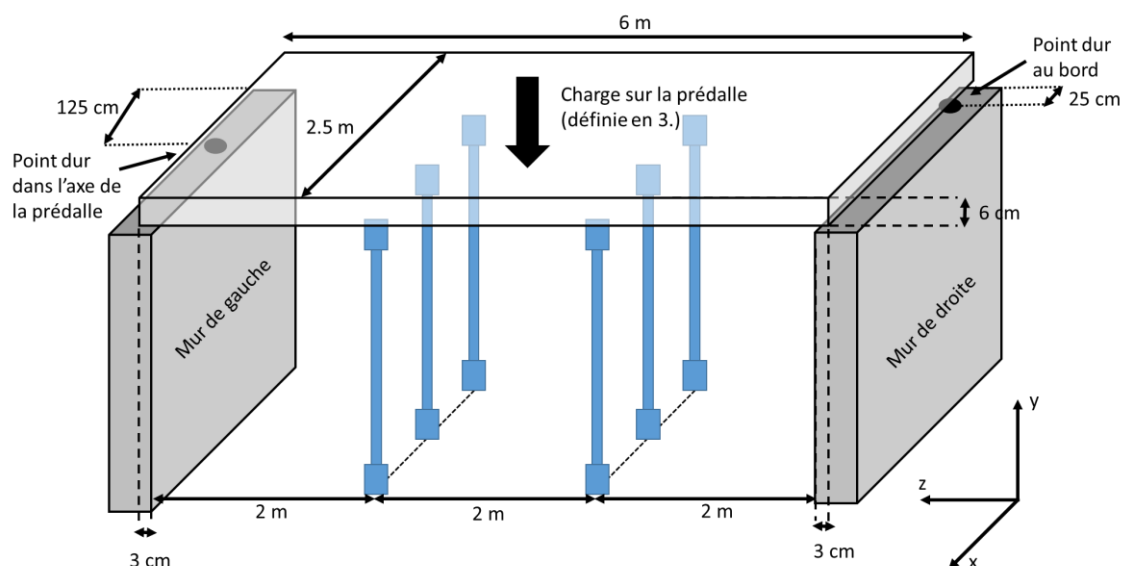
Cette deuxième configuration, repérée **A** dans la suite de ce rapport, envisage un défaut situé à 25 cm du bord de la prédalle sur la surface d'appui du mur de droite.

- Prédalle avec des appuis mur/prédalle continus d'un côté et discontinus de l'autre dus à un point dur dans l'axe de la prédalle de type graton :



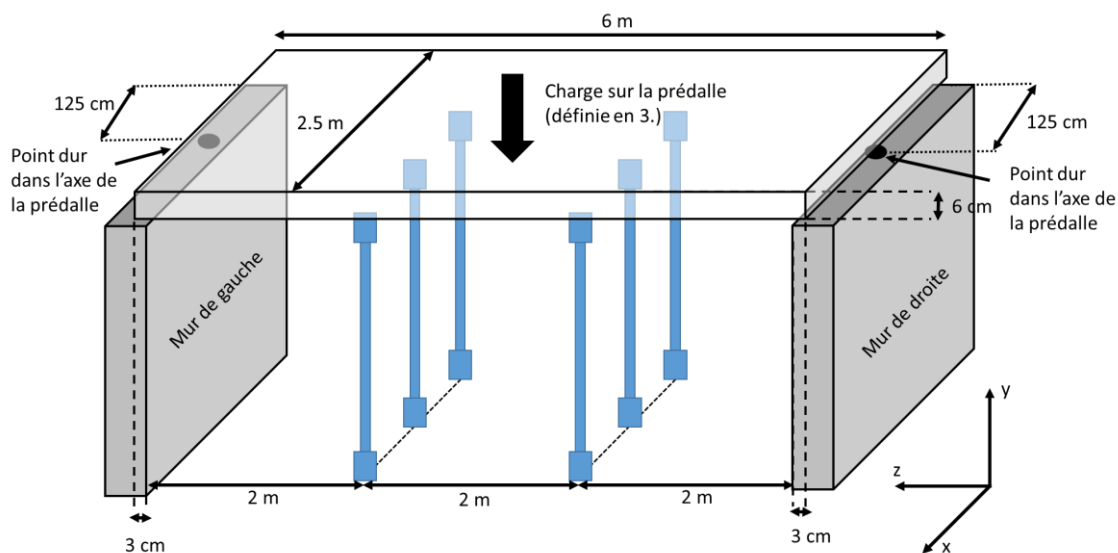
Cette troisième configuration, repérée **B** dans la suite de ce rapport, envisage un défaut situé à 125 cm du bord de la prédalle (axe de la prédalle) sur la surface d'appui du mur de droite.

- Prédalle avec des appuis mur/prédalle discontinus des deux côtés avec d'un côté un point dur dans l'axe de la prédalle de type graton et de l'autre un point dur au bord de la prédalle de type graton :



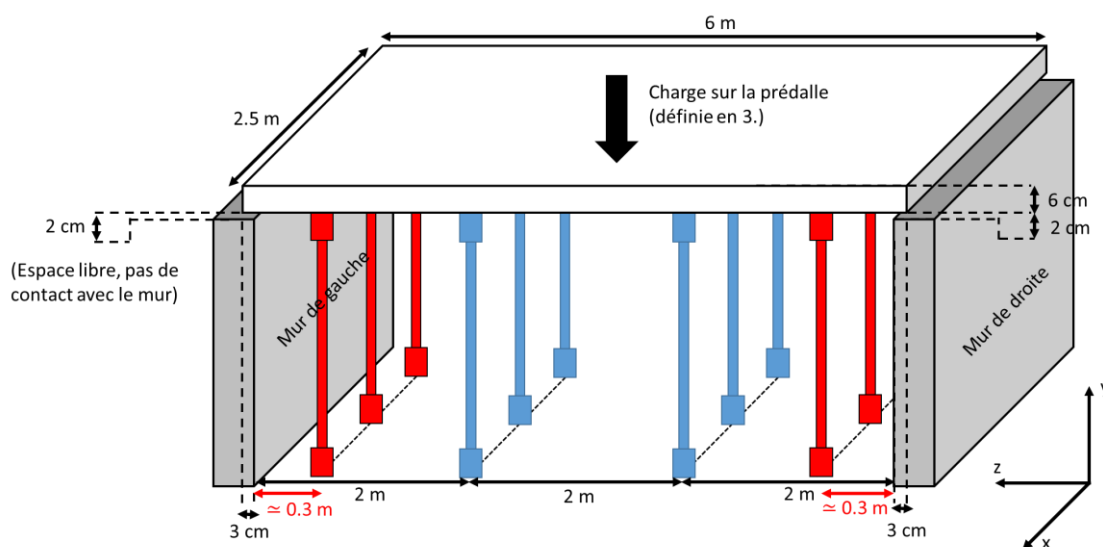
Cette quatrième configuration, repérée **C** dans la suite de ce rapport, envisage un premier défaut situé à 125 cm du bord de la prédalle (axe de la prédalle) sur la surface d'appui du mur gauche et un deuxième défaut situé à 25 cm du bord de la prédalle sur la surface d'appui du mur de droite.

- Prédalle avec des appuis mur/prédalle discontinus avec un point dur dans l'axe de la prédalle de type graton des deux côtés :



Cette cinquième configuration, repérée **D** dans la suite de ce rapport, envisage un premier défaut situé à 125 cm du bord de la prédalle (axe de la prédalle) sur la surface d'appui du mur gauche et un deuxième défaut situé à 125 cm du bord de la prédalle (axe de la prédalle) sur la surface d'appui du mur de droite.

- Prédalle avec des lisses d'étaie supplémentaires proche de l'appui (appuis mur/prédalle libres, espacés de 2 cm) :



Cette sixième et dernière configuration d'appuis, repérée **E** dans la suite de ce rapport, envisage d'introduire des lisses de rive à 30 cm du nu des murs d'appuis en complément des lisses d'étaie intermédiaires. Cette solution d'appuis permet de s'affranchir des problèmes d'état de surface de l'appui en se situant à 2 cm au-dessus de celui-ci (par rapport à la face inférieure de la prédalle) et de retrouver ainsi un état de sollicitation de la prédalle proche de celui de la solution de référence du projet de DTU 23.4 pour laquelle le produit est dimensionné en phase provisoire.

3. Les cas de charge

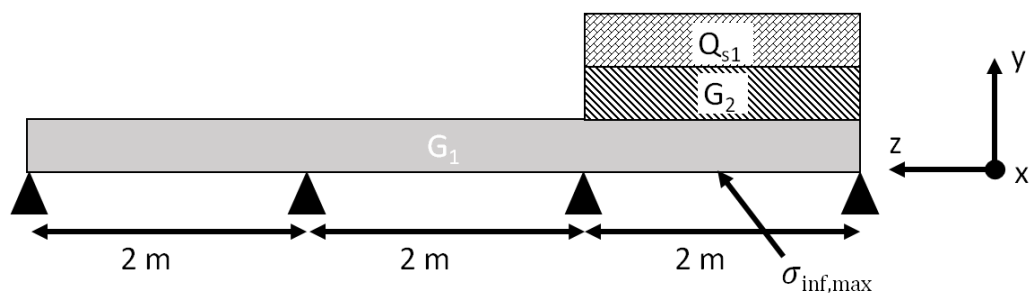
Les quatre cas de charges statiques présentés ci-après ont été définis à partir du CPT prédalles aux Eurocodes (élaboré à partir de la norme NF EN 1991-1-6 pour les charges dites de chantier et de la norme NF EN 1990 pour la combinaison caractéristique) validé en GS3 le 09/10/2014. Les données nécessaires pour définir les valeurs des différentes charges sont les suivantes :

- Epaisseur totale du plancher : 20 cm
- Epaisseur de la prédalle : 6 cm
- Largeur de la prédalle : 2.5 m
- Longueur de la prédalle : 6 m
- Masse volumique considérée pour le béton de la prédalle et le béton coulé en place : 2400 kg/m³

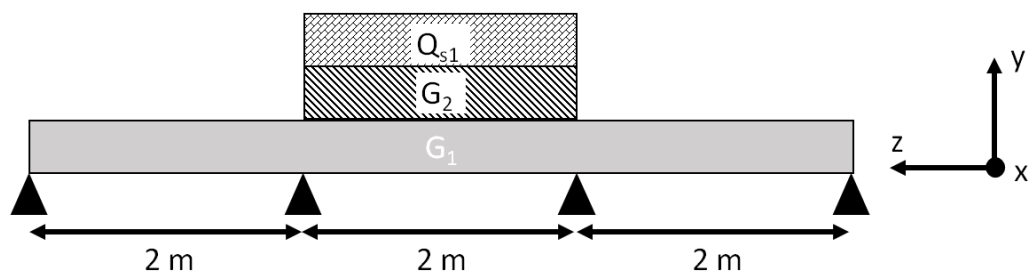
Ainsi :

- Poids propre de la prédalle $G_1 = 1\,412 \text{ N/m}^2$
- Poids du béton coulé en place $G_2 = 3\,296 \text{ N/m}^2$
- Charges de construction avec $Q_{s1} = 1\,500 \text{ N/m}^2$, $Q_{s2} = 500 \text{ N/m}^2$ et $\Psi_0 = 0.6$

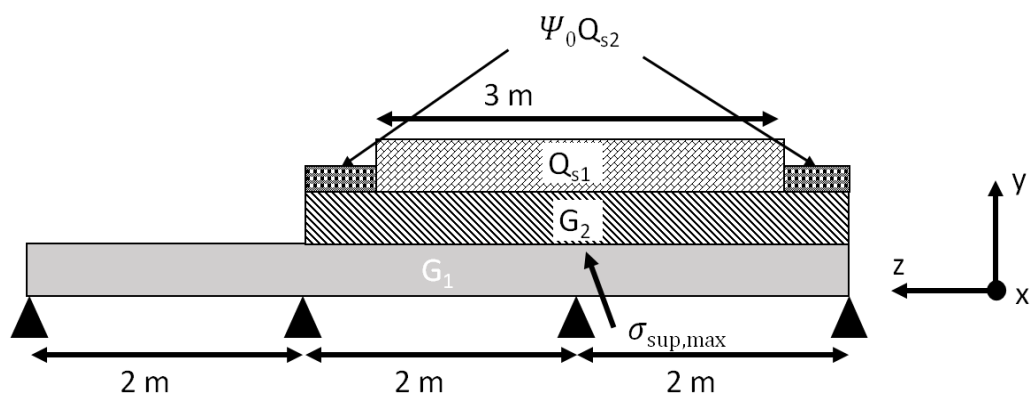
3.1. Cas de charge n°1



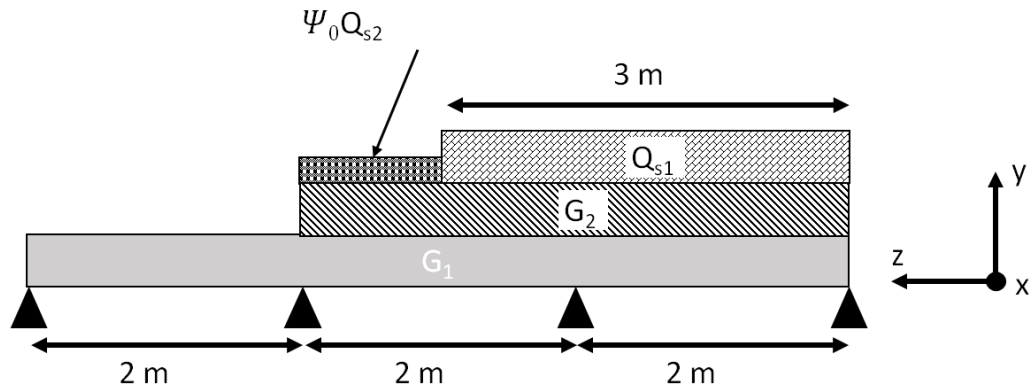
3.2. Cas de charge n°2



3.3. Cas de charge n°3



3.4. Cas de charge n°4



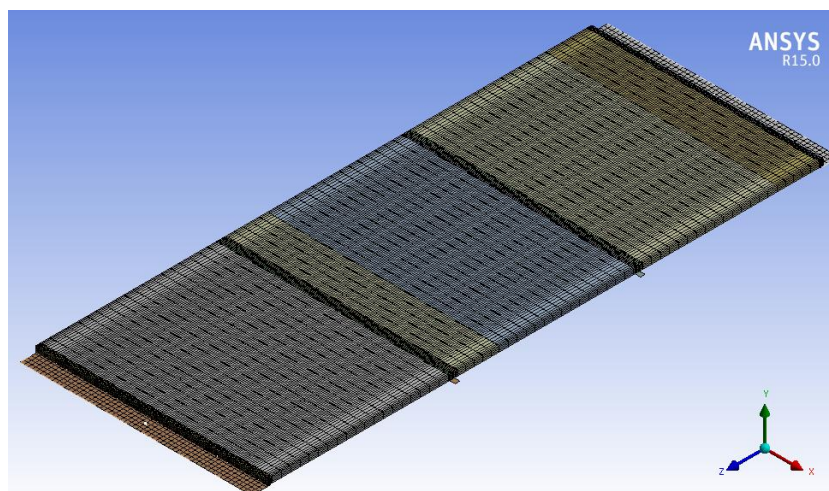
Pour ces quatre cas de chargement ci-avant, seuls les cas n°1 et n°3 seront appliqués sur les différentes configurations d'appuis de prédalles étant donné que ces deux cas sont les plus critiques et couvrent les cas n°2 et n°4 :

- $\sigma_{\text{inf,cas n°1}} > \sigma_{\text{inf,cas n°2}}$: Le cas n°1 provoque une plus grande flexion positive et donc des contraintes en fibre inférieures plus importantes que le cas n°2 ;
- $\sigma_{\text{sup,cas n°3}} > \sigma_{\text{sup,cas n°4}}$: Le cas n°3 provoque une plus grande flexion négative et donc des contraintes en fibre supérieures plus importantes que le cas n°4 ;
- $\sigma_{\text{inf,cas n°1}} > \sigma_{\text{inf,cas n°4}}$: La flexion positive du cas n°4 est couverte par la valeur enveloppe du cas n°1.

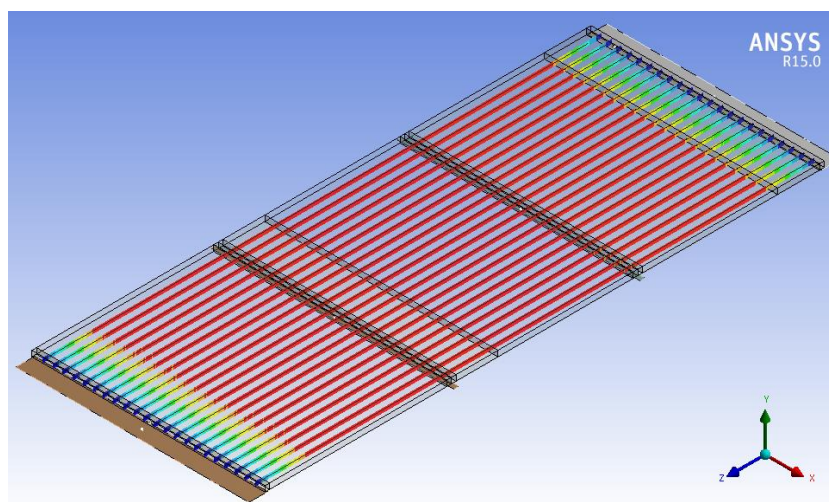
4. Hypothèses des calculs numériques

4.1. Modélisation de la structure

Pour commencer, une prédalle précontrainte d'une longueur de 6 m, d'une largeur de 2.5 m et d'une épaisseur de 6 cm a été modélisée par des éléments volumiques (Figure 1a). Des éléments 1D de type poutre modélisent les 22 fils (≈ 9 fils /ml) de diamètre 5 mm (Figure 1b) représentatifs d'une dalle de logement avec des surcharges de 100+150 daN/m².



a. Maillage de la prédalle



b. Visualisation des 22 fils

Figure 1 : Géométrie de la prédalle précontrainte

Le centre de gravité de ces fils est positionné à 2 cm de la face inférieure de la prédalle amenant un enrobage des fils de 1.75 cm, comme représenté sur la Figure 2. En considérant des fils de classe 1860 MPa avec une estimation de la perte instantanée de 8% et une tension initiale à 3040 daN, la force de précontrainte résiduelle lors de la manutention sur le chantier est de 2800 daN. La longueur de transmission l_{pt} est égale à 580 mm dans l'hypothèse d'un béton de résistance minimale à 20 MPa au moment du relâchement. La Figure 3 illustre l'évolution de l'effort de précontrainte le long d'un fil.

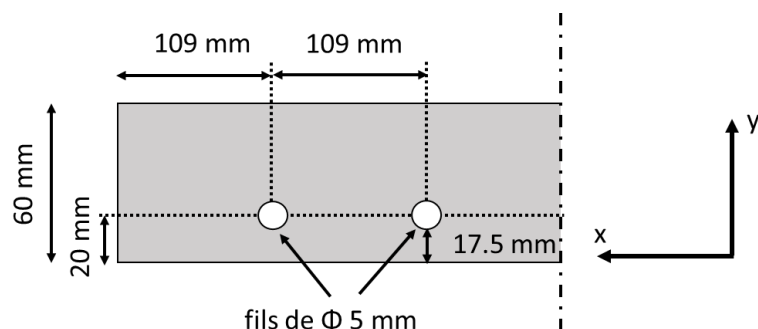


Figure 2 : Position des fils de précontraintes dans l'épaisseur de la prédalle

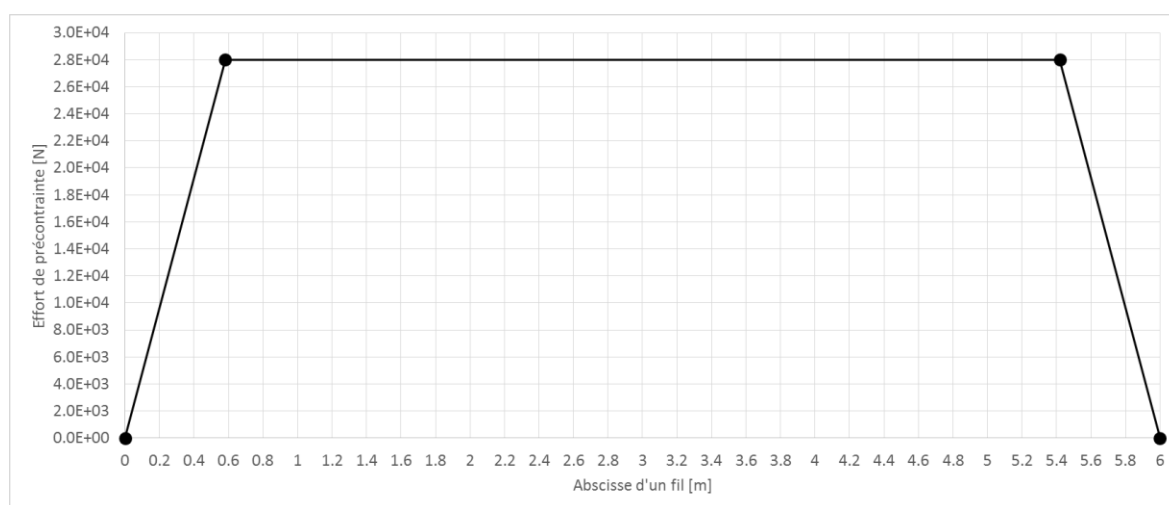


Figure 3 : Effort de précontrainte dans chacun des fils

L'application numérique de la précontrainte sur chacun des 22 fils a été vérifiée par une approche analytique exposée dans l'annexe 4.

4.2. Propriétés des matériaux

Les lois de comportement (béton et acier) utilisées dans les calculs numériques de cette étude sont élastiques linéaires. La classe de résistance du béton des prédalles, considérée à 28 jours dans cette étude, est C30/37 ($E_{cm}=33$ GPa, $f_{ctm}=2.9$ MPa et $f_{ck}=30$ MPa). Le module d'élasticité des fils est de 205 GPa suivant § 3.3.6 de la norme EN 1992-1-1.

4.3. Conditions limites

Les liaisons entre le béton et les fils sont considérées parfaites. Les liaisons entre la prédalle et les appuis surfaciques rigides des murs (appui de 3 cm*2.5 m), des lisses d'étalement (appuis surfaciques de 5 cm*2.5 m) et des gratons (appuis surfaciques de 3 cm*3 cm) ont été modélisées par du contact sans frottement autorisant le décollement de la prédalle.

En considérant une hauteur de graton de 1 cm, l'altimétrie des surfaces d'appuis vis-à-vis de la face inférieure de la prédalle est représentée sur la Figure 4.

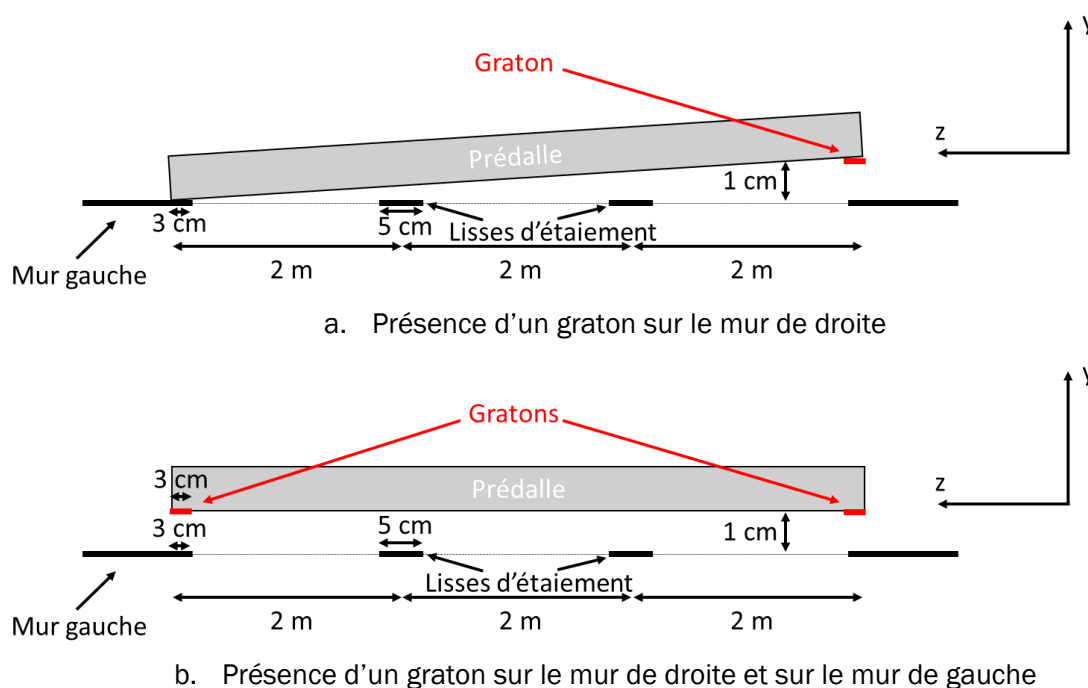


Figure 4 : Altimétrie utilisée pour les différentes surfaces d'appuis (trait continu épais noir et rouge)

La hauteur des lisses d'étalement est ajustée par rapport à la hauteur du mur fini. Ainsi les murs et les lisses d'étalement étant au même niveau, la singularité provient uniquement de l'introduction d'un ou des graton(s).

4.4. Types de résultats et interprétation

Pour l'ensemble des calculs, les faces supérieures et inférieures de la prédalle seront analysées en observant les résultats suivants :

- La contrainte longitudinale σ_{zz} (cf. la Figure 1, par exemple, pour la correspondance des axes) : dans le cas de référence (appuis réguliers), cette contrainte pourra être comparée à la limite en traction du béton $f_{ctm}=2.9$ MPa et à la limite en compression $f_{ck}=30$ MPa.
- La contrainte transversale σ_{xx} (cf. Figure 1, par exemple, pour la correspondance des axes) : dans le cas de référence (appuis réguliers), cette contrainte pourra être comparée à la limite en traction du béton $f_{ctm}=2.9$ MPa et à la limite en compression $f_{ck}=30$ MPa.

La convention de signes pour ces contraintes est la suivante : **contrainte positive** équivaut à de la **traction** suivant l'axe concerné, une **contrainte négative** équivaut à de la **compression** suivant l'axe concerné.

- Les contraintes vectorielles principales : autrement dit la base principale des contraintes principales d'une zone d'éléments finis est représentée par trois vecteurs de couleurs différentes appelés : contrainte principale maximale pour le vecteur rouge, contrainte principale intermédiaire pour le vecteur vert et contrainte principale minimale pour le vecteur bleu. La dimension de chaque vecteur indique également l'importance de la valeur de la contrainte vis-à-vis des deux autres vecteurs : ces données permettent d'observer la direction de propagation des efforts.

- En complément des contraintes vectorielles principales, les cartographies de chacune des trois valeurs de contraintes principales seront utilisées et comparées à la limite en traction du béton $f_{ctm}=2.9$ MPa et à la limite en compression $f_{ck}=30$ MPa.

Les notations et conventions de signes pour ces contraintes principales qui pourront être utiles dans l'analyse des résultats sont les suivantes :

- Contrainte principale maximale : σ_I (si $\sigma_I < 0$ **compression** dans la base principale, $\sigma_I > 0$ **traction** dans la base principale)
- Contrainte principale intermédiaire : σ_{II} (si $\sigma_{II} < 0$ **compression** dans la base principale, $\sigma_{II} > 0$ **traction** dans la base principale)
- Contrainte principale minimale : σ_{III} (si $\sigma_{III} < 0$ **compression** dans la base principale, $\sigma_{III} > 0$ **traction** dans la base principale)
- Cette inégalité sera toujours respectée dans ce document : $\sigma_I > \sigma_{II} > \sigma_{III}$

A noter que de manière sécuritaire, les contraintes de traction ont été comparées à $f_{ctm}=2.9$ MPa alors qu'en réalité $f_{ctm,fl} = (1.6-h/100) * f_{ctm}$, la résistance à la traction en flexion (NF EN 1992-1-1 § 3.1.8) moins pénalisante aurait pu être considérée. Ce choix ne remet pas en cause les conclusions de cette étude.

Afin de faciliter la comparaison entre les différents calculs, une graduation de couleurs dans la légende a été fixée pour l'ensemble des contraintes exposé dans ce rapport dont un exemple est exposé Figure 5.

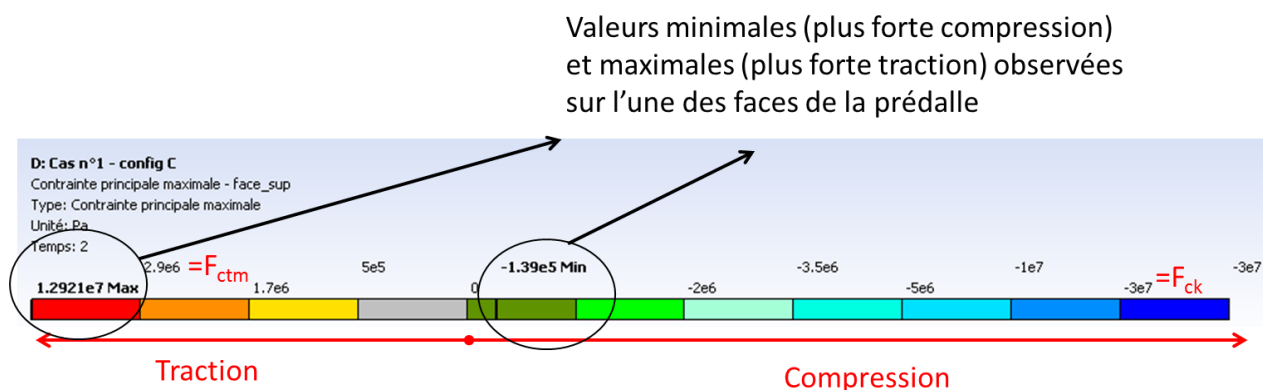


Figure 5 : Légende utilisée pour l'ensemble des contraintes observées

Pour les contraintes principales, cette légende s'interprète de la façon suivante :

- Si les contraintes dépassent f_{ctm} alors elles apparaîtront en rouge sur la structure ;
- Si ces contraintes dépassent f_{ck} alors elles apparaîtront en bleu foncé sur la structure ;
- Pour les contraintes quasi-nulles, elles apparaîtront en gris si ces contraintes sont positives (traction) et quasi-nulles (>0 et < 0.5 MPa) et en vert foncé si ces contraintes sont négatives (compression) et quasi-nulles (<0 et > -0.5 MPa).

A noter que certaines valeurs maximales ou minimales (valeurs en gras et entourées dans la légende, Figure 5, et également visibles sur la prédalle par une étiquette bleue nommée « min » et une étiquette rouge nommée « max » comme sur la Figure 6) peuvent être très importantes localement mais difficilement observables à l'échelle de la prédalle. Dû à des concentrations de contraintes provenant de l'introduction de la précontrainte (effet numérique bien connu) qui ne sont pas représentatives du comportement global de la structure, ce type de valeur est à exclure de l'analyse. L'exemple sur la Figure 6b permet de mieux comprendre ce phénomène : la valeur maximale de traction 4.98 MPa se situe localement aux niveaux des fils de précontraintes à chaque extrémité de la prédalle. La valeur en traction à retenir dans ce cas précis est une contrainte quasi-nulle (visuellement aucune couleur correspondante à de la traction n'apparaît massivement sur la prédalle).

L'analyse des résultats qui suit a tenu compte de cette remarque.

Enfin, deux types de résultats sont également à disposition du lecteur dans les annexes afin de faciliter sa compréhension sur le comportement de la structure soumise à divers chargements :

- Le déplacement suivant la direction y (direction verticale privilégiée) de la structure amplifié de 60 fois : cette donnée numérique permet d'observer la déformation globale de la structure amplifiée de 60 fois.
- Les forces de réactions sur chacun des appuis suivant la direction y (direction normale aux appuis) : cette donnée permet d'une part d'observer la distribution des charges sur les appuis et dans certains cas permet d'observer que des appuis ne sont pas sollicités (aucun contact entre l'appui et la prédalle car la force de réaction est nulle).

5. Résultats du cas de charge n° 1

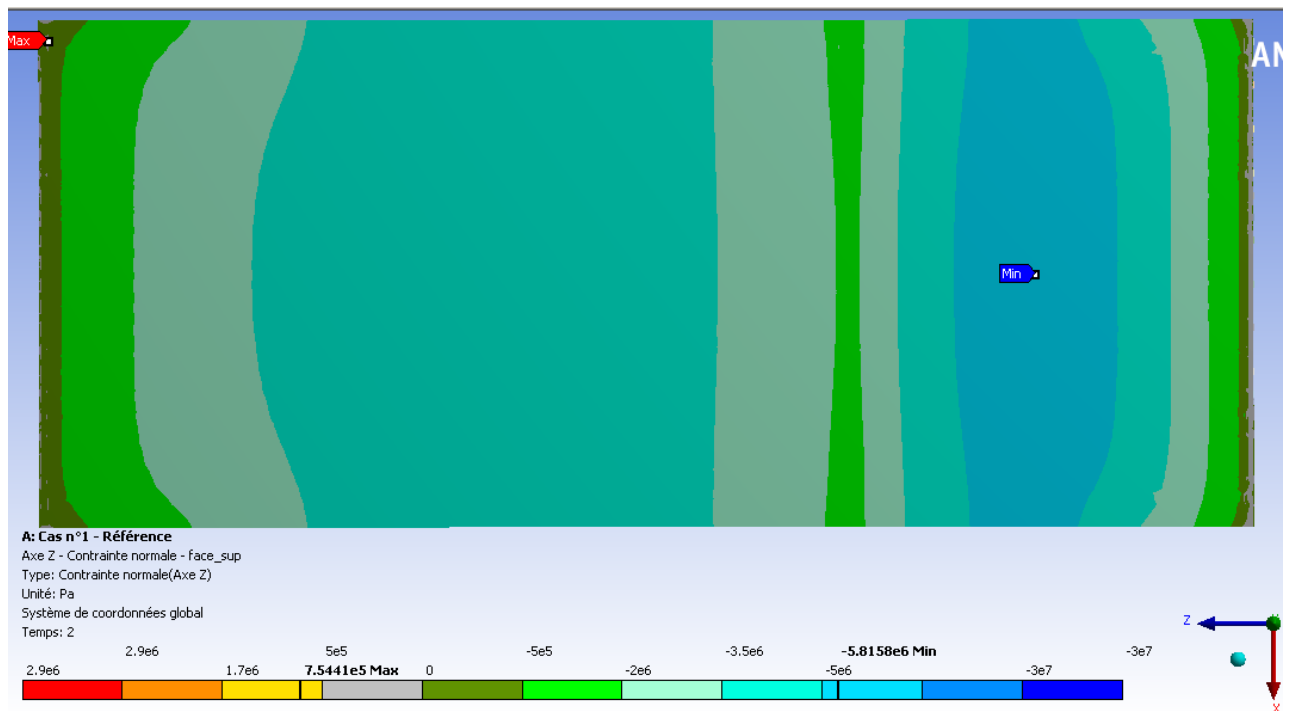
Cette partie présente les résultats des configurations d'appuis exposés dans la partie 2 pour le cas de charge n° 1 (cf. partie 3.1).

5.1. Configuration de référence

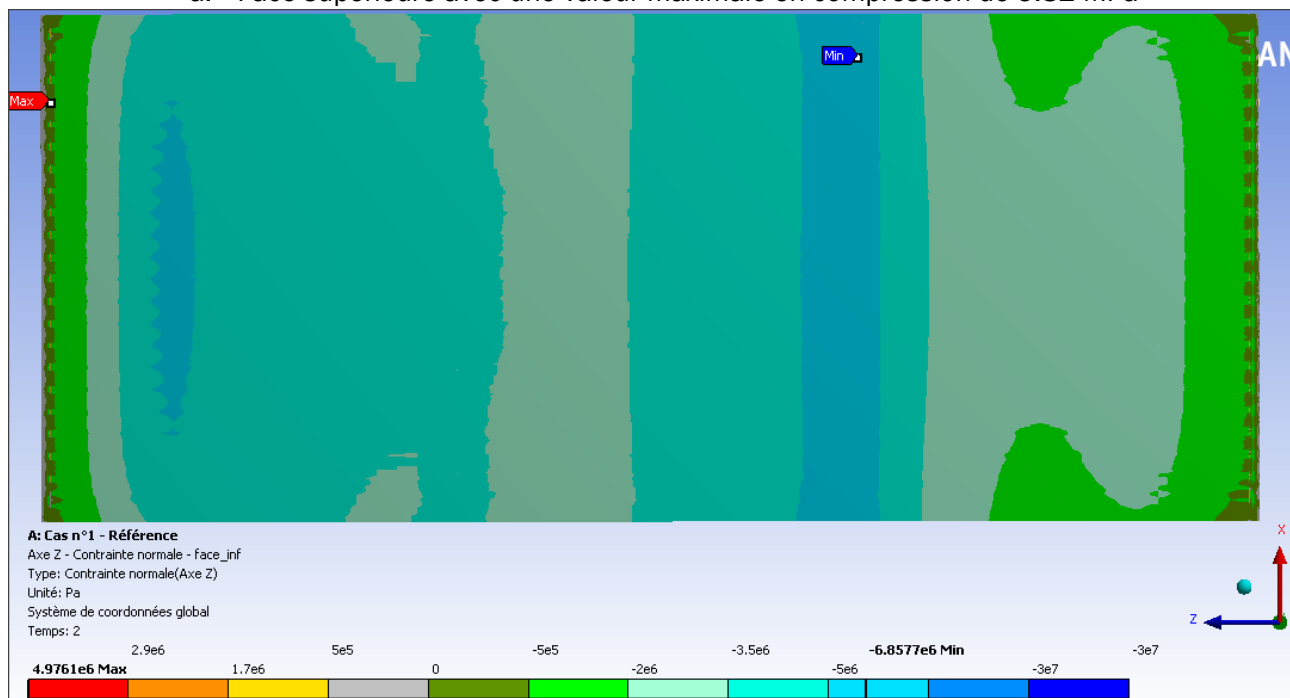
Pour rappel, cette première configuration représente des surfaces d'appuis parfaites.

Les contraintes longitudinales σ_{zz} (Figure 6) montrent que la face supérieure et la face inférieure sont comprimées entièrement (contraintes négatives) sans dépasser la résistance de compression $f_{ctk}=30$ MPa.

En prenant en compte la remarque du paragraphe 4.4, les contraintes transversales σ_{xx} (Figure 7) de la face supérieure et de la face inférieure sont quasi-nulles.

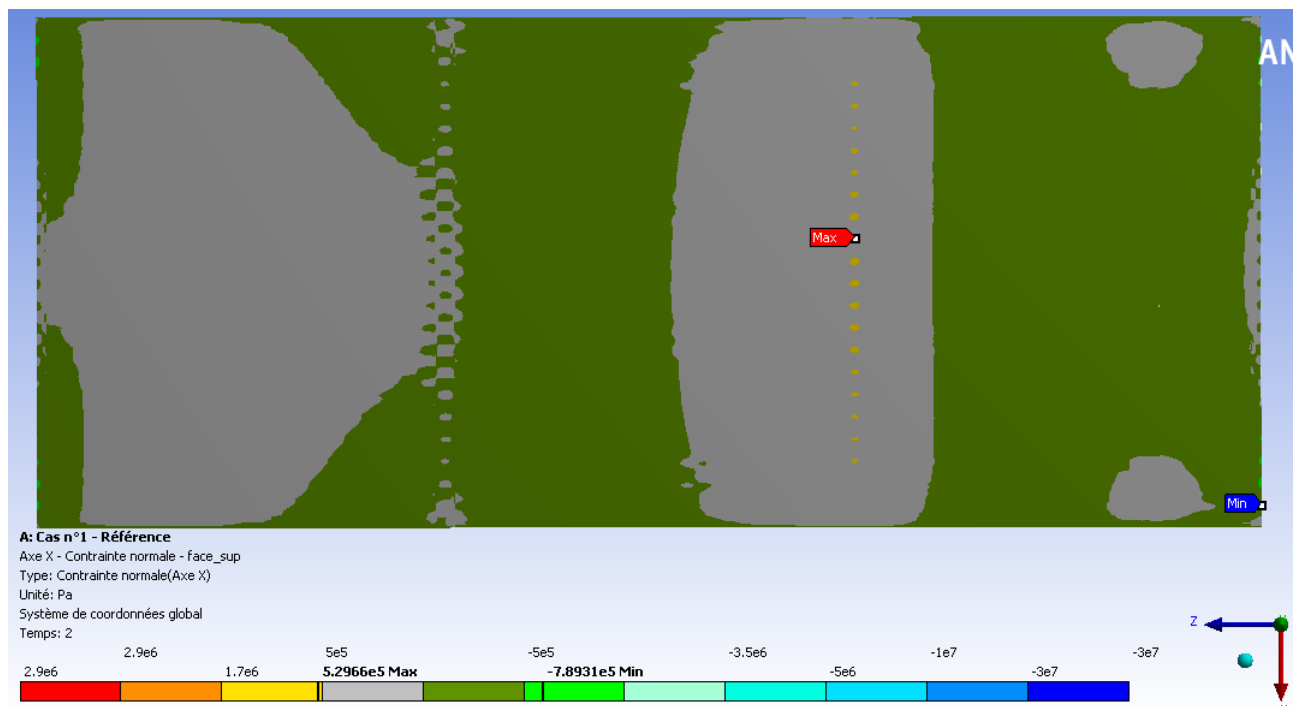


a. Face supérieure avec une valeur maximale en compression de 5.82 MPa

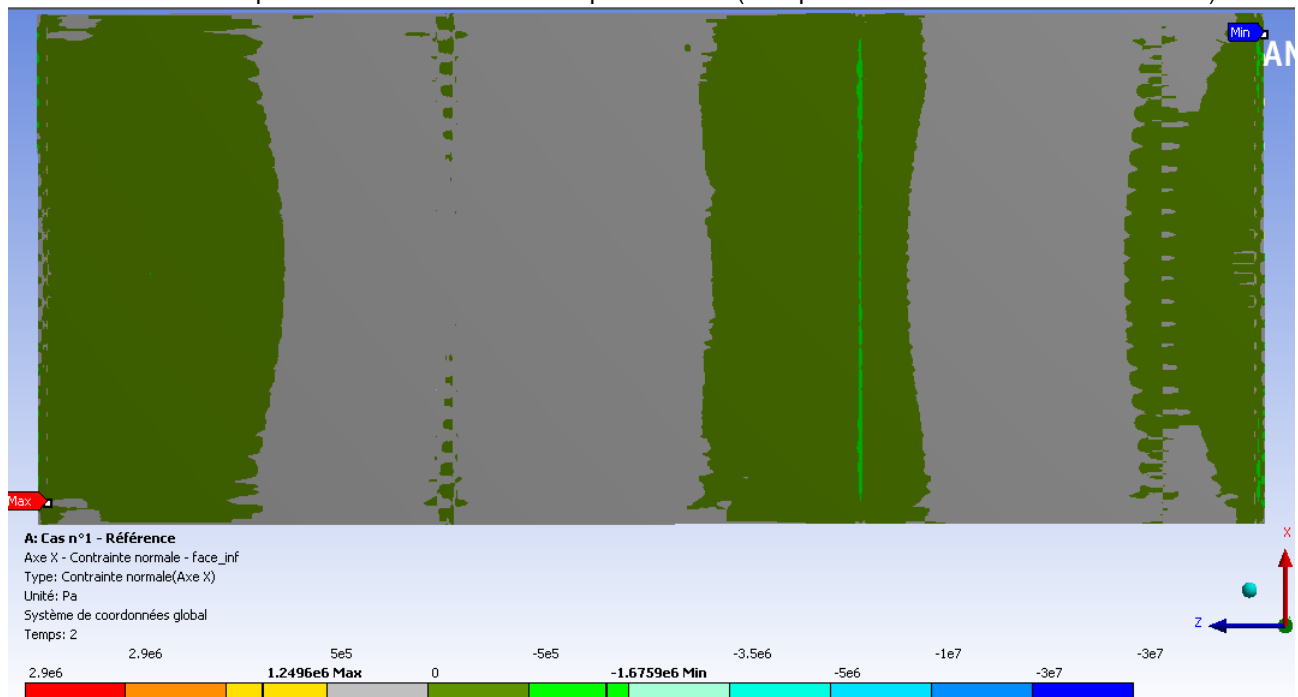


b. Face inférieure avec une valeur maximale en compression de 6.86 MPa

Figure 6 : Contrainte longitudinale σ_{zz} – Référence



a. Face supérieure avec des valeurs quasi-nulles (comprises entre 0.5 MPa et -0.5 MPa)



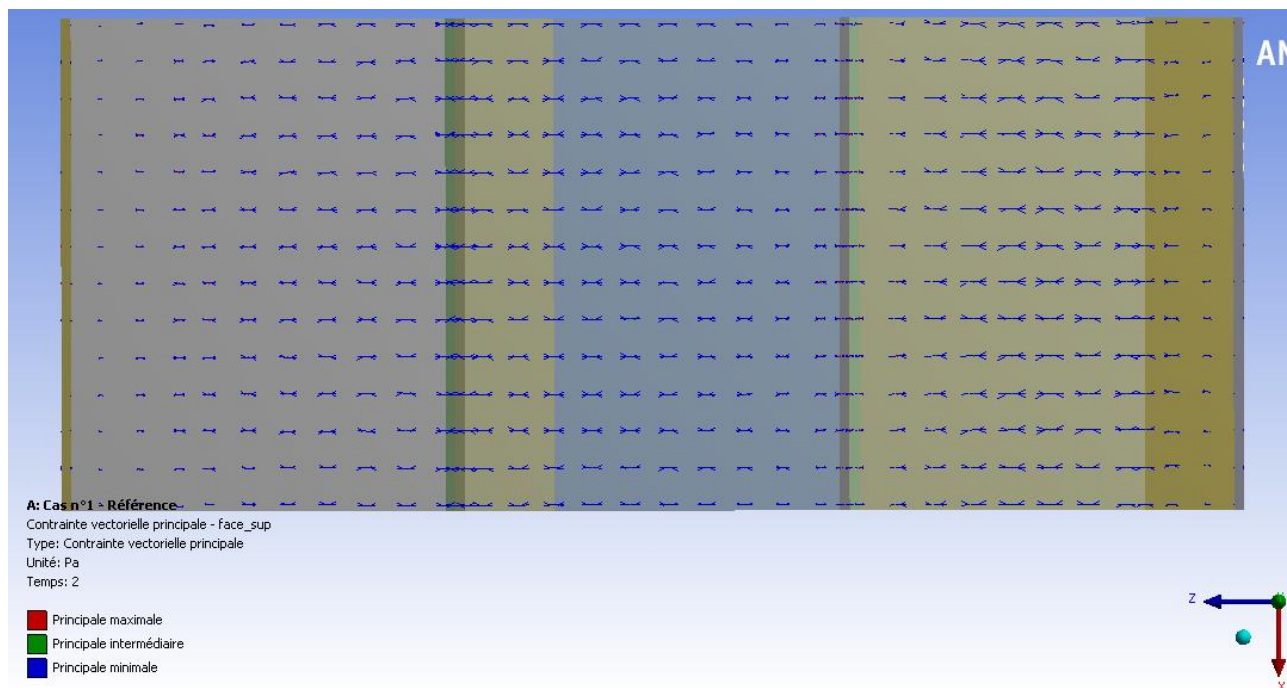
b. Face inférieure avec des valeurs quasi-nulles (comprises entre 0.5 MPa et -0.5 MPa)

Figure 7 : Contrainte transversale σ_{xx} – Référence

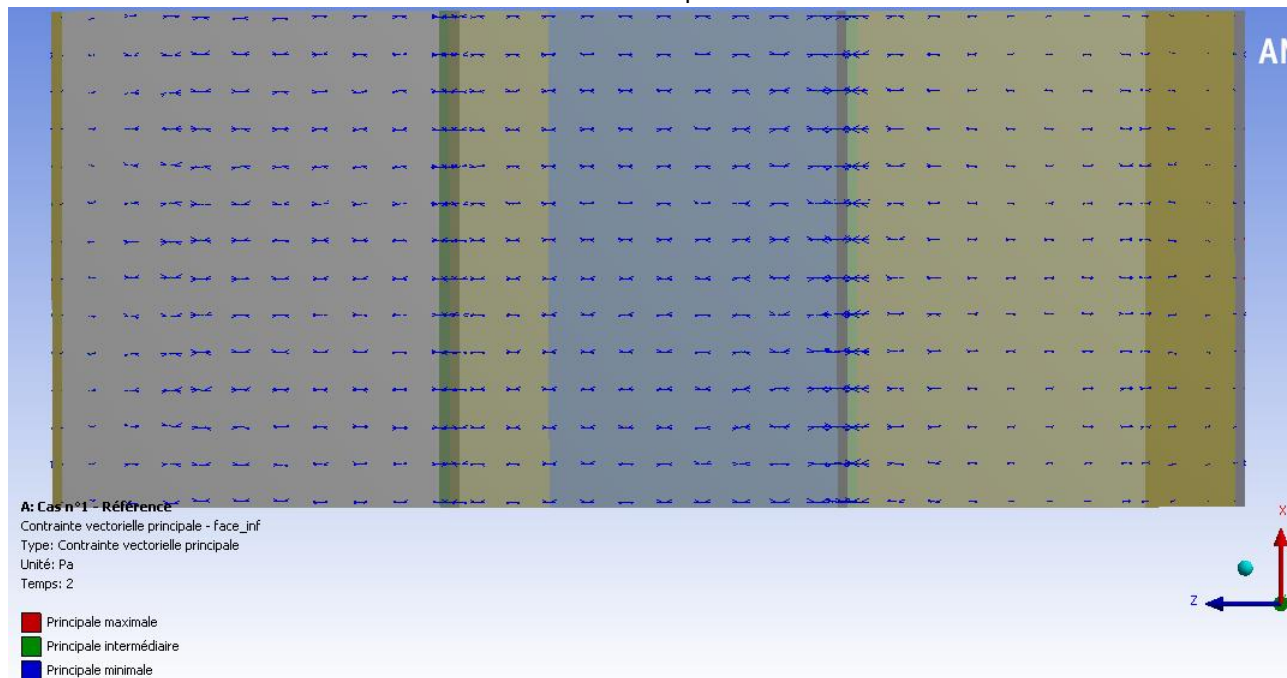
Les surfaces d'appuis étant parfaites (pas de graton), la propagation des efforts se fait de façon unidirectionnelle selon l'axe z. Ce constat est observable sur la Figure 8 en traçant les contraintes vectorielles principales. En effet les contraintes transversales σ_{xx} , étant quasi-nulles sur l'ensemble de la prédalle, signifient également qu'aucune flexion transversale n'existe pour la prédalle dans le cas de référence.

Cette propagation unidirectionnelle induit également que les contraintes principales sont du même ordre de grandeur que celles longitudinales.

De plus, cette Figure 8 indique que la contrainte principale minimale (vecteur bleu), correspondant dans ce cas précis à des efforts de compression, est prépondérante sur les deux faces de la prédalle vis-à-vis des autres composantes principales (vecteur vert et vecteur rouge). Ce constat rejoint celui réalisé précédemment en analysant les contraintes longitudinales.



a. Face supérieure



b. Face inférieure

Figure 8 : Contraintes vectorielles principales – Référence

L'intégrité d'une prédalle précontrainte en phase provisoire d'une longueur de 6 m posée à bain de mortier (ou avec un état de surface d'appui surfacé au sens de la norme NF DTU 21) comme préconisée par le projet de DTU 23.4 et sur deux lignes d'étais séparées de 2 m vient d'être vérifiée par ce calcul. Les configurations avec présence de graton vont maintenant être analysées.

5.2. Configuration A : Graton sur le bord du mur droit (côté chargé)

Les contraintes longitudinales σ_{zz} (Figure 9) montrent une flexion longitudinale importante et localisée sur le bord de la prédalle entre le graton et la première ligne d'étais avec une partie tendue en face inférieure (Figure 9b) et une partie comprimée sur la face supérieure.

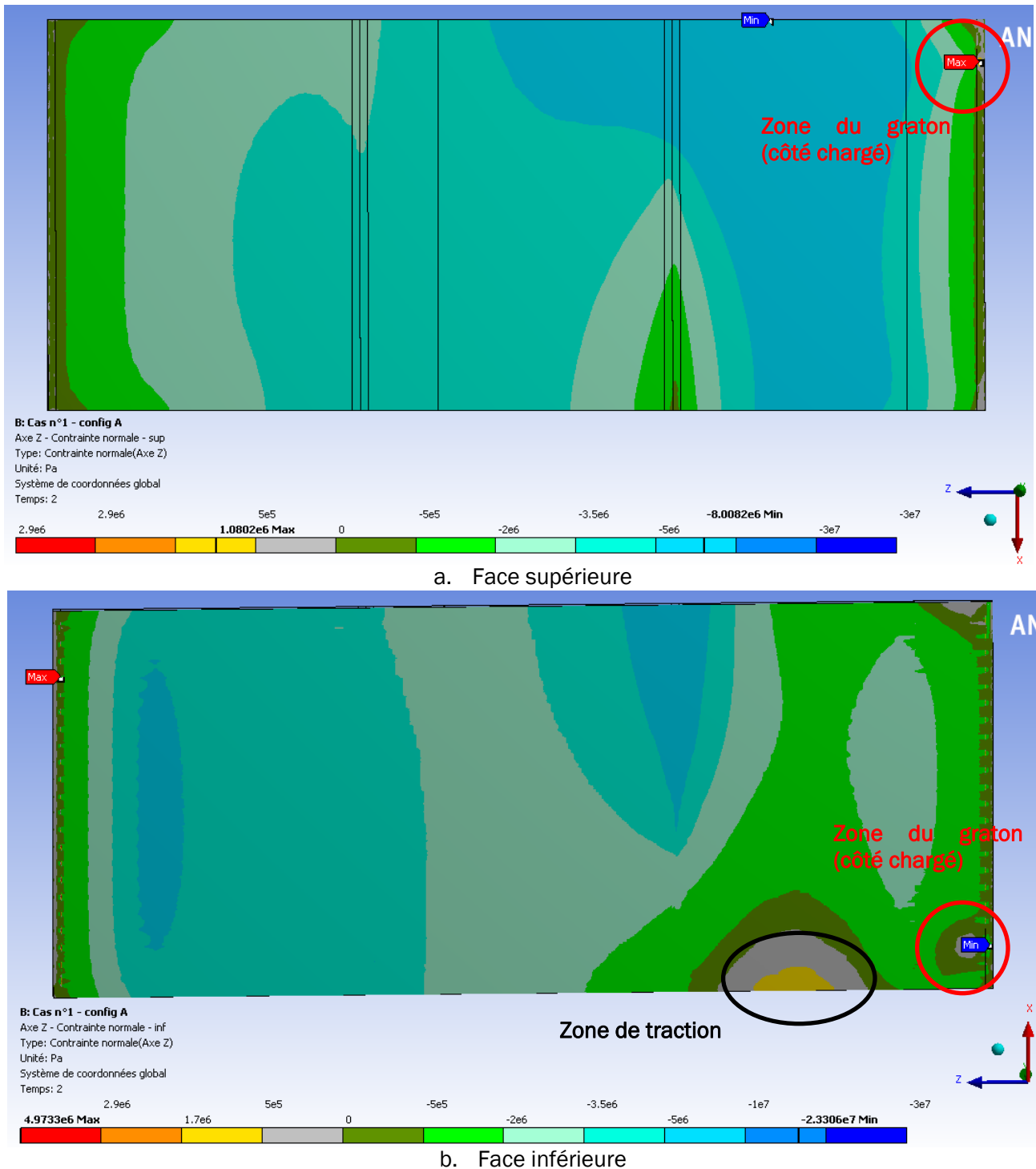


Figure 9 : Contrainte longitudinale σ_{zz} – configuration A

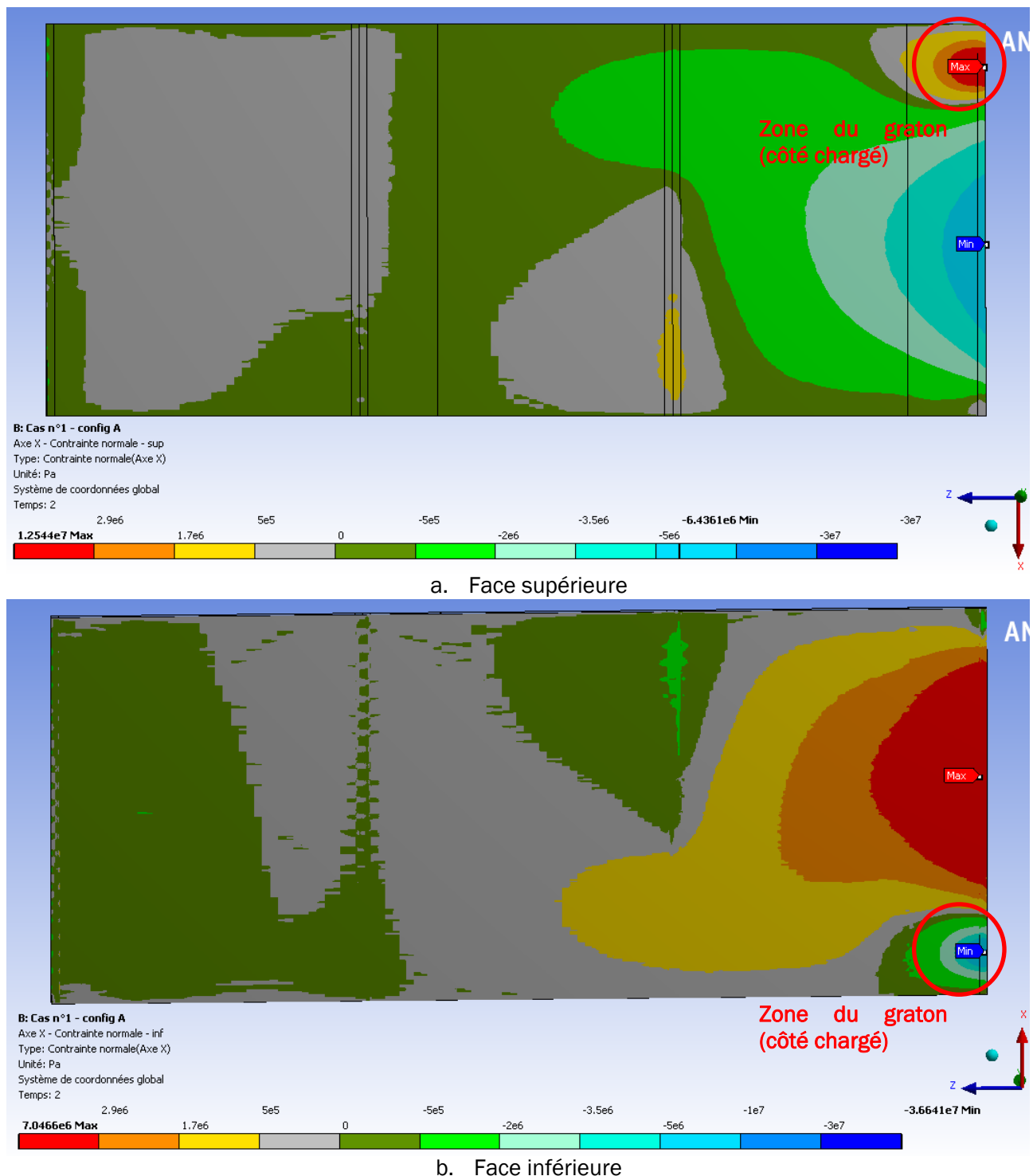


Figure 10 : Contrainte transversale σ_{xx} – configuration A

Toujours dans la même zone (entre le graton et la première ligne d'étais) et sans avoir observé les contraintes principales, les contraintes transversales σ_{xx} (Figure 10) montrent l'apparition d'une flexion transversale importante au point de provoquer une fissuration en face supérieure au niveau du graton (zone tendue avec 12.5 MPa au maximum) et en face inférieure entre le graton et l'appui partiel sur le mur (zone tendue avec 7 MPa au maximum).

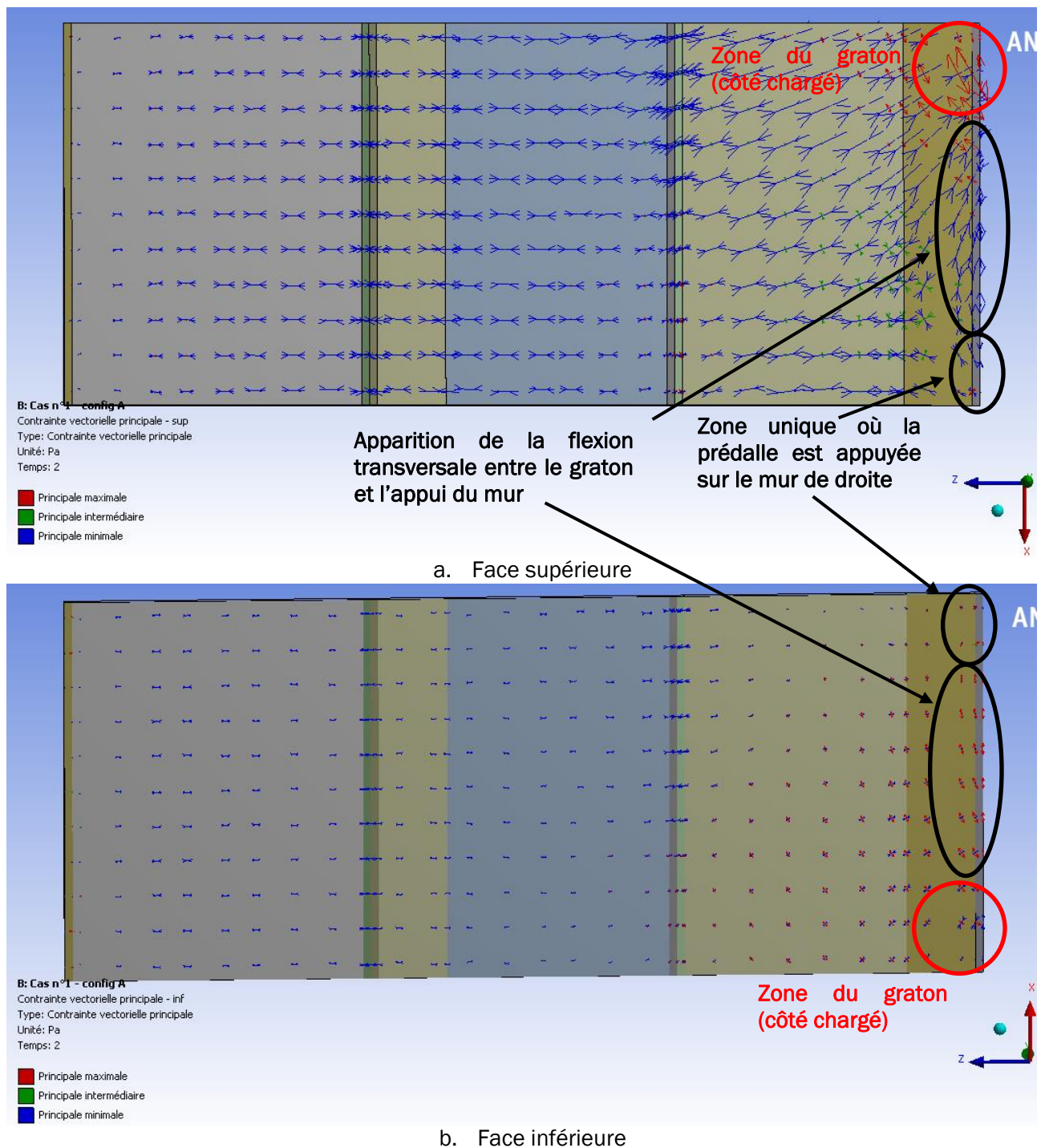


Figure 11 : Contraintes vectorielles principales- configuration A

Du fait de la présence du graton et contrairement au cas de référence, la distribution des efforts se produit suivant deux directions (X et Z) observable par les contraintes vectorielles principales de la Figure 11. Autrement dit, les contraintes principales sont fonctions des contraintes longitudinales σ_{zz} et transversales σ_{xx} (ce qui n'était pas le cas pour la configuration de référence).

L'appui de la prédalle sur le mur (côté chargé) n'étant plus continu, une flexion transversale apparaît entre le graton et l'appui du mur uniquement à l'extrémité de la prédalle comme représenté sur la Figure 11.

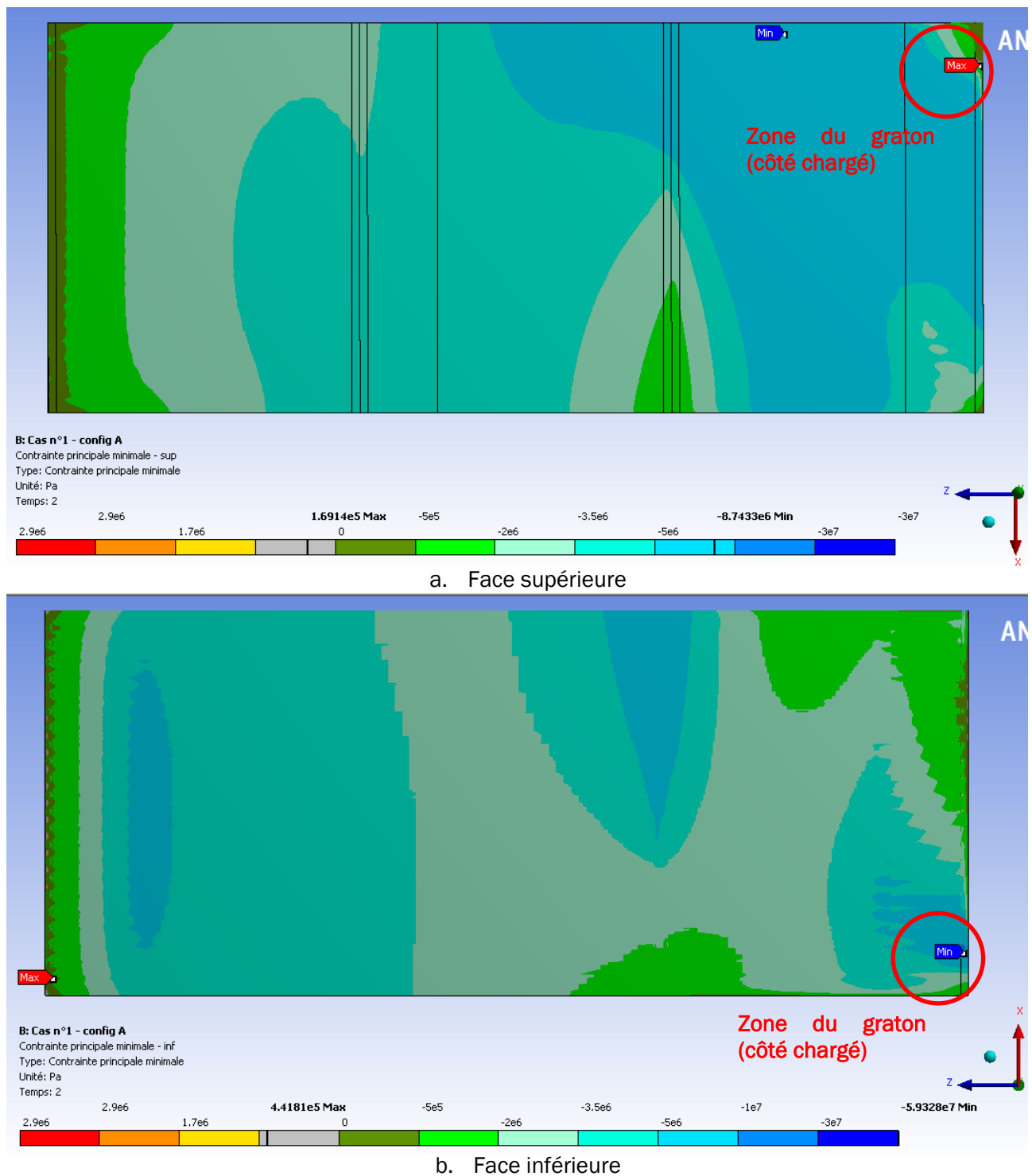


Figure 12 : Contraintes principales minimales- configuration A

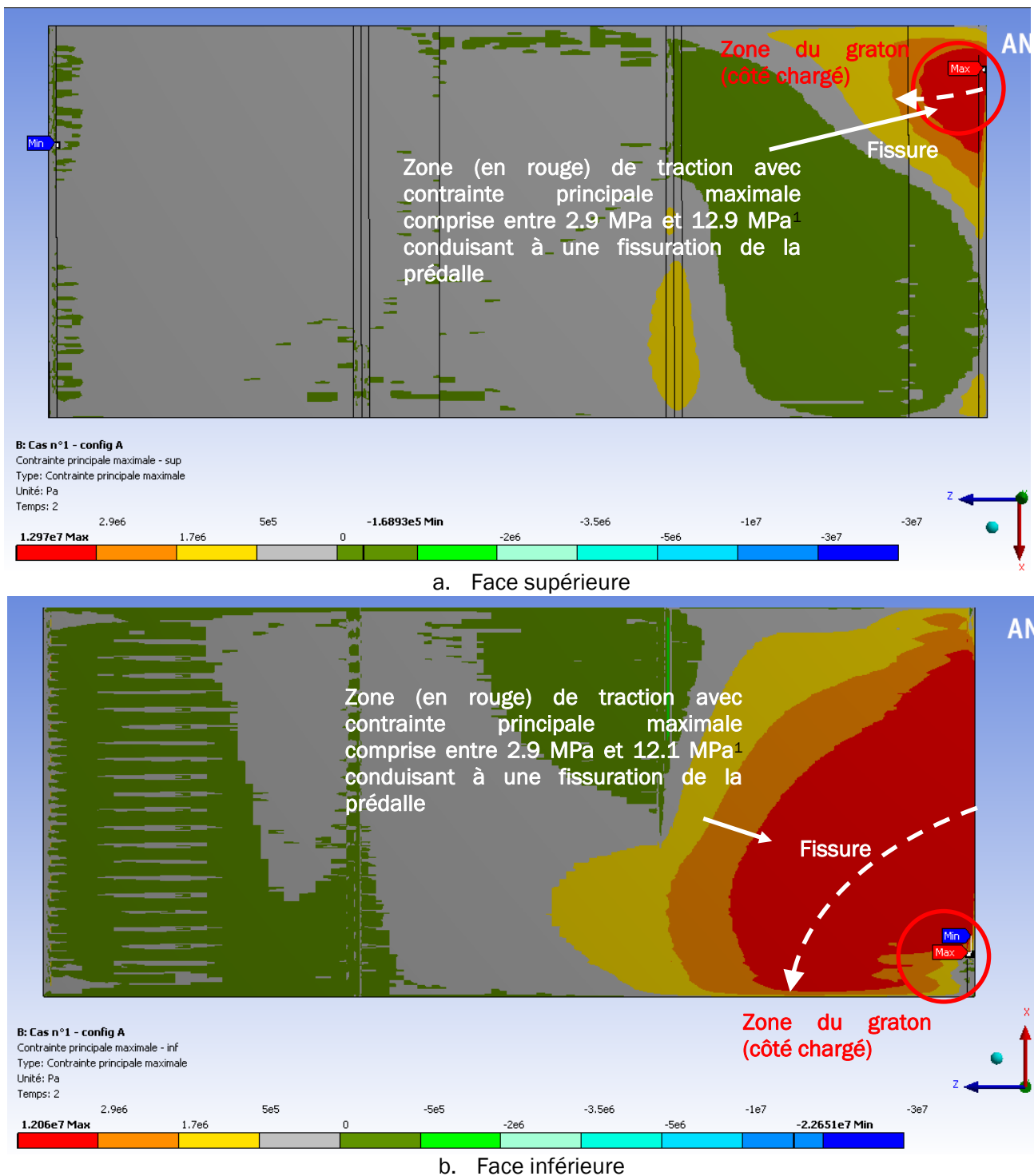


Figure 13 : Contraintes principales maximales – configuration A

En observant les contraintes principales maximales (contrainte de traction, Figure 13), deux fissures (une sur chaque face comme identifiées précédemment en observant les contraintes longitudinales et transversales) avec une direction privilégiée sur chaque face peuvent être imaginées et représentées sur cette même figure (trait directionnel discontinu blanc).

Cette première zone située sur la face supérieure au niveau du graton a une contrainte principale de traction de 13.0 MPa¹ maximum (dépassant f_{ctm}) tandis que la deuxième zone en face inférieure entre le graton et l'appui partiel du mur a une contrainte principale de traction de 12.1 MPa¹ maximum (dépassant f_{ctm}).

A noter également que l'effet favorable de la précontrainte inexistant dans le sens transversal (contrairement au sens longitudinal) explique que la fissuration dans le sens longitudinal se produit plus rapidement que dans le sens transversal.

5.3. Configuration B : Graton sur mur droit (côté chargé) dans l'axe de la prédalle

Sur la Figure 14a et la Figure 16, une direction préférentielle concernant la transmission des efforts se distingue en partant du graton central et se diffusant vers la ligne d'étais. En observant les contraintes principales maximales (Figure 18), une zone de fissuration est visible sur la face supérieure au niveau du graton (contraintes dépassant f_{ctm}). L'annexe 3 permet également de préciser que la prédalle, sur la partie de droite, repose uniquement sur le graton et ne rentre pas en contact avec le mur de droite (porte à faux de 1.25 m de part et d'autre du graton positionné dans l'axe de la prédalle) contrairement à la configuration A.

Pour la configuration A, une flexion transversale se produit sur une portée correspondant à une largeur de prédalle (environ 2.5 m) et provoque une fissuration initiale en face supérieure au niveau du graton (contrainte principale maximale de 13 MPa induite par le porte à faux) et une fissuration en face inférieure (contrainte principale maximale de 12.1 MPa induite par une flexion transversale lorsque la prédalle rentre en contact avec le mur de droite). Cette flexion transversale n'existant pas pour la configuration B puisqu'il n'y a pas de contact avec le mur de droite, la fissuration se situe uniquement en face supérieure au niveau du graton (contrainte principale maximale de 24.3 MPa, Figure 18) provoquée par le porte à faux.

¹ A noter que les calculs sont réalisés avec des lois de comportement élastique linéaire. Par conséquent, les contraintes principales, dépassant parfois de façon importante f_{ctm} , indiquent uniquement qu'il y aura systématiquement fissuration dans la prédalle. Les intensités ne doivent pas être retenues étant donné qu'en réalité une redistribution des contraintes (non prise en compte dans ces calculs) se produirait et donnerait des intensités moins importantes mais en mettant toujours en avant l'apparition des fissures.

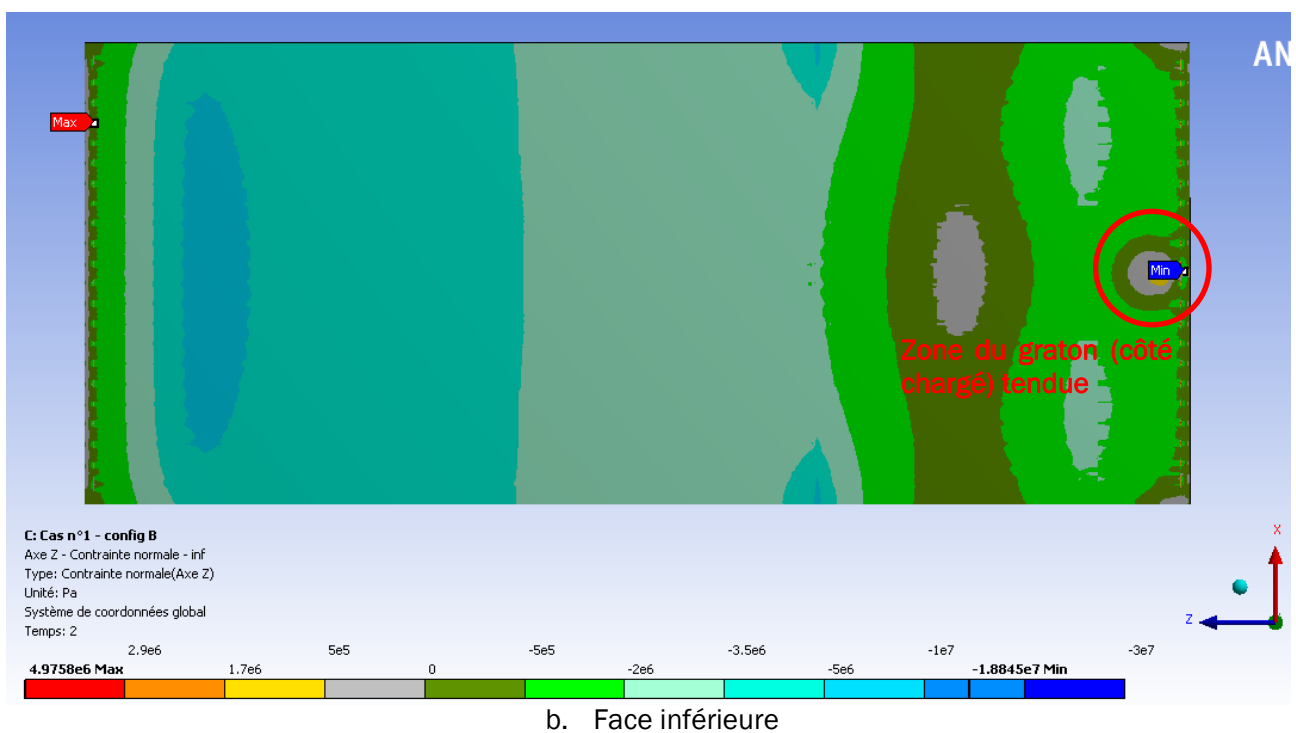
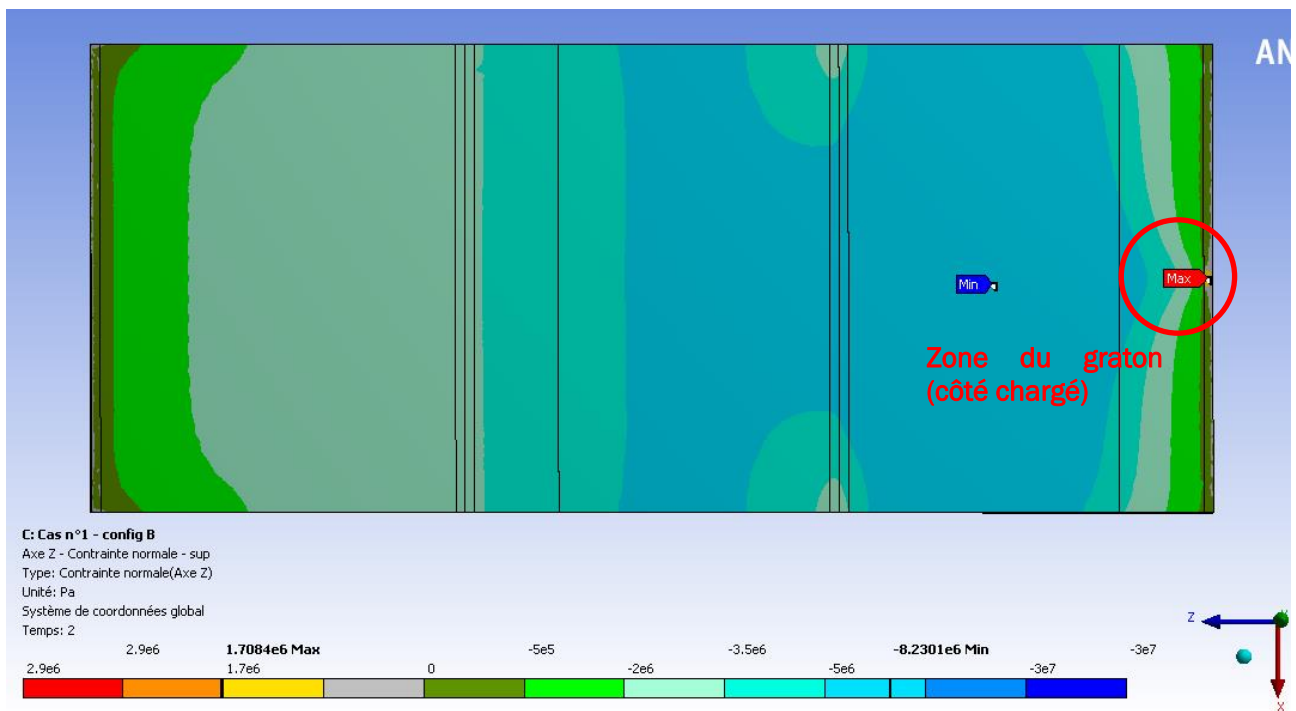


Figure 14 : Contrainte longitudinale σ_{zz} – configuration B

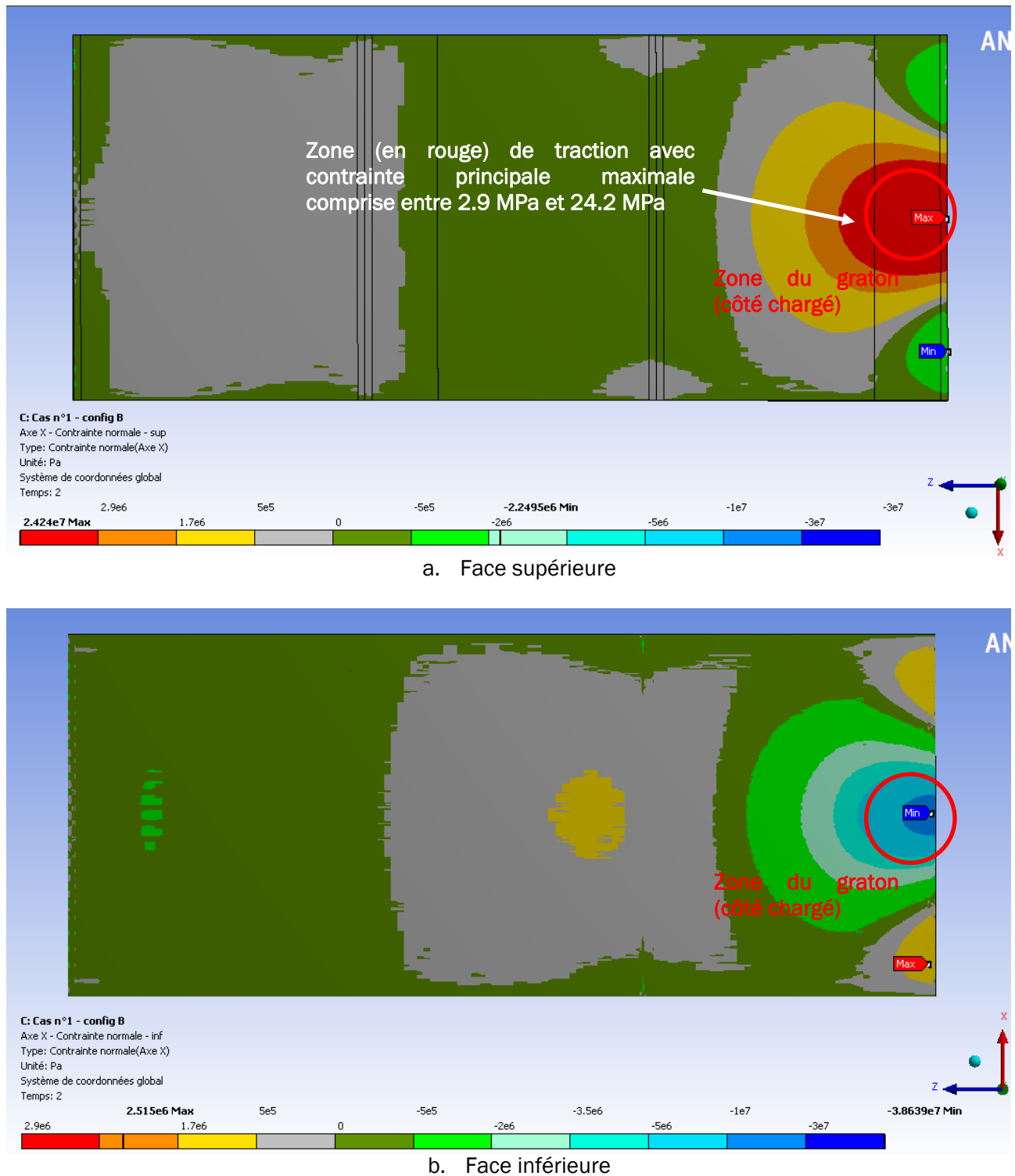
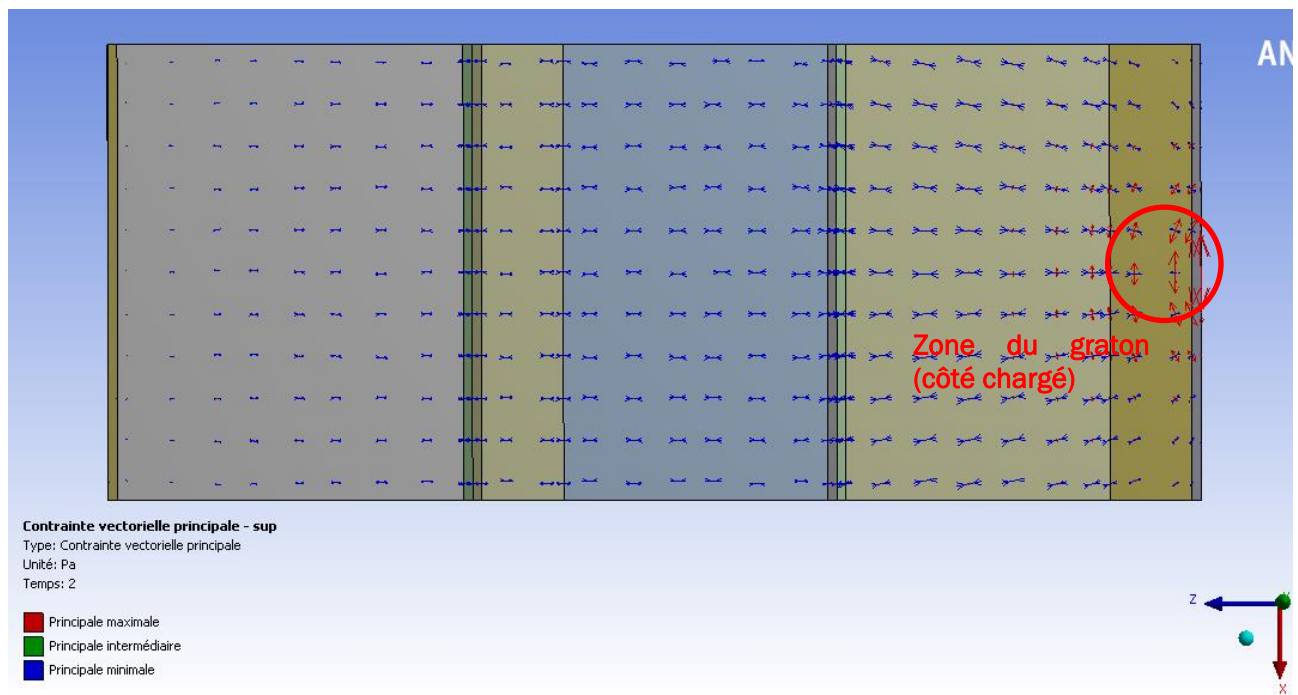
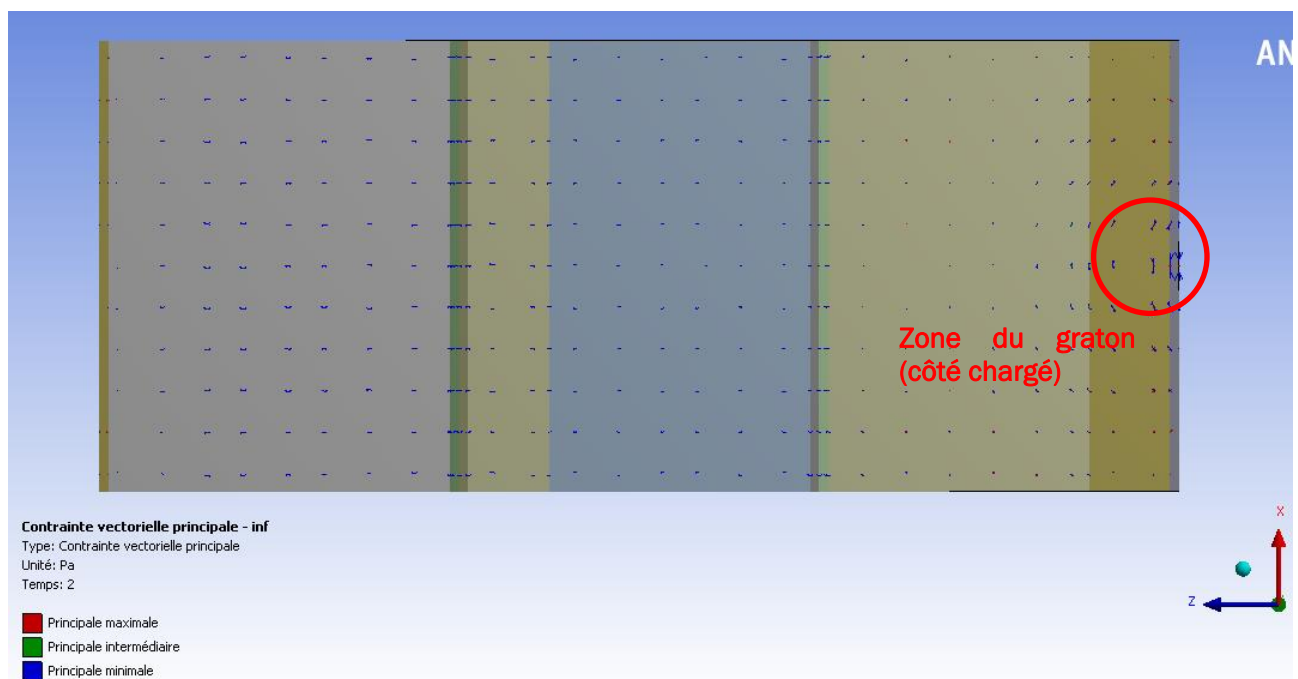


Figure 15 : Contrainte transversale σ_{xx} – configuration B



a. Face supérieure



b. Face inférieure

Figure 16 : Contraintes vectorielles principales- configuration B

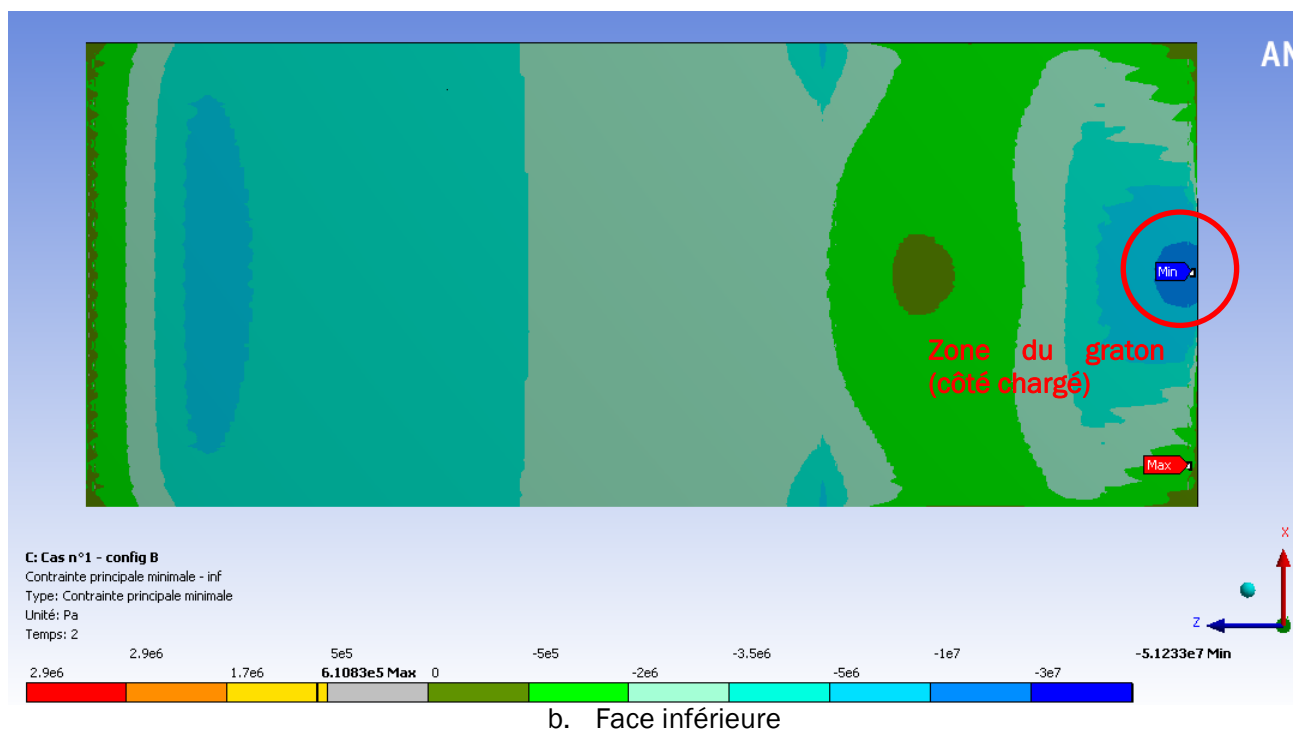
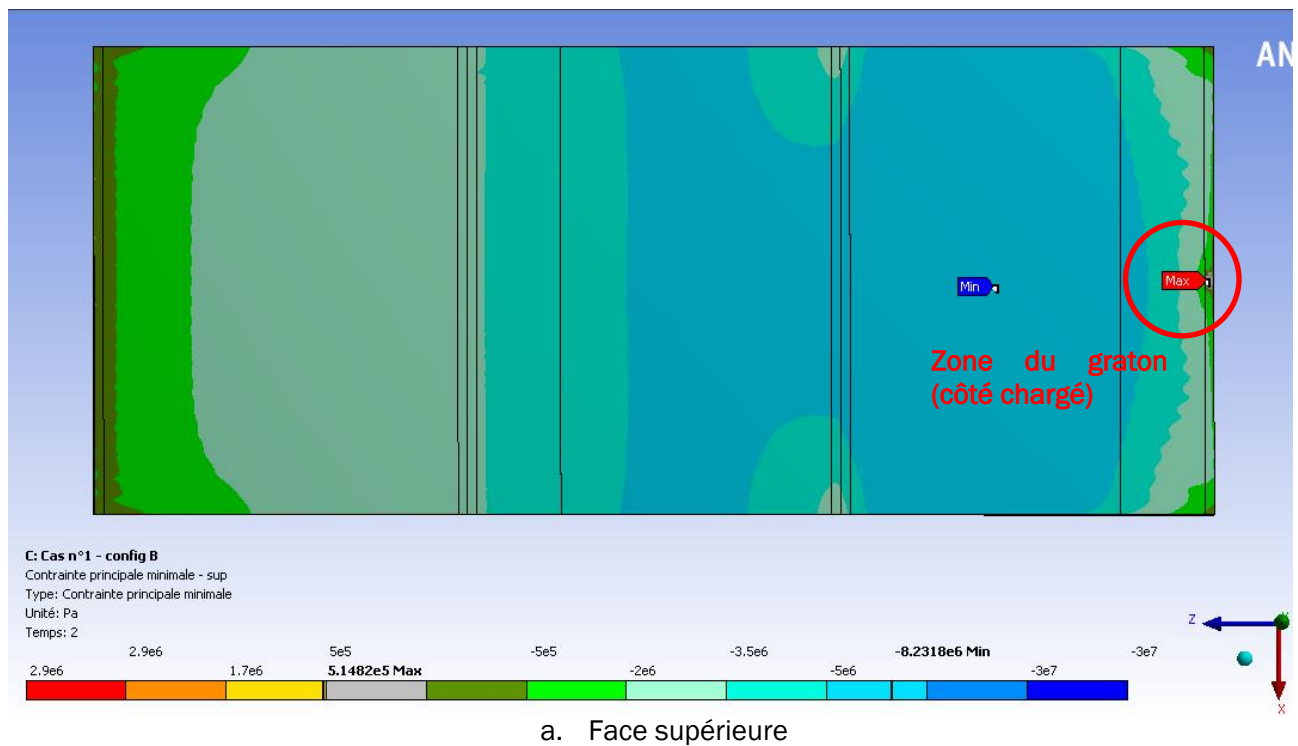


Figure 17 : Contraintes principales minimales- configuration B

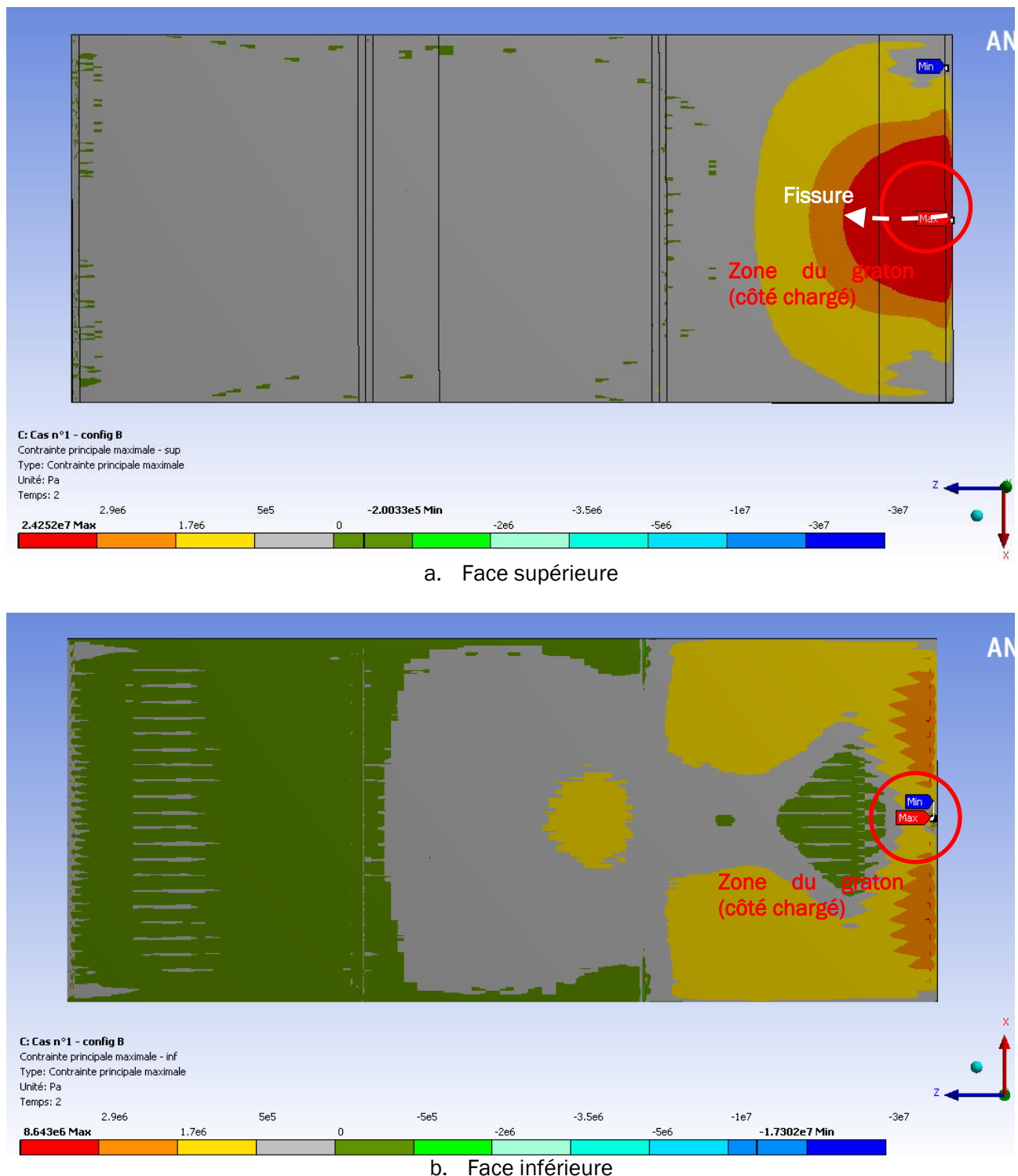


Figure 18 : Contraintes principales maximales– configuration B

En observant la contrainte principale maximale (contrainte de traction Figure 18), on constate qu'une seule fissure au niveau du graton est visible sur la face supérieure (comparée aux deux fissures de la configuration A sur chacune des deux faces dont l'une est commune) et que l'intensité de cette contrainte maximale (24.3 MPa) est quasiment équivalente à la combinaison des intensités maximales des contraintes de la face supérieure et inférieure de la configuration A (réciproquement 13.0 MPa et 12.1 MPa).

5.4. Conclusion

Les configurations C et D ont montré que l'introduction d'un deuxième graton se situant à l'opposé de la travée chargée ne conduit pas à un état de contrainte plus défavorable de la travée chargée par rapport à une configuration avec un seul graton (côté chargé). C'est pour cette raison que ces deux configurations, n'apportant pas de réponses supplémentaires, ont été présentées en annexe 1 de ce document.

Les quatre configurations présentant différentes positions du ou des gratons montrent que la prédalle fissure systématiquement. Cette fissuration est essentiellement due à la création d'une flexion transversale négative (trouvant son origine dans le porte à faux) et/ou positive (lorsque la prédalle rentre en contact avec le mur) en présence du graton qui fait donc apparaître une contrainte transversale σ_{xx} et augmenter ainsi les contraintes principales ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$).

En observant la contrainte principale maximale de chaque configuration, le cas du graton centré (configuration B) donne l'intensité de contrainte la plus élevée (24.3 MPa) avec une fissure sur la face supérieure.

Les zones les plus sollicitées se situent sur la travée chargée. En s'éloignant de cette zone, le risque de fissuration s'affaiblit et laisse place à la flexion longitudinale suivant l'axe privilégié z pour se rapprocher du cas de référence.

Le Tableau 1 permet d'accompagner cette conclusion en résumant les intensités maximales des contraintes principales maximales (traction dans cette étude) et minimale (compression dans cette étude) :

	Face supérieure de la prédalle		Face inférieure de la prédalle	
	Intensité max. de la contrainte principale maximale σ_1 : Traction [MPa]	Intensité max. de la contrainte principale minimale σ_3 : Compression [MPa]	Max. de la contrainte principale maximale σ_1 : Traction [MPa]	Intensité max. de la contrainte principale minimale σ_3 : Compression [MPa]
Référence	(+) 1.0	(-) 5.8	(+) 0.5	(-) 6.9
Configuration A : Graton au bord (côté chargé)	(+) 13.0	(-) 8.7	(+) 12.1	(-) 59.3
Configuration B : Graton au centre (côté chargé)	(+) 24.3	(-) 8.2	(+) 2.9	(-) 51.2
Configuration C : Graton au centre (côté non chargé) + graton au bord (côté chargé)	(+) 12.9	(-) 8.6	(+) 12.1	(-) 59.3
Configuration D : Graton au centre (côté non chargé) + graton au centre (côté chargé)	(+) 23.6	(-) 7.9	(+) 2.9	(-) 50.0

* Rappel de la convention de signe des contraintes : Le signe (-) correspond à de la compression tandis que le signe (+) correspond à la traction

Tableau 1 : Intensités maximales observées pour la contrainte principale maximale et minimale pour le cas de charge n°1

Enfin, il est important de rappeler deux points au sujet de la précontrainte. La zone où se situe le graton est celle de la longueur de transfert de la précontrainte ($L_{pt}=58$ cm) ce qui accentue l'apparition de traction et de fissuration en l'absence d'une précontrainte totalement établie.

Ensuite, des fissurations apparaissent plus rapidement dans le sens longitudinal (fissures parallèles aux câbles de précontrainte) car il n'y a pas d'effet favorable de la précontrainte dans le sens transversal provoquant ainsi ce type de fissuration par flexion transversale.

5.5. Configuration E : Pose avec lisses de rive

Afin de solutionner la problématique évoquée dans la conclusion précédente, une dernière configuration pour ce cas de charge n°1 est étudiée en posant la prédalle directement sur les lisses d'étalement déjà présentes et des lisses de rive à 30 cm du bord de chacun des deux murs. Pour rappel, cette solution permet de retrouver des appuis continus comme pour le cas de référence et ainsi privilégier la flexion longitudinale pour laquelle est dimensionnée cette prédalle (précontrainte établie dans le sens longitudinal).

La même analyse est effectuée avec les Figure 19 à Figure 23. En observant la Figure 19a, une légère zone de traction acceptable aux extrémités de la face supérieure de la prédalle d'une largeur équivalente à la distance entre les lisses de rive et l'extrémité de la prédalle (environ 30 cm) est observable et correspond au porte à faux chargé de la prédalle avec une précontrainte moins importante dans cette zone (zone L_{pt}).

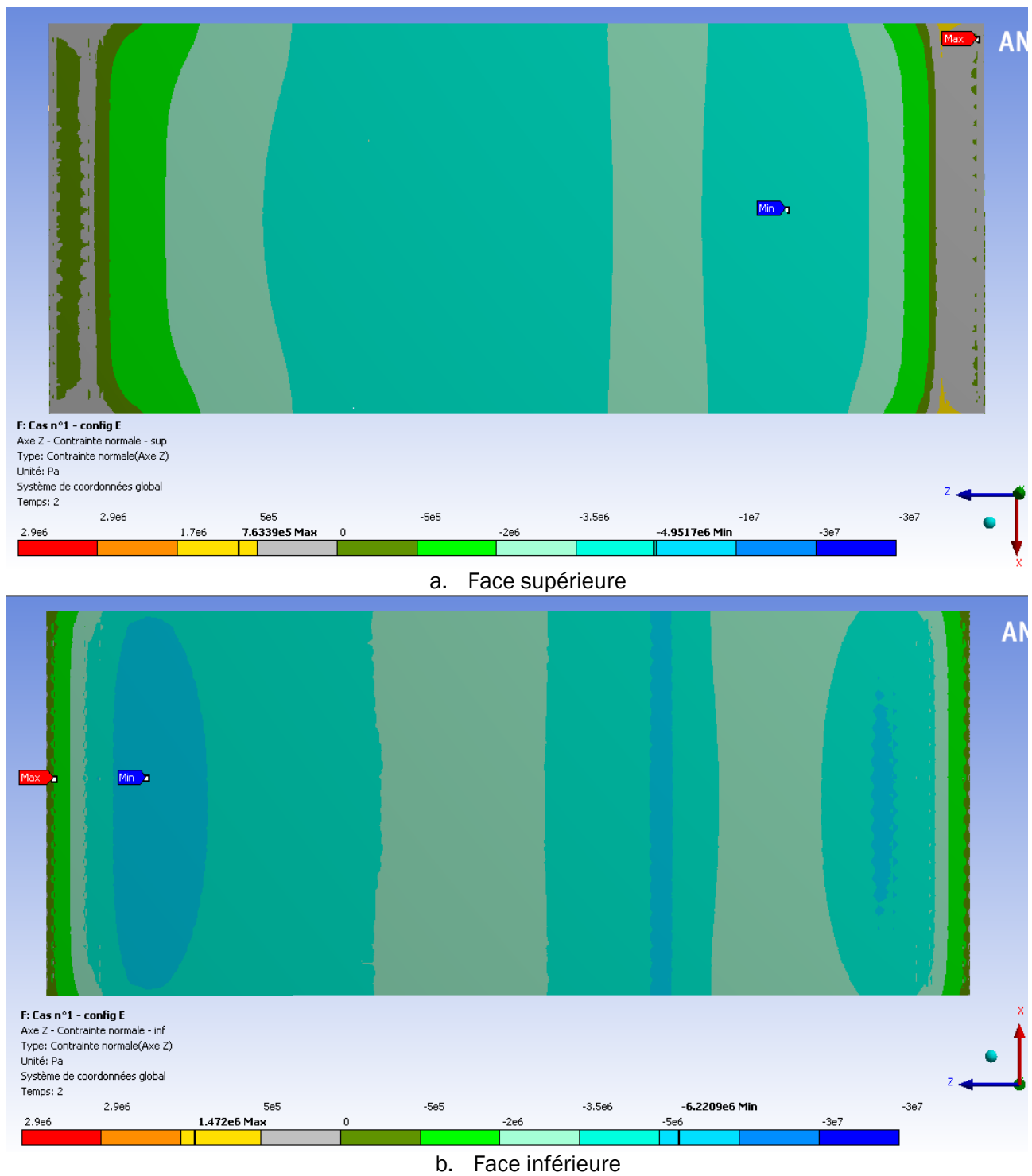


Figure 19 : Contrainte longitudinale σ_z – configuration E

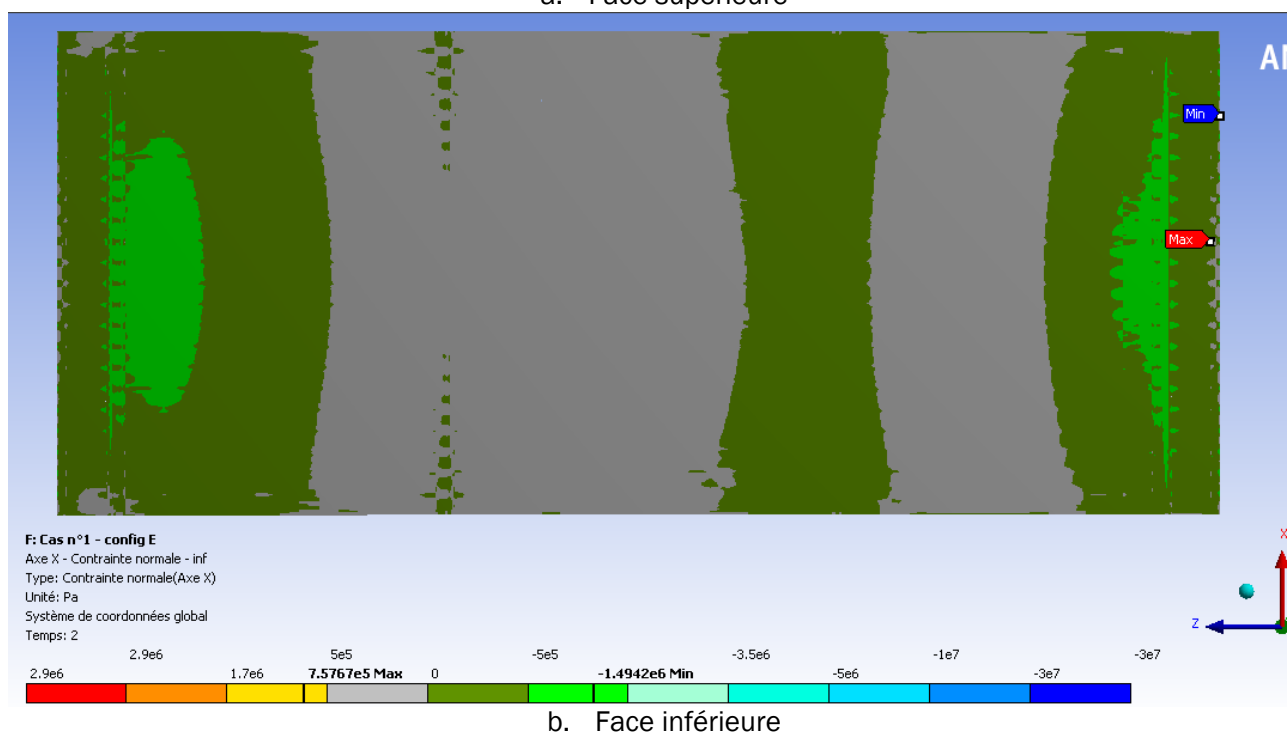
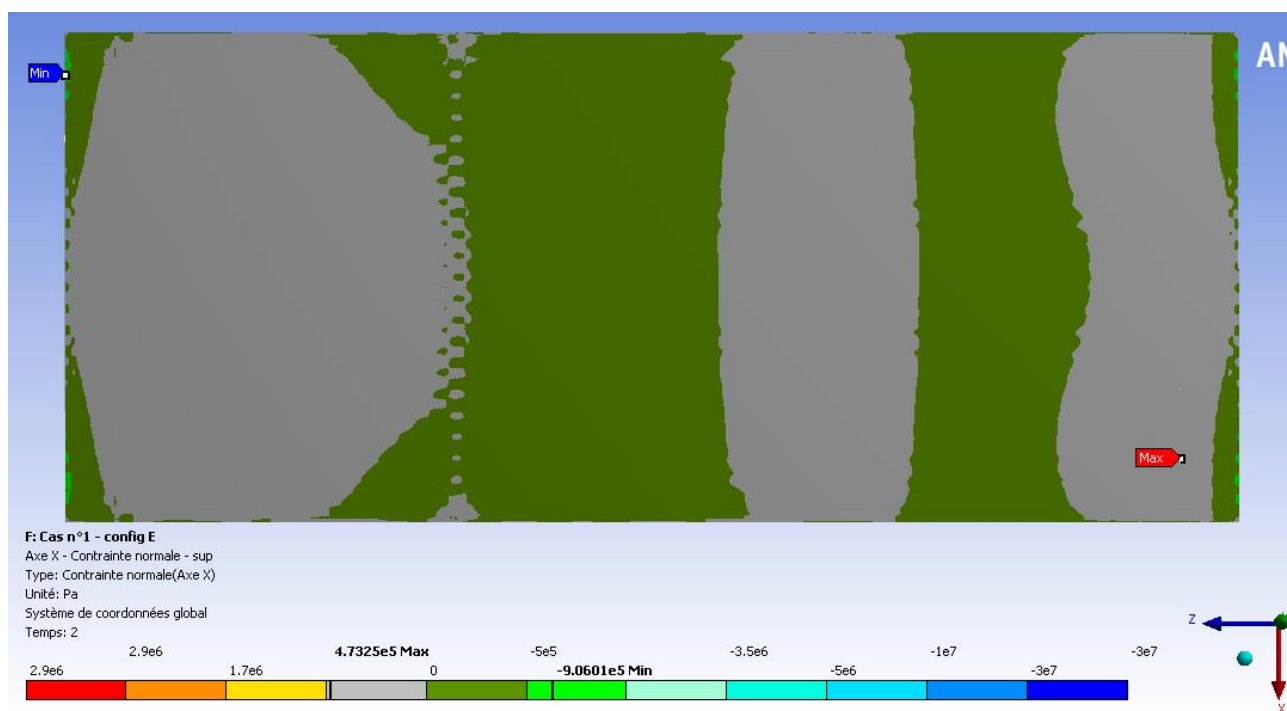
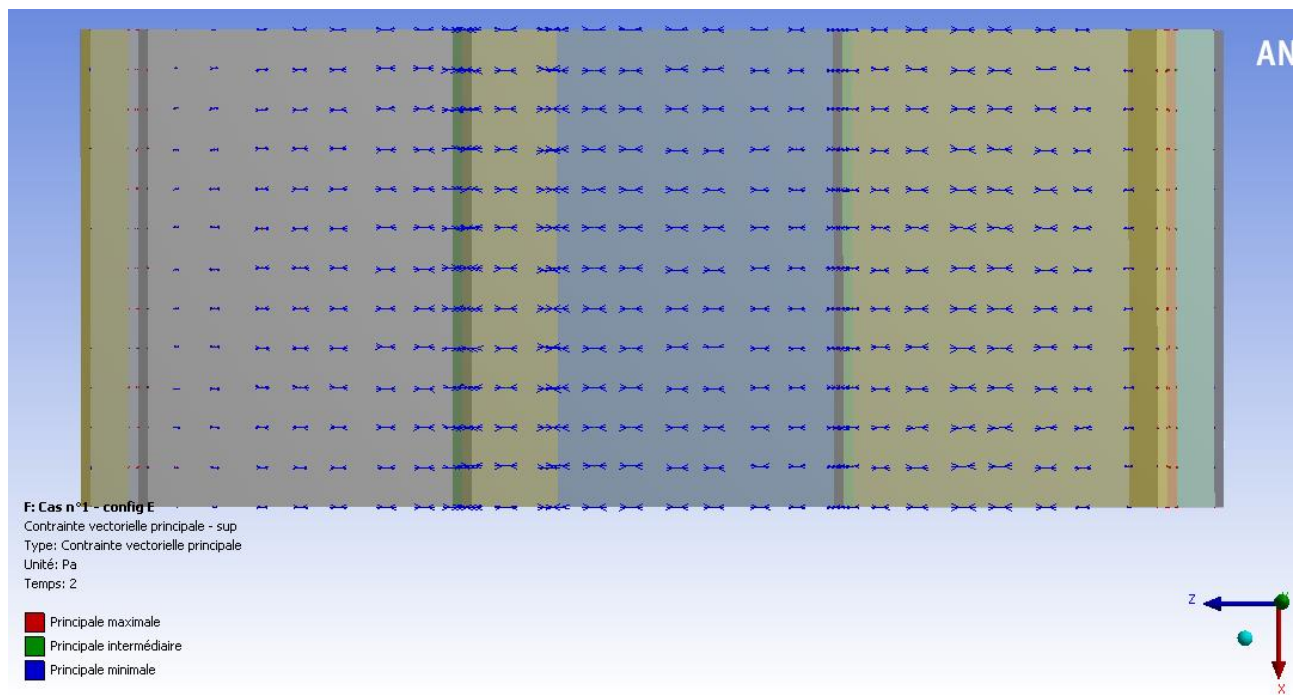
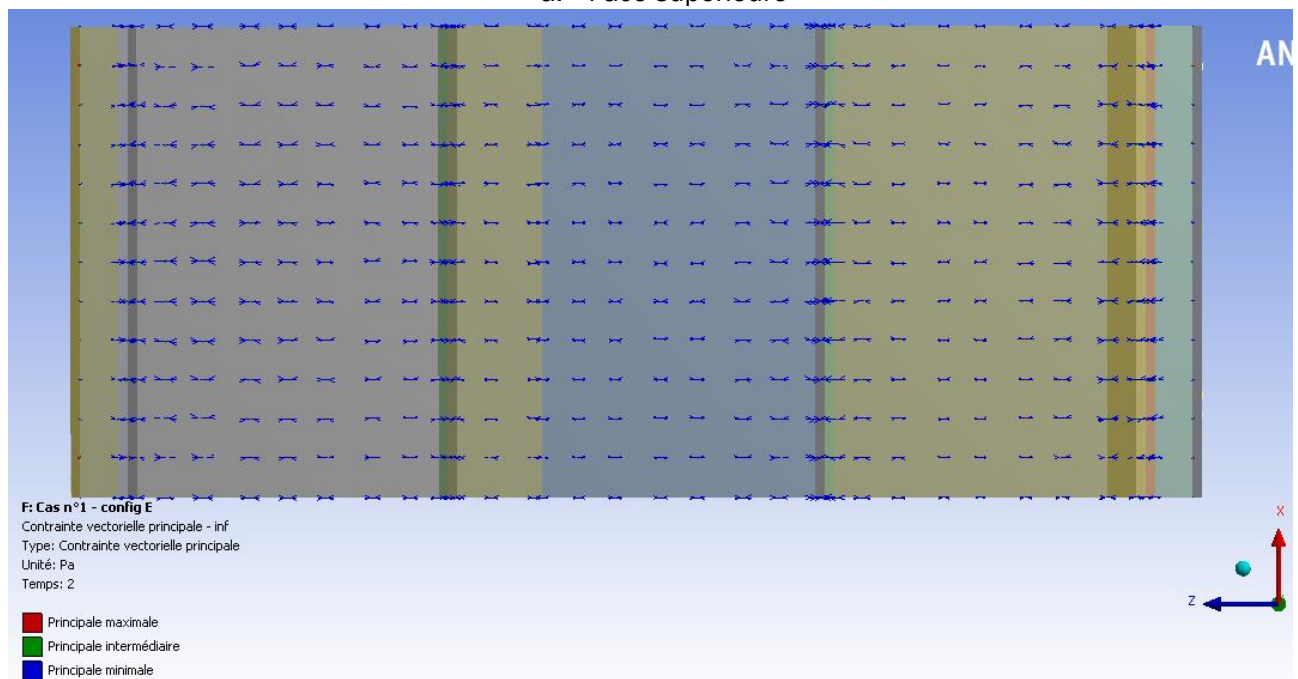


Figure 20 : Contrainte transversale σ_{xx} – configuration E



a. Face supérieure



b. Face inférieure

Figure 21 : Contraintes vectorielles principales- configuration E

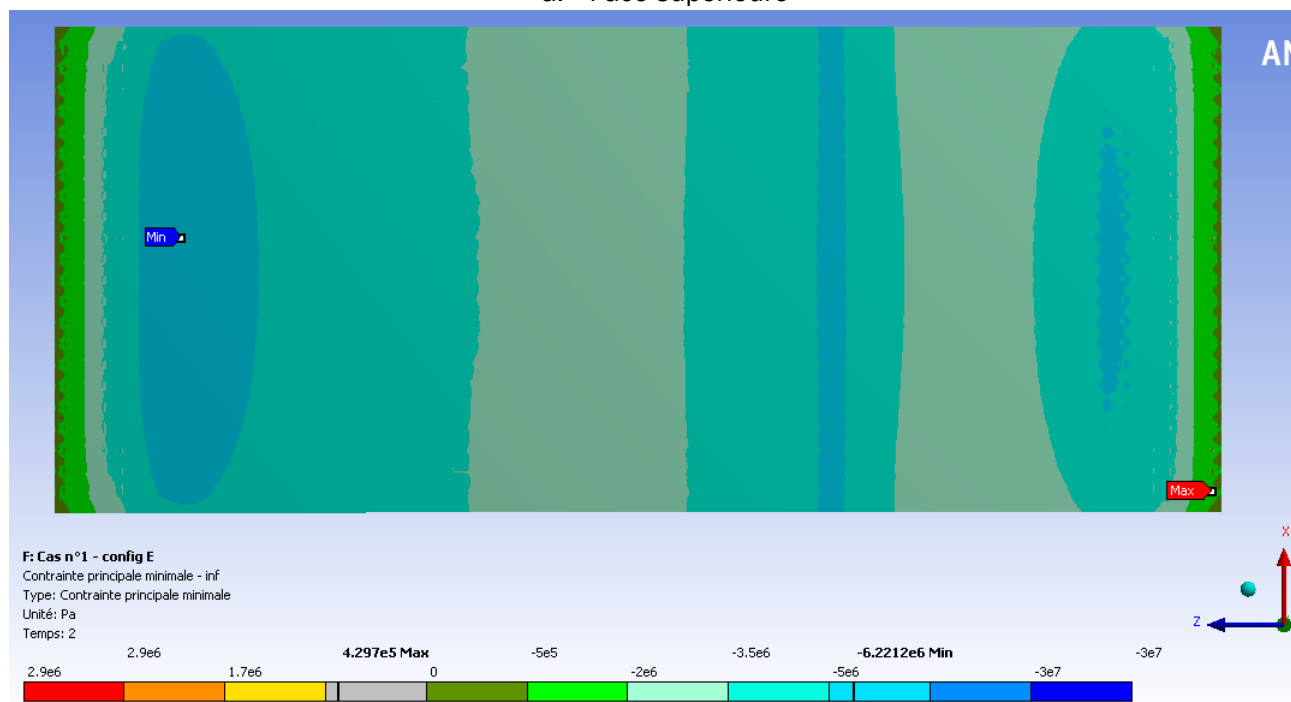
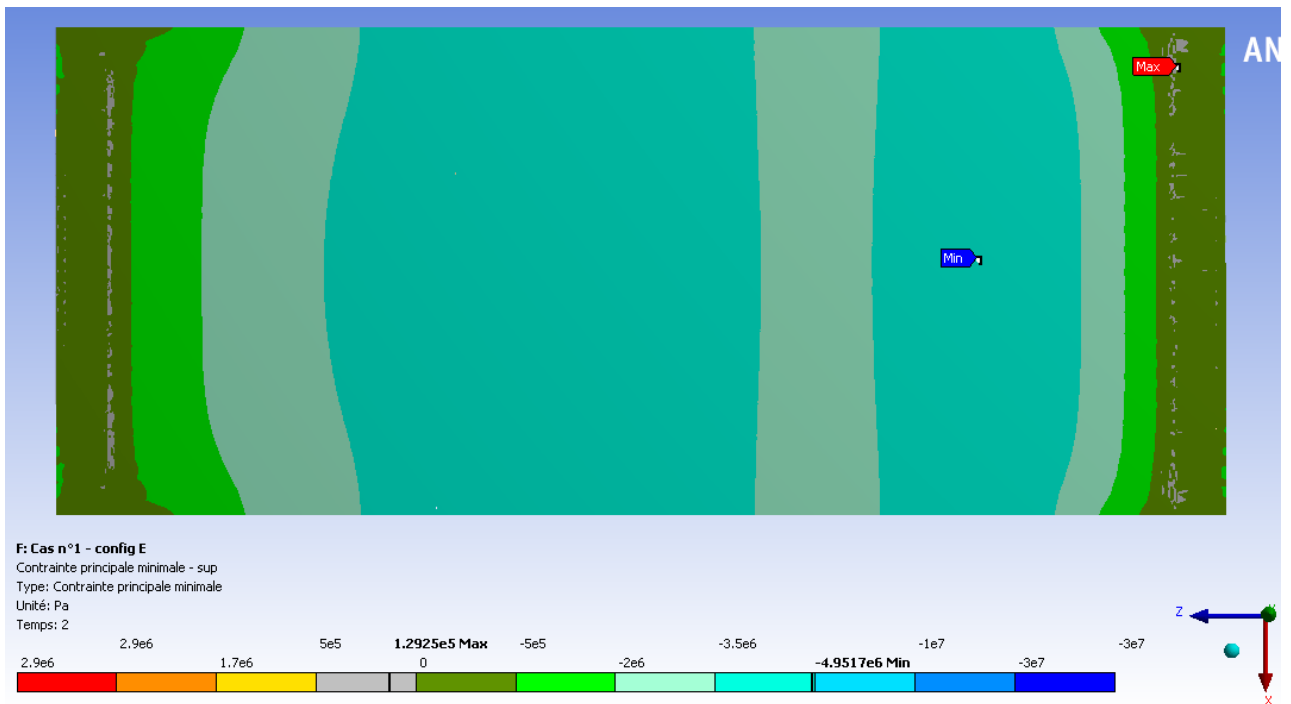


Figure 22 : Contraintes principales minimales- configuration E

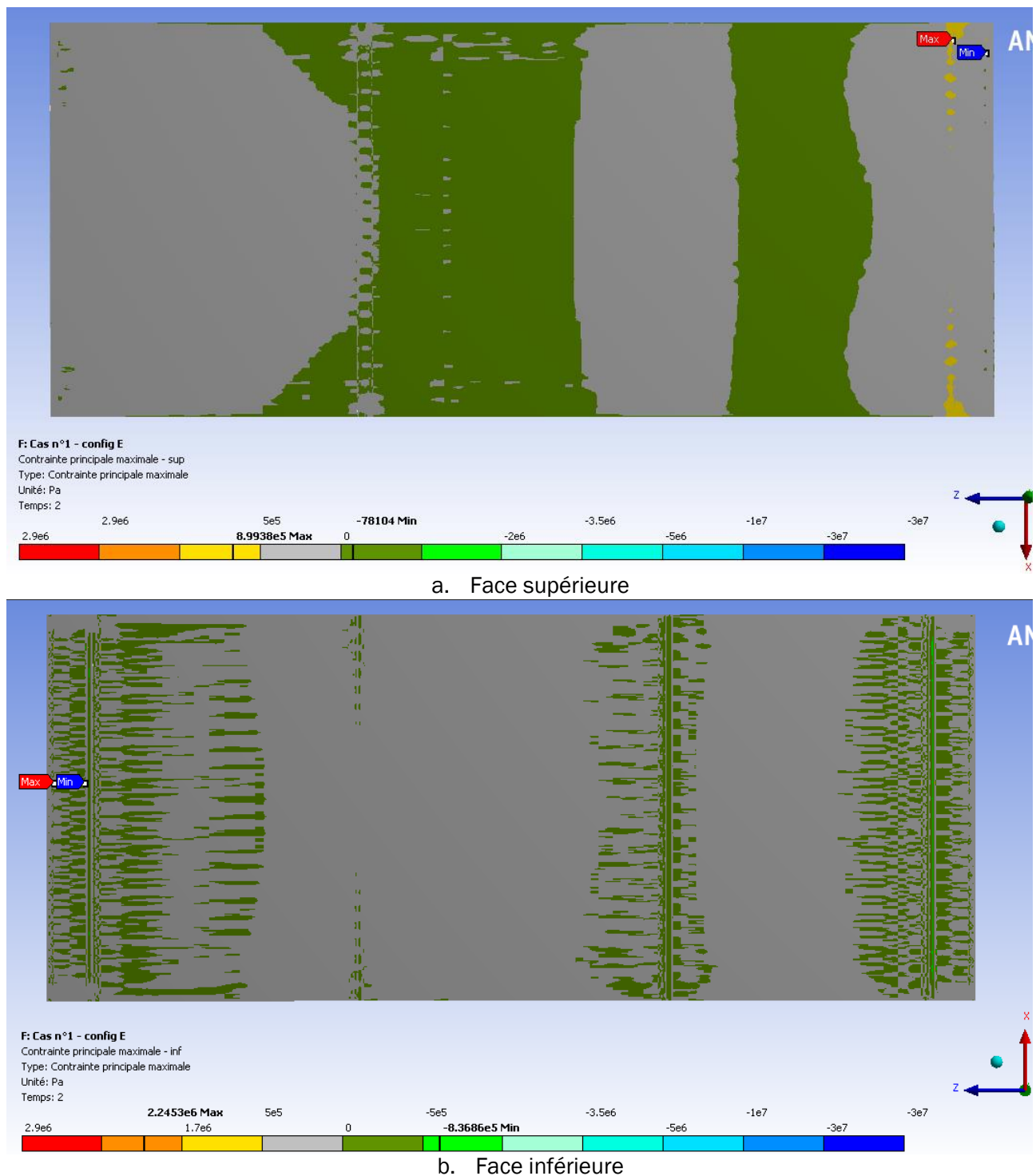


Figure 23 : Contraintes principales maximales – configuration E

Cette configuration, faisant apparaître une prédalle globalement comprimée sur sa face inférieure comme sur sa face supérieure (excepté la zone de traction du porte à faux où les intensités sont toutefois négligeables), se comporte comme la solution de référence.

5.6. Conclusion

Ainsi la contrainte principale maximale est quasi équivalente à la contrainte longitudinale σ_{zz} en l'absence de flexion transversale (contrainte transversale σ_{xx} quasi-nulle). Cette configuration E semble donc une solution alternative aux préconisations de poses.

A noter également que la raideur de la prédalle ne permet pas au porte à faux chargé de 30 cm de s'appuyer sur le ou les graton(s) d'une hauteur de 1 cm et encore moins sur les murs.

6. Résultats du cas de charge n°3

L'étude de ce cas de charge n°3 (cf. partie 3.3) avec les différentes positions du graton n'a plus grand intérêt étant donné que le cas de charge n°1 impose des lisses de rive en l'absence d'une pose à bain de mortier ou d'un état de surface d'appui surfacé au sens de la norme NF DTU 21. Toutefois, l'ensemble de l'analyse a été réalisée en annexe 2 pour des raisons de rigueur. Afin de confirmer la solution alternative à un état de surface d'appui surfacé au sens de la norme NF DTU 21 ou la pose à bain de mortier, le cas de charge n°3 avec la configuration E est uniquement exposé dans la suite de ce document afin d'observer les bienfaits de cette solution de pose.

En raison de la similitude des résultats et des conclusions du cas de charge n°1, seules les contraintes principales sont exposées dans les prochains paragraphes.

Le cas de charge n°3 montrent que les intensités de contraintes sont moins importantes à configuration égale que celles du cas de charge n°1. Le Tableau 2 s'attache à exposer ces propos en résumant les intensités maximales observées de la contrainte principale maximale (traction dans cette étude) et la contrainte principale minimale (compression dans cette étude) pour le cas de charge n°1 et n°3.

	Cas de charge n°1				Cas de charge n°3			
	Face supérieure de la prédalle		Face inférieure de la prédalle		Face supérieure de la prédalle		Face inférieure de la prédalle	
	Intensité max. de la contrainte principale maximale σ_1 : Traction [MPa]	Intensité max. de la contrainte principale minimale σ_3 : Compression [MPa]	Max. de la contrainte principale maximale σ_1 : Traction [MPa]	Intensité max. de la contrainte principale minimale σ_3 : Compression [MPa]	Intensité max. de la contrainte principale maximale σ_1 : Traction [MPa]	Intensité max. de la contrainte principale minimale σ_3 : Compression [MPa]	Max. de la contrainte principale maximale σ_1 : Traction [MPa]	Intensité max. de la contrainte principale minimale σ_3 : Compression [MPa]
Référence	(+) 1.0	(-) 5.8	(+) 0.5	(-) 6.9	(+) 1.0	(-) 6.3	(+) 0.5	(-) 8.6
Configuration A : Graton au bord (côté chargé)	(+) 13.0	(-) 8.7	(+) 12.1	(-) 59.3	(+) 12.0	(-) 7.9	(+) 11.1	(-) 54.8
Configuration B : Graton au centre (côté chargé)	(+) 24.3	(-) 8.2	(+) 2.9	(-) 51.2	(+) 21.4	(-) 7.5	(+) 2.9	(-) 45.7
Configuration C : Graton au centre (côté non chargé) + graton au bord (côté chargé)	(+) 12.9	(-) 8.6	(+) 12.1	(-) 59.3	(+) 11.6	(-) 9.0	(+) 10.7	(-) 52.8
Configuration D : Graton au centre (côté non chargé) + graton au centre (côté chargé)	(+) 23.6	(-) 7.9	(+) 2.9	(-) 50.0	(+) 20.5	(-) 9.1	(+) 2.9	(-) 43.9

* Rappel de la convention de signe des contraintes : Le signe (-) correspond à de la compression tandis que le signe (+) correspond à la traction

Tableau 2 : Intensités maximales observées pour la contrainte principale maximale et minimale pour le cas de charge n°1 et n°3

6.1. Configuration E : Pose avec lisses de rive

Comme pour le cas de charge n°1, cette configuration fait apparaître une prédalle globalement comprimée sur sa face inférieure comme sur sa face supérieure avec un porte à faux de 30 cm. Sur la ligne d'étais (côté graton), une zone tendue en face supérieure (Figure 25b) apparaît avec des valeurs de contraintes acceptables (0.9 MPa inférieure à f_{ctm}) et identiques à la configuration de référence du cas de charge n°3 observable en annexe 2.

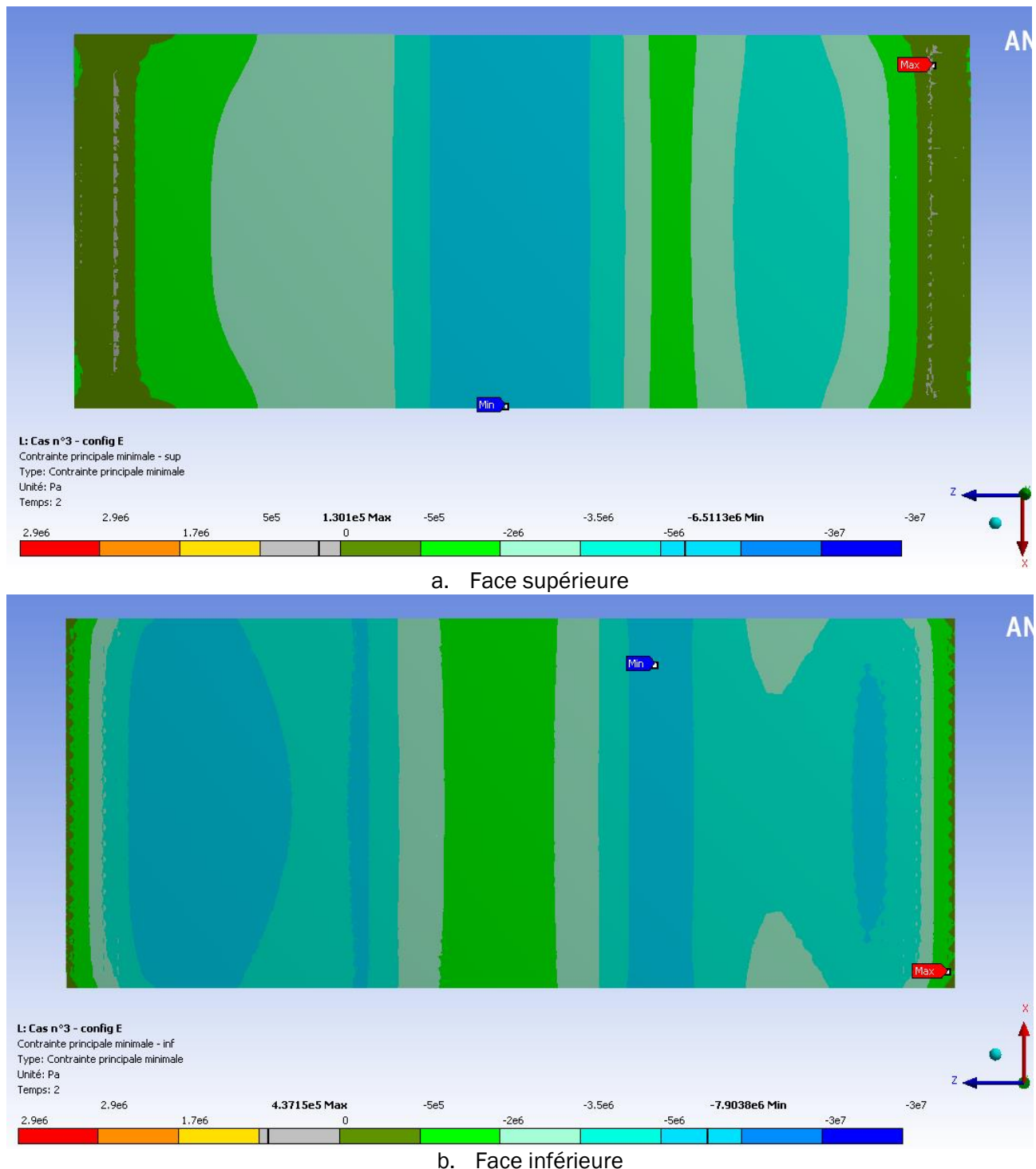


Figure 24 : Contraintes principales minimales- configuration E

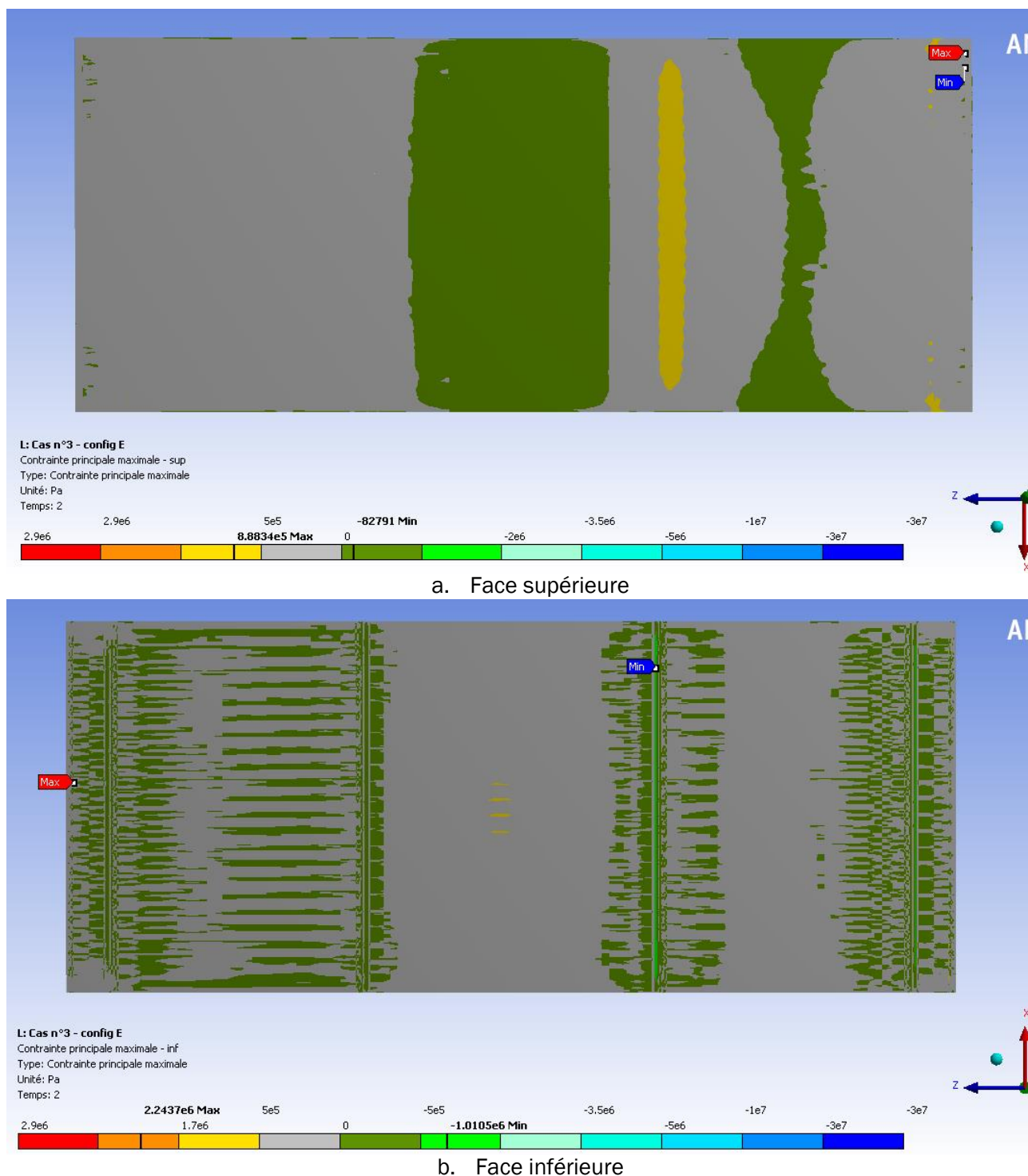


Figure 25 : Contraintes principales maximales – configuration E

7. Conclusion

En l'absence de précautions recommandées, telles que la pose à bain de mortier ou un état d'appui surfacé au sens du DTU 21, la présente étude numérique montre qu'une dégradation des conditions d'appuis d'une prédalle, matérialisée par un graton indéformable d'une hauteur de 1 cm, conduit à la nécessité d'effectuer la pose des prédalles avec lisses de rive.

Si la distance entre l'axe de ces lisses de rive et le nu du voile reste inférieure à 30 cm, le dimensionnement initial reste sécuritaire.



Armand LEROUX
Ingénieur Modélisation
du Pôle Structures



Matthieu SCALLIET
Responsable
du Pôle Structures

8. Documents de référence

- [1] Annexe technique CERIB-FFB.pdf
- [2] Projet de DTU 23.4
- [3] CPT TITRE II (PREDALLES) AUX EUROCODES
- [4] Norme NF EN 1990
- [5] Norme NF EN 1991-1-6

Annexe 1 – Cas de charge n°1

A.1.1 Configuration C : Gratons sur le mur gauche (côté non chargé) dans l'axe de la prédalle et au bord du mur droit (côté chargé)

En analysant les différentes figures (Figure 26 à Figure 30), nous observons que la répartition des contraintes de cette configuration est l'union de la répartition des contraintes de la configuration A et celle de la configuration B avec des intensités plus faibles que celles de la configuration B du côté du graton centré étant donné qu'il n'est pas chargé (seulement le poids propre de la prédalle).

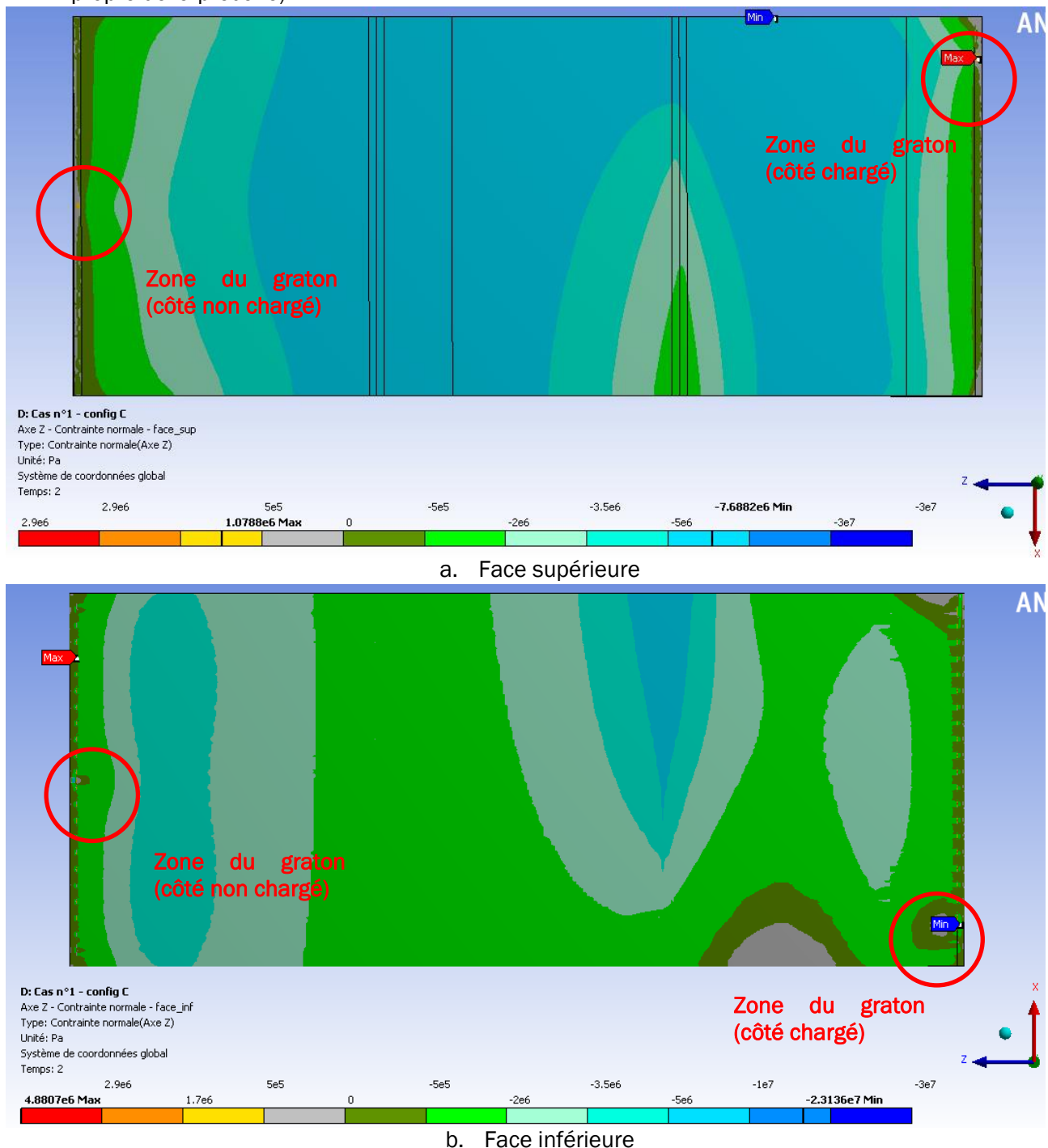


Figure 26 : Contrainte longitudinale σ_{zz} – configuration C

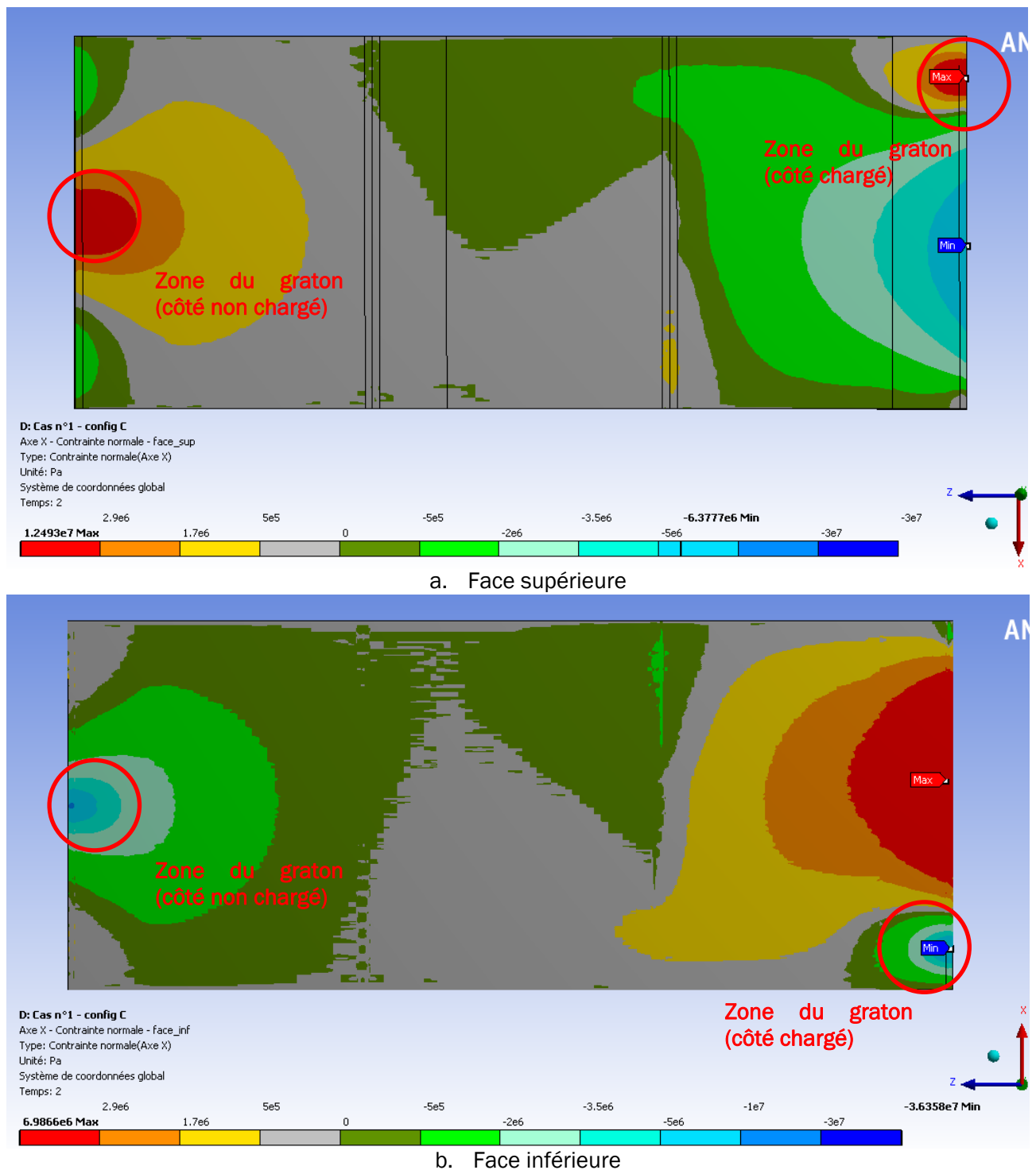


Figure 27 : Contrainte transversale σ_{xx} – configuration C

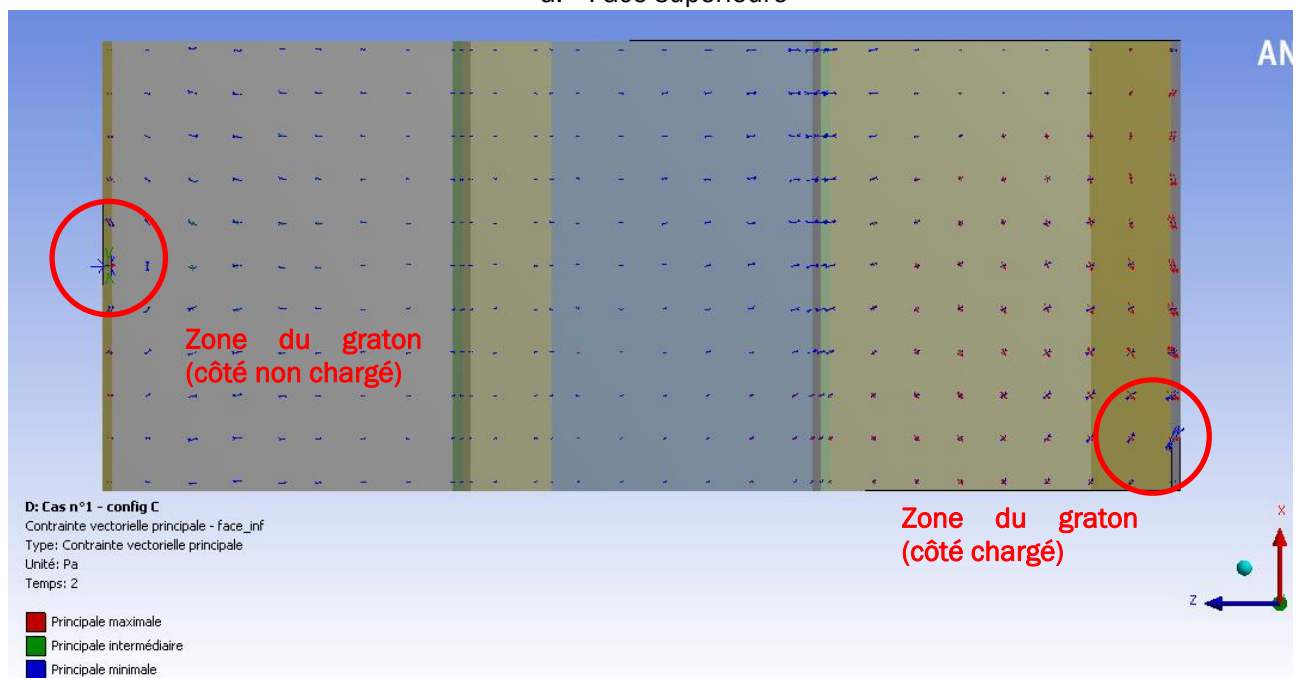
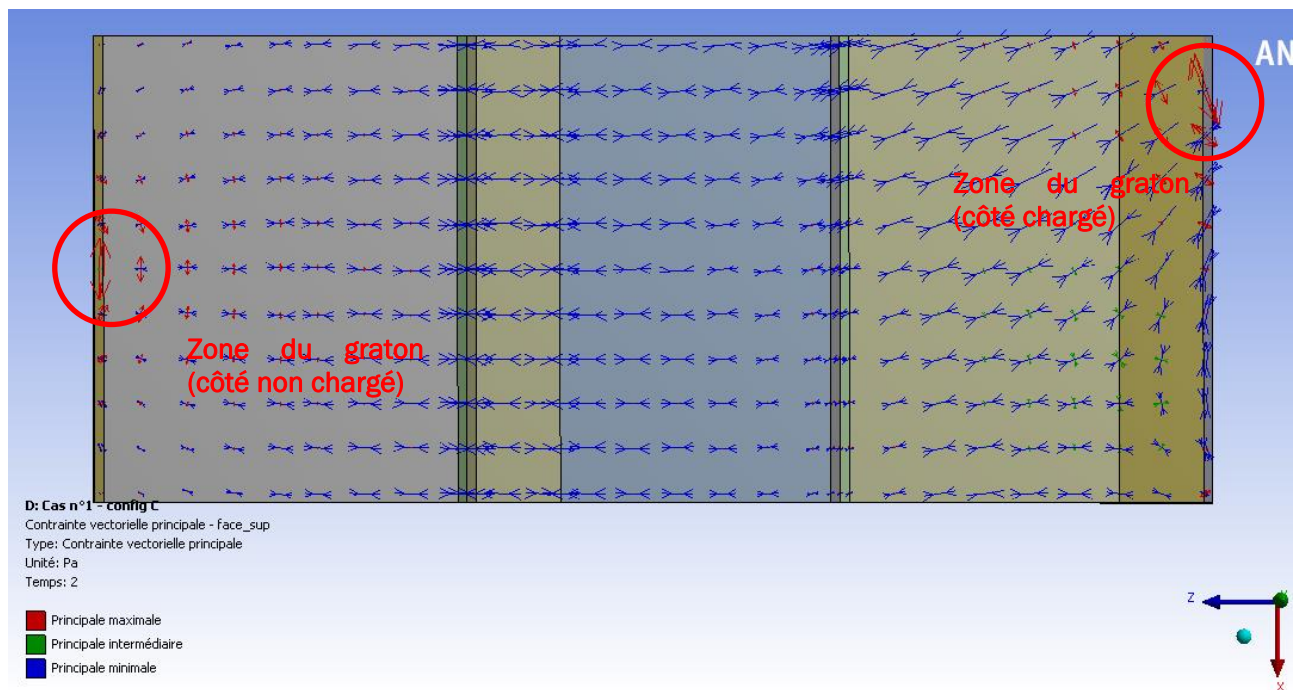


Figure 28 : Contraintes vectorielles principales – configuration C

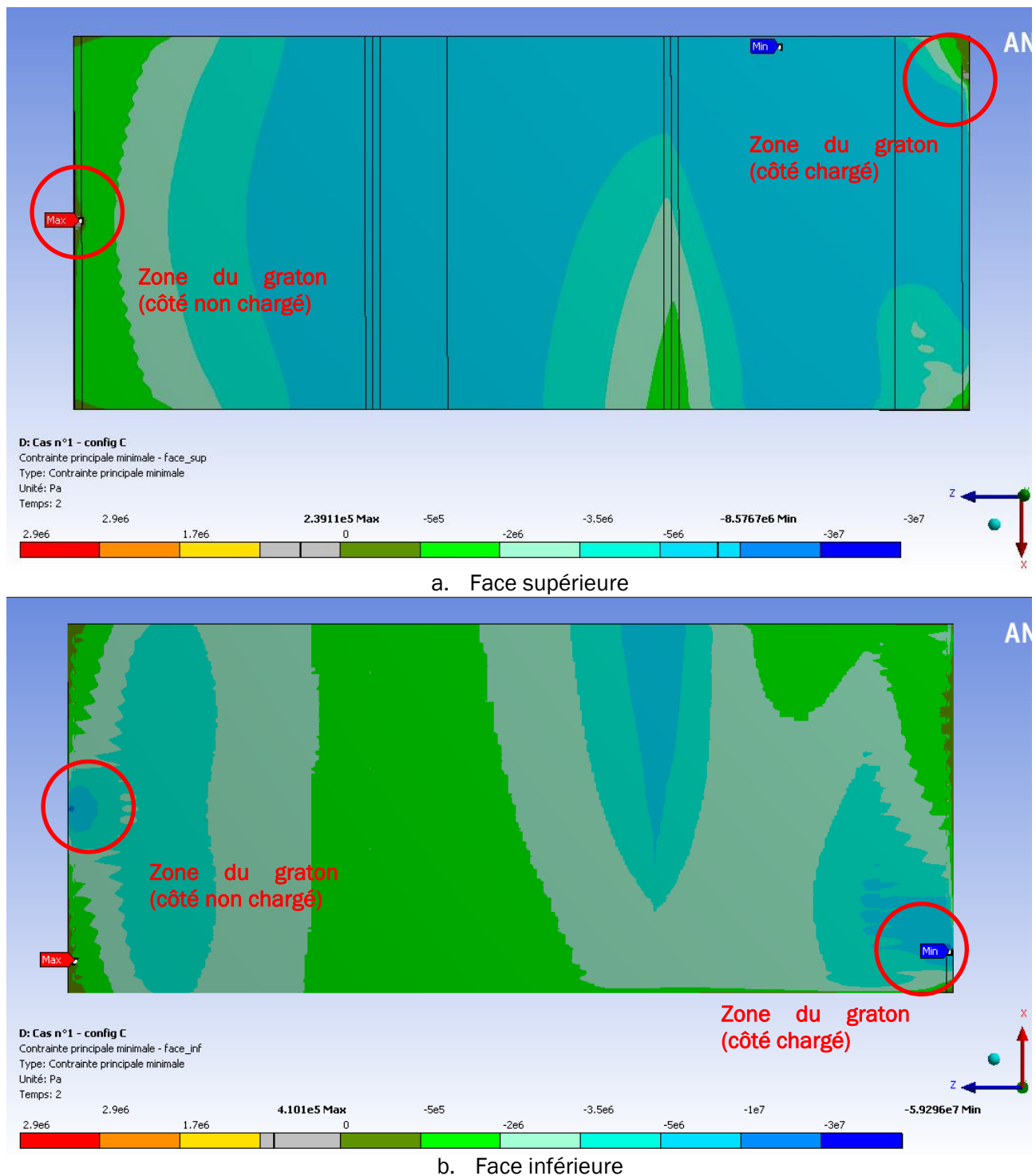


Figure 29 : Contraintes principales minimales – configuration C

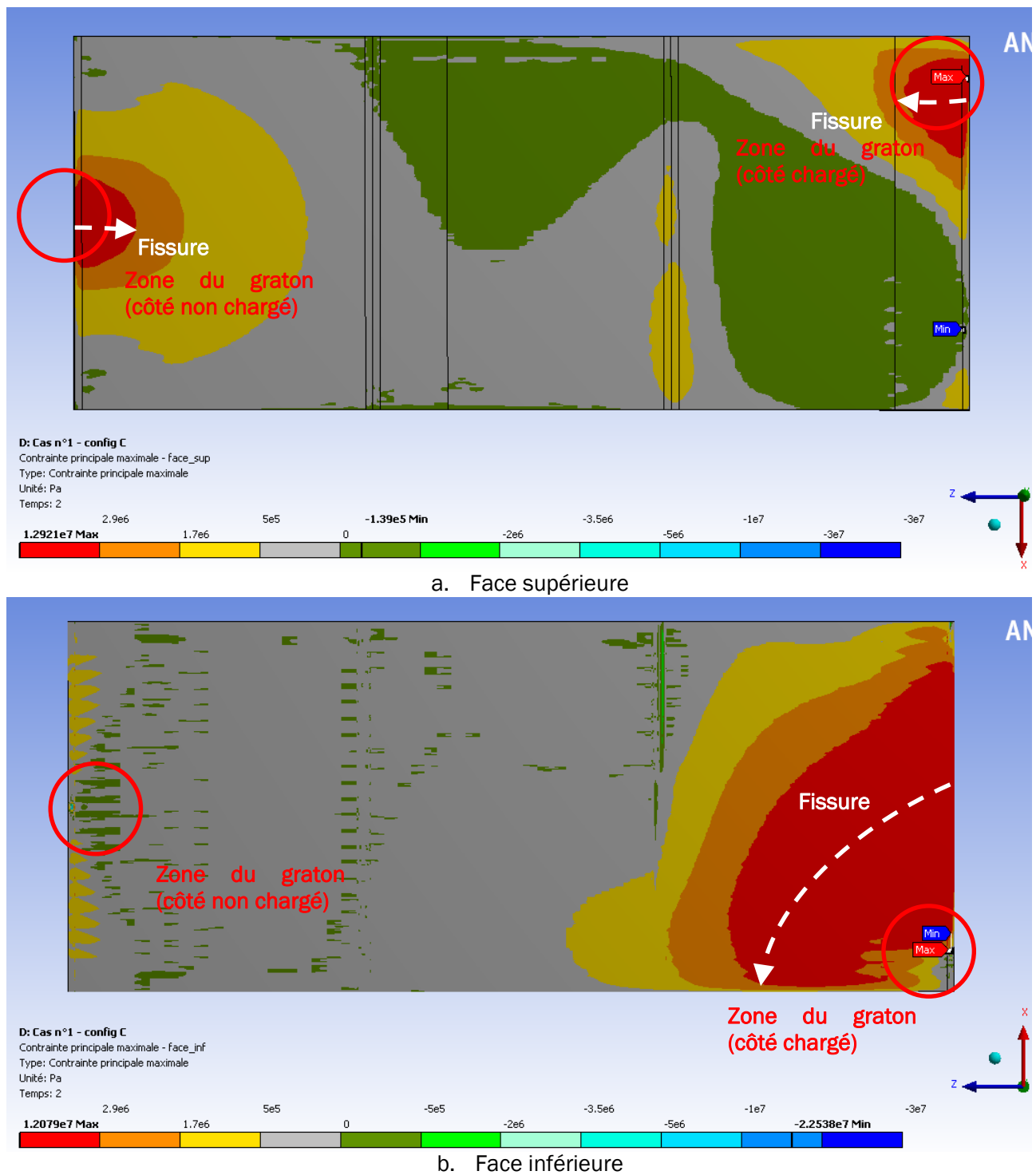


Figure 30 : Contraintes principales maximales – configuration C

Au vu des intensités des contraintes principales maximales (Figure 30) la configuration C est identique à la configuration A (avec 12.9 MPa en face supérieure et 12.1 MPa en face inférieure) et n'est donc pas plus pénalisante que la configuration B (24.3 MPa en face supérieure). Autrement dit, l'introduction d'un deuxième graton se situant à l'opposé de la travée chargée ne perturbe pas l'état de contrainte dimensionnant de la travée chargée par rapport à la configuration A. Ainsi en observant sur cette figure la travée chargée (zone étudiée), les deux fissures de la configuration A sont également visibles sur cette configuration C avec l'une en face supérieure au niveau du graton (côté chargé), et l'autre en face inférieure se situant entre le graton (côté chargé) et l'appui partiel du mur, provoquée par une flexion transversale importante.

A.1.2 Configuration D : Gratons sur le mur gauche (côté non chargé) dans l'axe de la prédalle et sur le mur droit (côté chargé) dans l'axe de la prédalle

En analysant les différentes figures (Figure 31 à Figure 35), nous observons que la répartition des contraintes de cette configuration est l'union de la répartition des contraintes de la configuration C pour la zone du graton centré (côté non chargé) et de celle de la configuration B du graton centré (côté chargé).

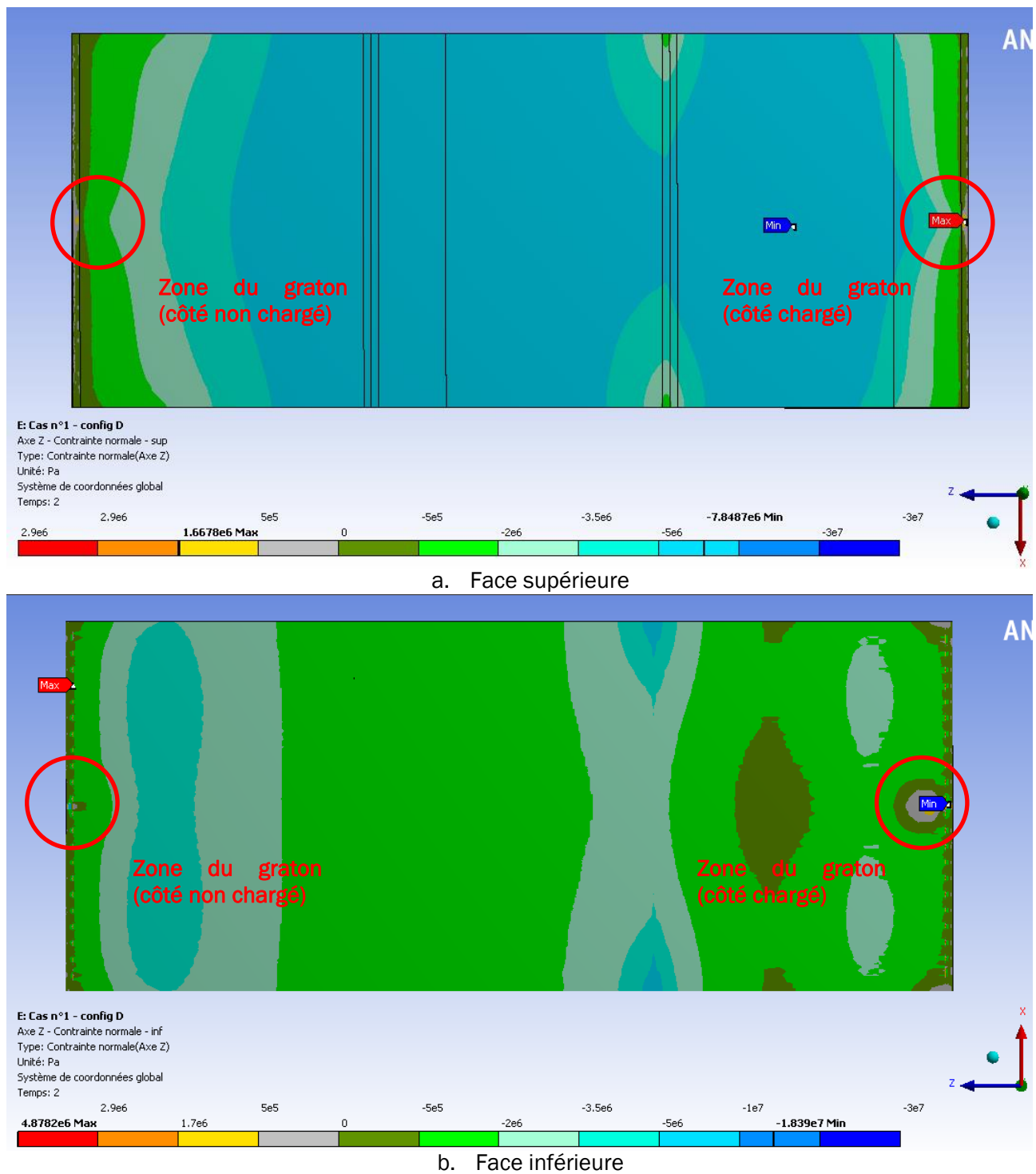


Figure 31 : Contrainte longitudinale σ_{zz} – configuration D

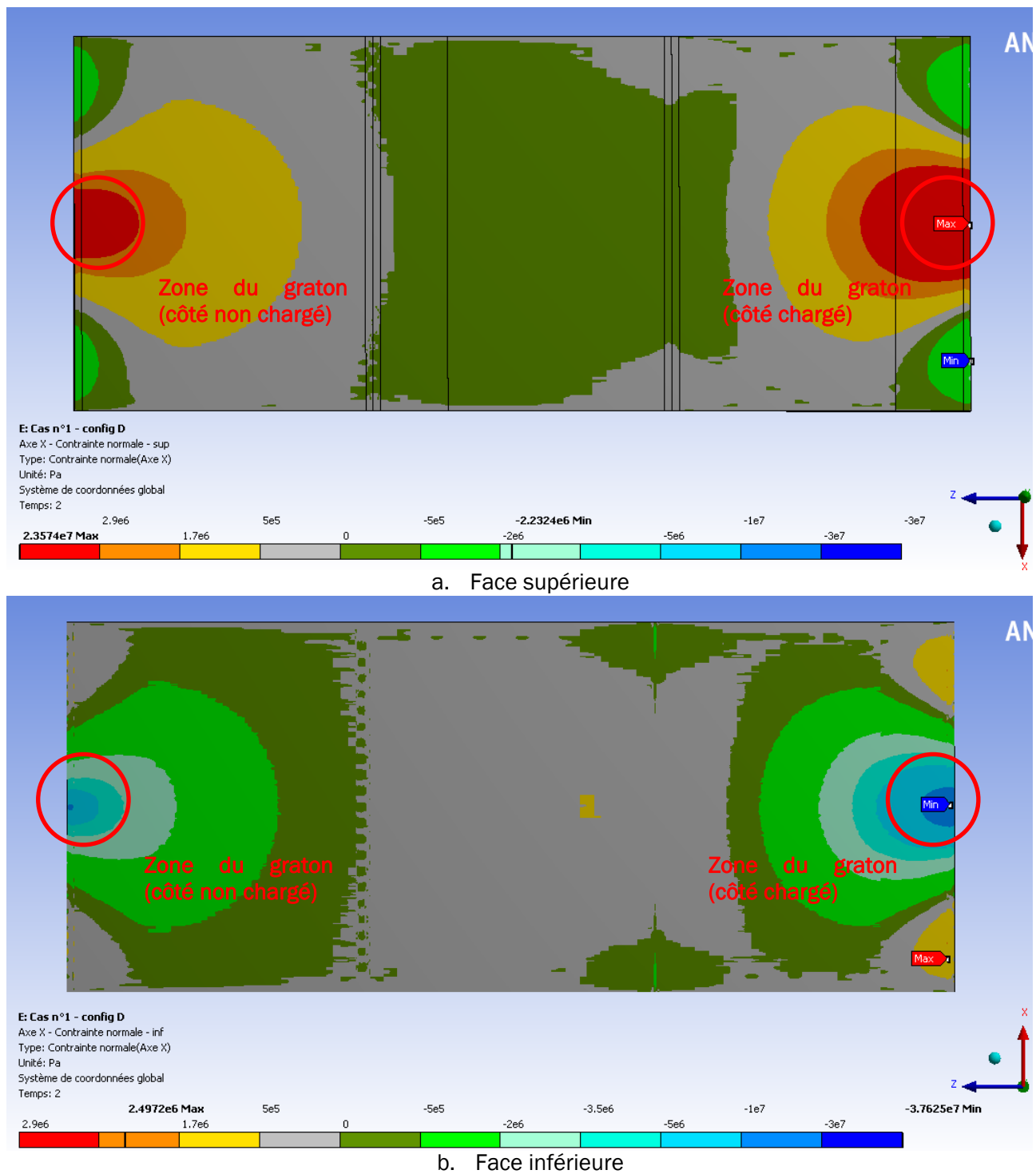


Figure 32 : Contrainte transversale σ_{xx} – configuration D

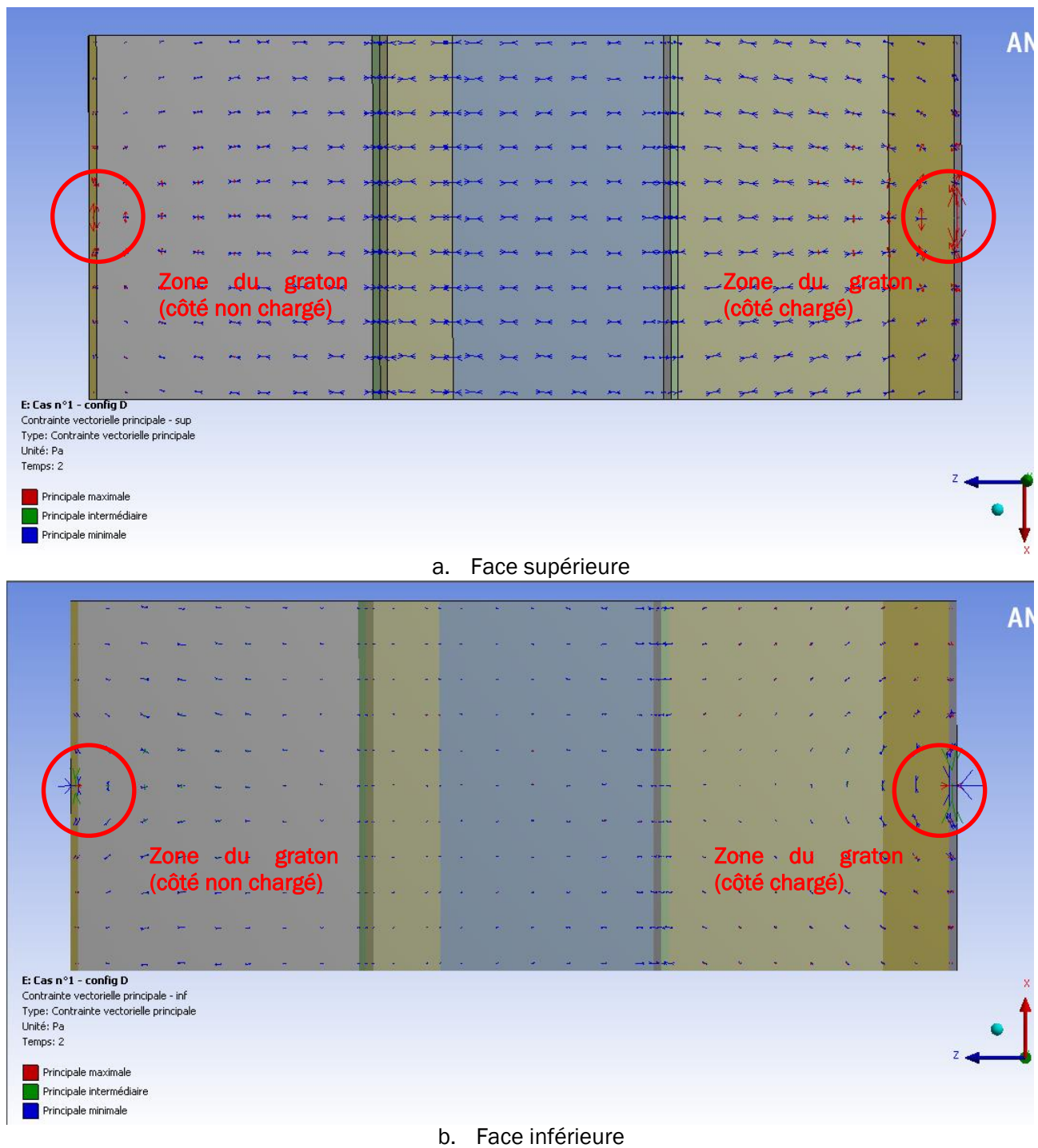


Figure 33 : Contraintes vectorielles principales – configuration D

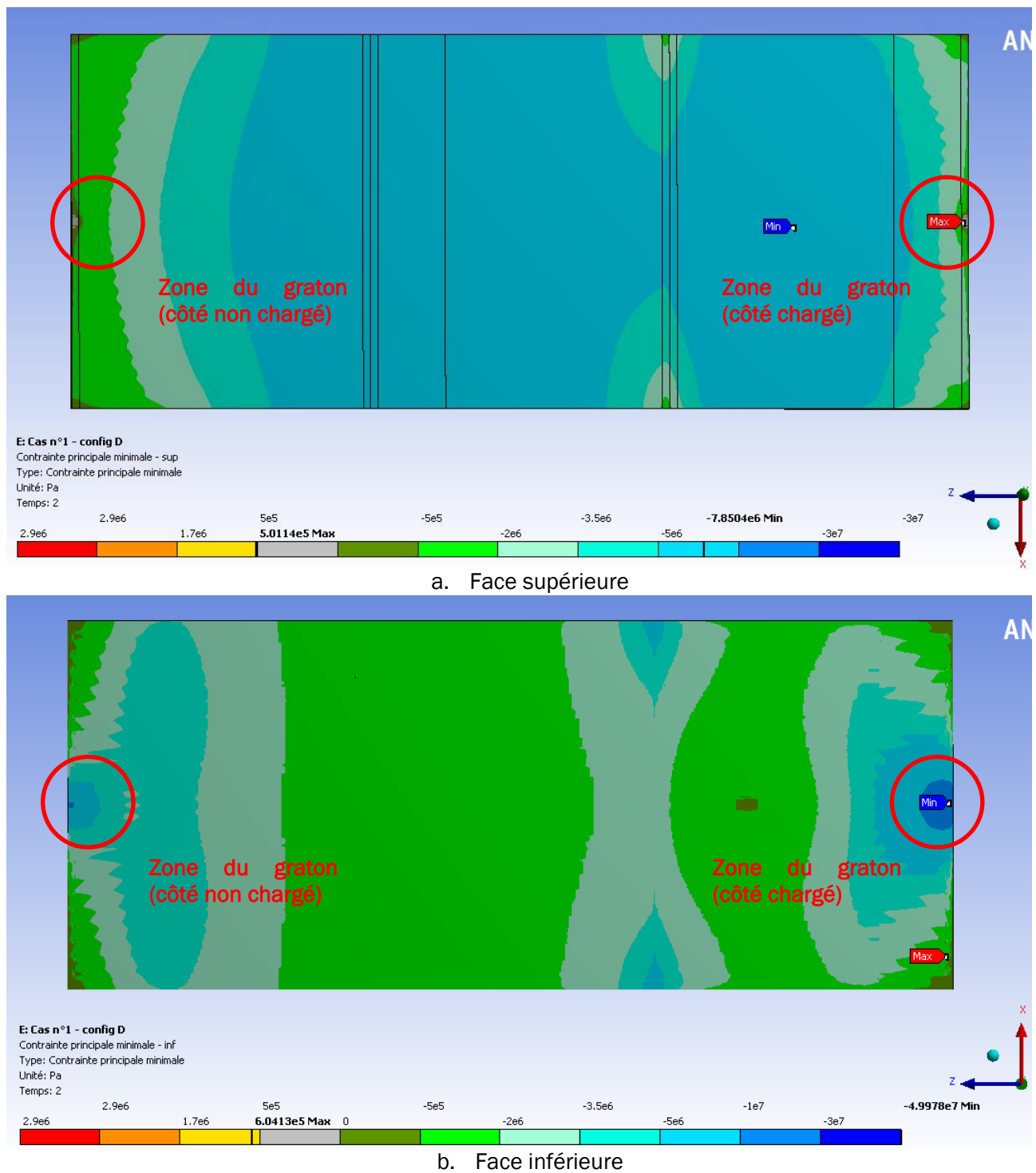
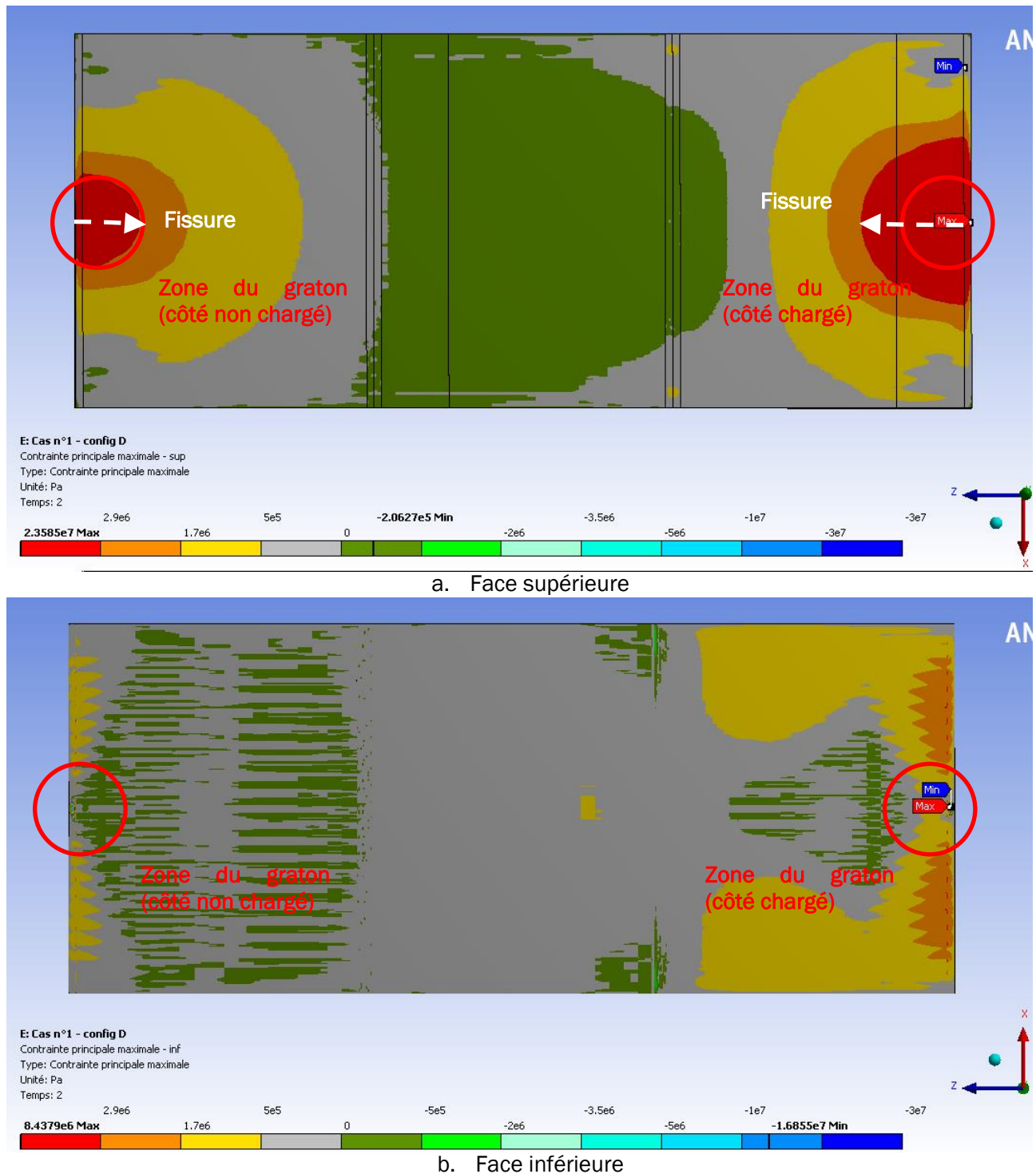


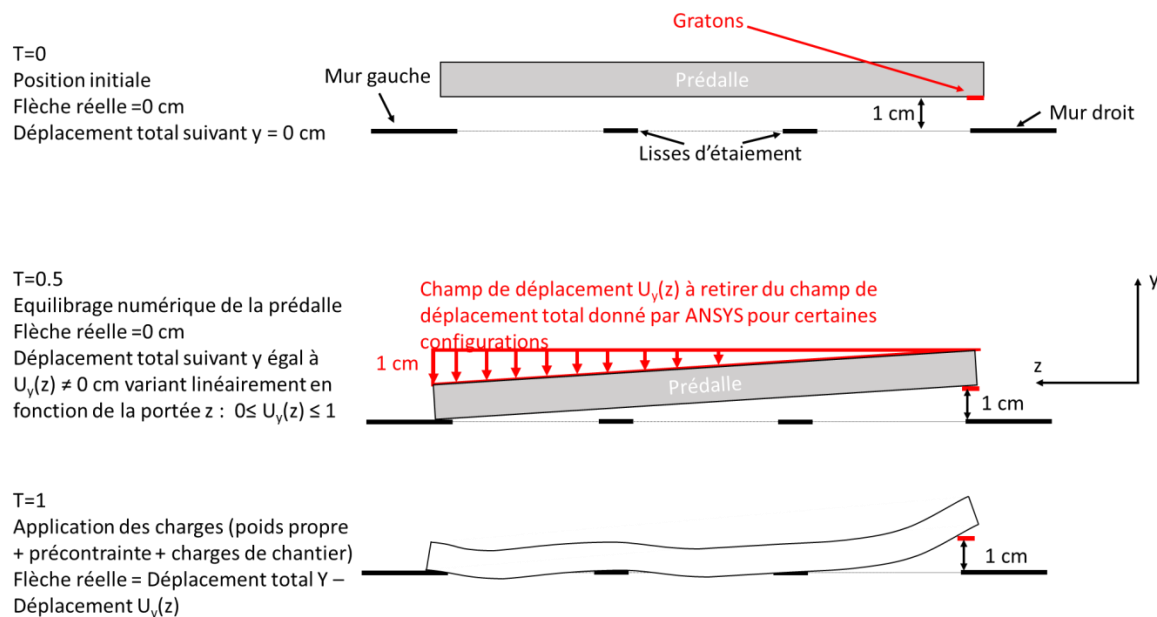
Figure 34 : Contraintes principales minimales – configuration D



Concernant les intensités des contraintes principales maximales (Figure 35), la face supérieure permet d'observer une contrainte maximale de 23.6 MPa tandis que la face inférieure ne fait apparaître aucune fissure. Comme pour la configuration C, l'introduction d'un deuxième graton se situant à l'opposé de la travée chargée ne perturbe pas l'état de contrainte dimensionnant de la travée chargée par rapport à la configuration B.

A.1.3 Déplacements de la prédalle

L'interprétation des cartes de déplacement suivantes est particulière. Effectivement les déplacements suivant la direction Y ci-dessous correspondent aux déplacements totales de la prédalle lors de l'analyse numérique. Hors afin de représenter au mieux la réalité de pose des prédalles sur chantier, une approche particulière a été réalisée numériquement et est exposée sur la figure ci-dessous en reprenant le cas d'une configuration avec un seul graton (comme la configuration A ou B) :



Pour résumé, l'interprétation des déplacements suivant la direction Y pour chaque configuration est la suivante :

Configuration étudiée	Flèche réelle de la prédalle =
Référence	Déplacement total - 1 cm
Configuration A : Graton au bord (côté chargé)	Déplacement total - $U_y(z)$
Configuration B : Graton au centre (côté chargé)	Déplacement total - $U_y(z)$
Configuration C : Graton au centre (côté non chargé) + graton au bord (côté chargé)	Déplacement total
Configuration D : Graton au centre (côté non chargé) + graton au centre (côté chargé)	Déplacement total
E (appuis sur lisses d'étalement uniquement)	Déplacement total - 1 cm

Où le déplacement total est le déplacement lu directement sur les cartes de déplacement ci-après et $U_y(z)$ est le champ de déplacement exposé dans la figure ci-dessus à retirer pour certaine configuration du déplacement total.

Référence

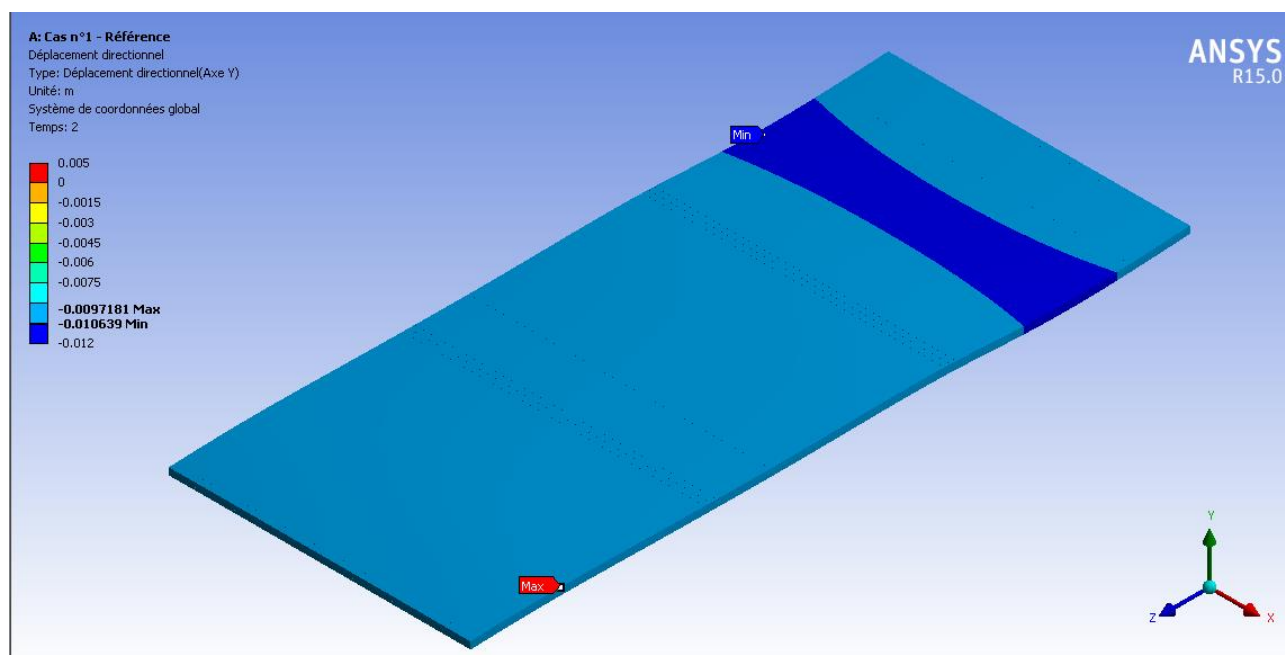


Figure 36 : Déplacement en m de la prédalle suivant la direction y – référence

Configuration A : Graton sur le bord du mur droit

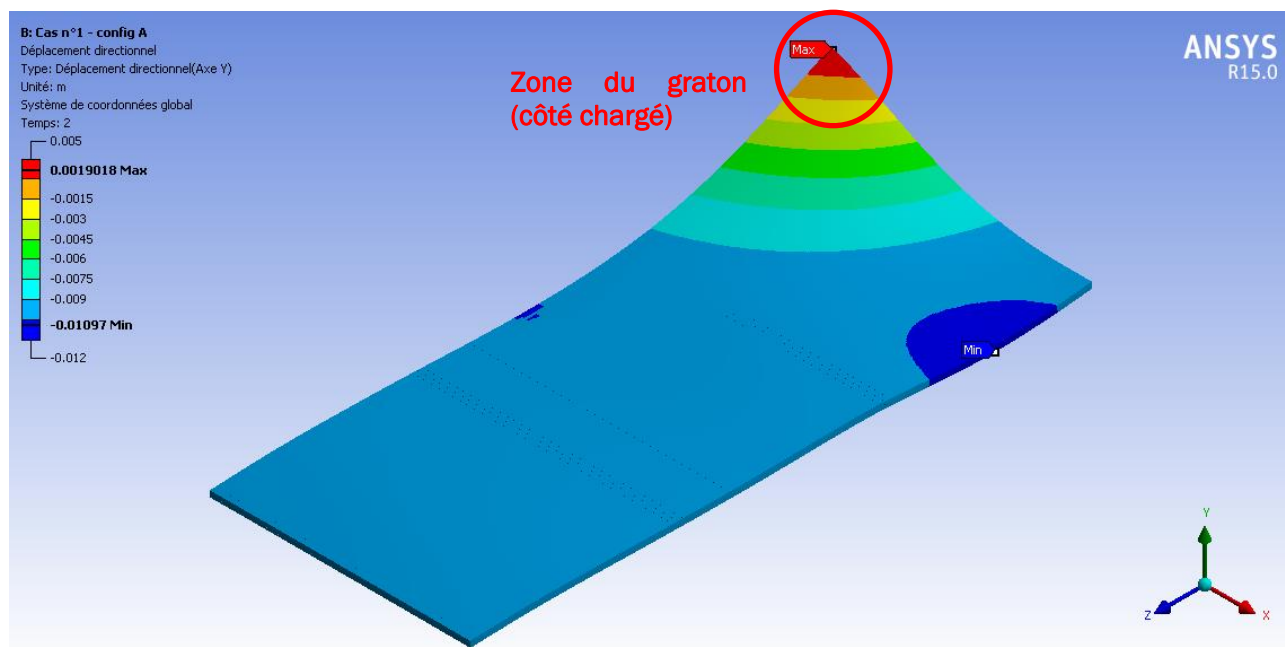


Figure 37 : Déplacement en m de la prédalle suivant la direction y – configuration A

Configuration B : Graton sur le mur droit dans l'axe de la prédalle

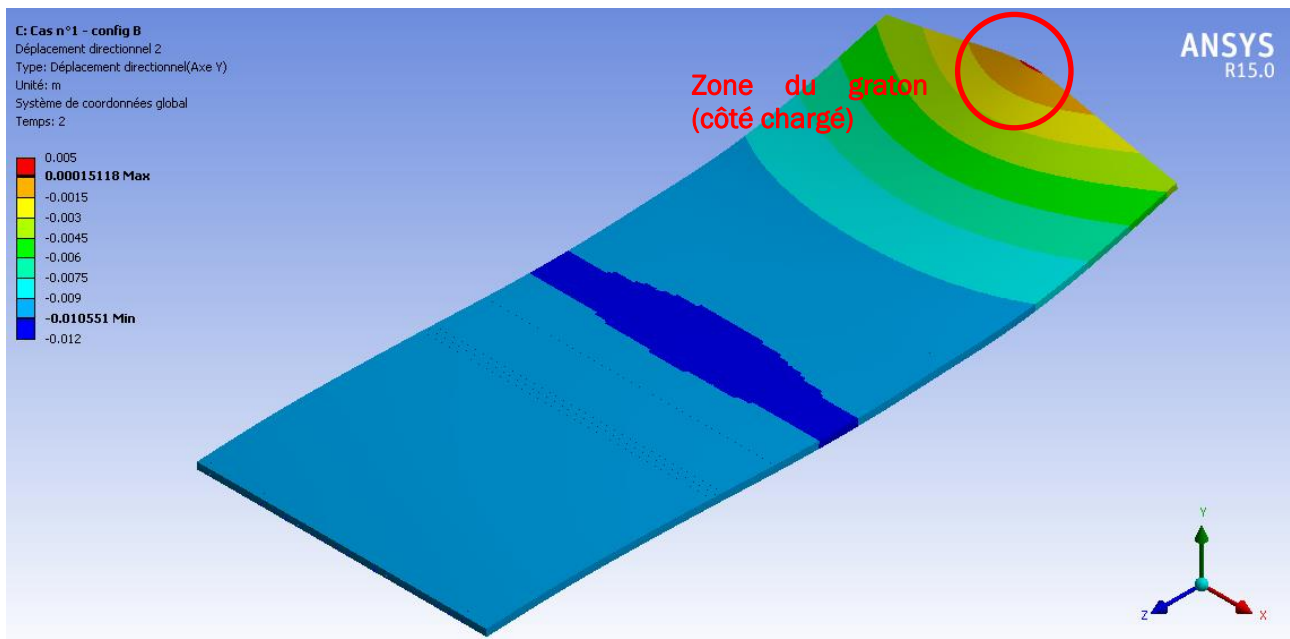


Figure 38 : Déplacement en m de la prédalle suivant la direction y – configuration B

Configuration C : Gratons sur le mur gauche dans l'axe de la prédalle et au bord du mur droit

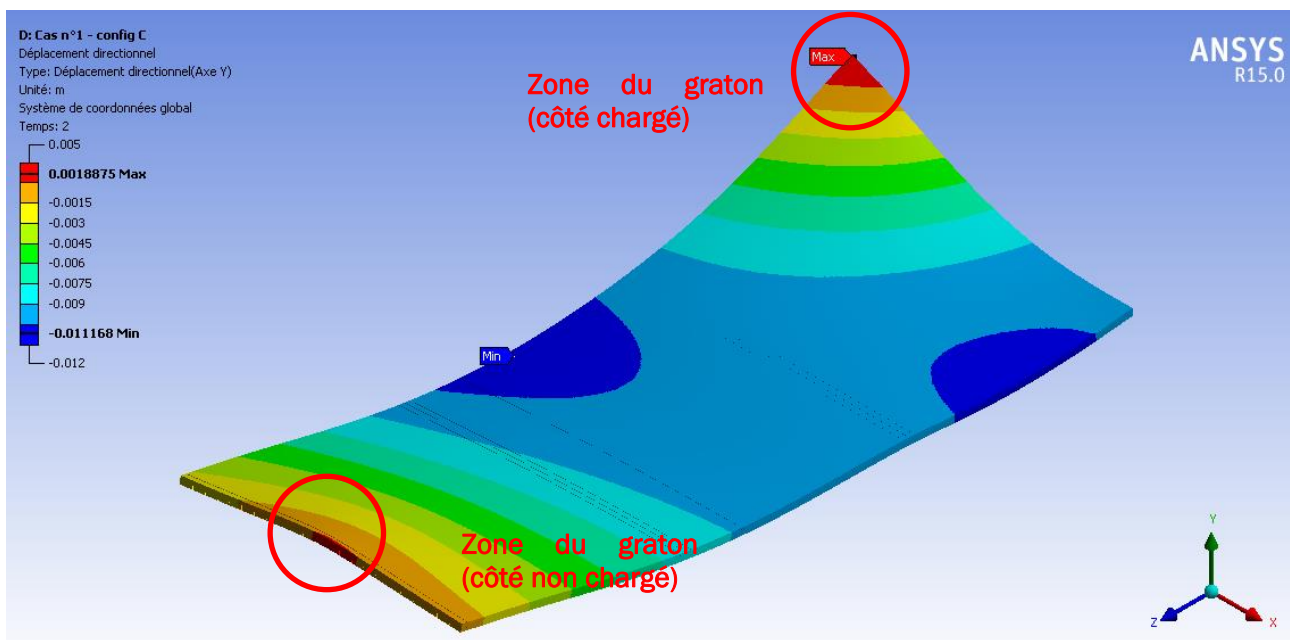


Figure 39 : Déplacement en m de la prédalle suivant la direction y – configuration C

Configuration D : Gratons sur les deux murs chacun dans l'axe de la prédalle

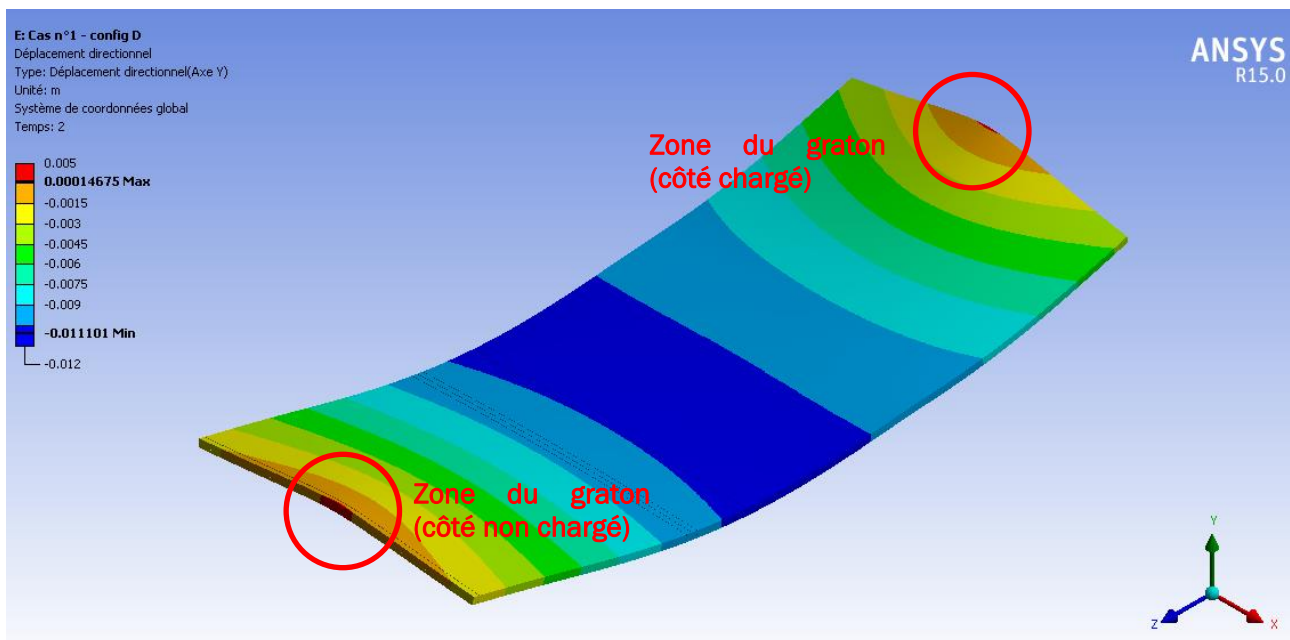


Figure 40 : Déplacement en m de la prédalle suivant la direction y – configuration D

Configuration E : Pose avec lisses de rive

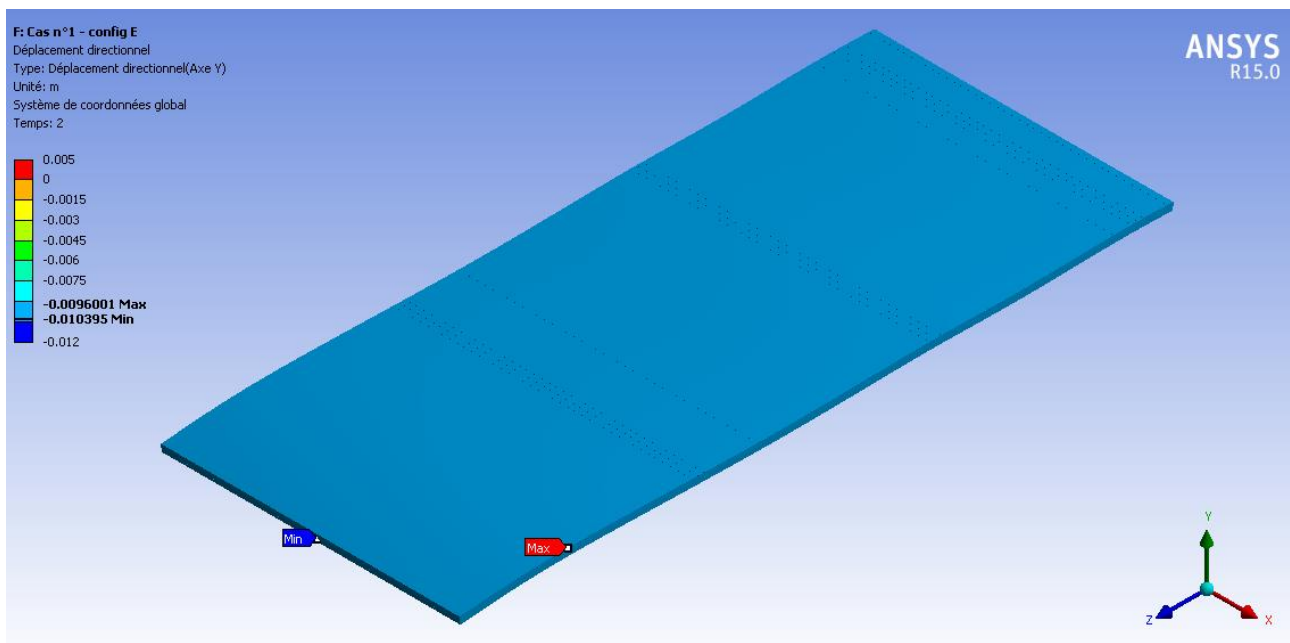


Figure 41 : Déplacement en m de la prédalle suivant la direction y – configuration E

Annexe 2 – Cas de charge n°3

En analysant l'ensemble des configurations pour ce cas de charge n°3, les conclusions sont les mêmes que pour le cas de charge n°1. La principale différence avec le cas de charge n°1 est l'apparition légitime d'une troisième zone très sollicitée sur une ligne d'étais étant donné un chargement différemment réparti et plus sollicitant en flexion négative (contrainte sur appui en face supérieure).

Référence

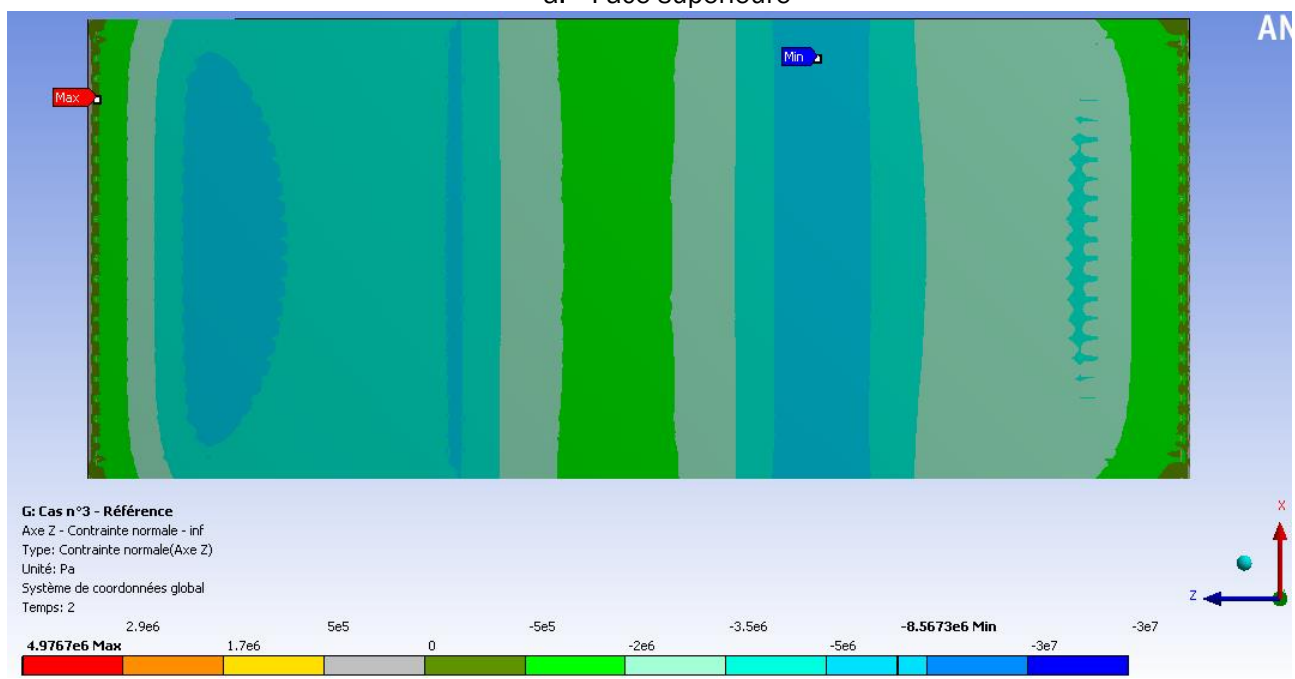
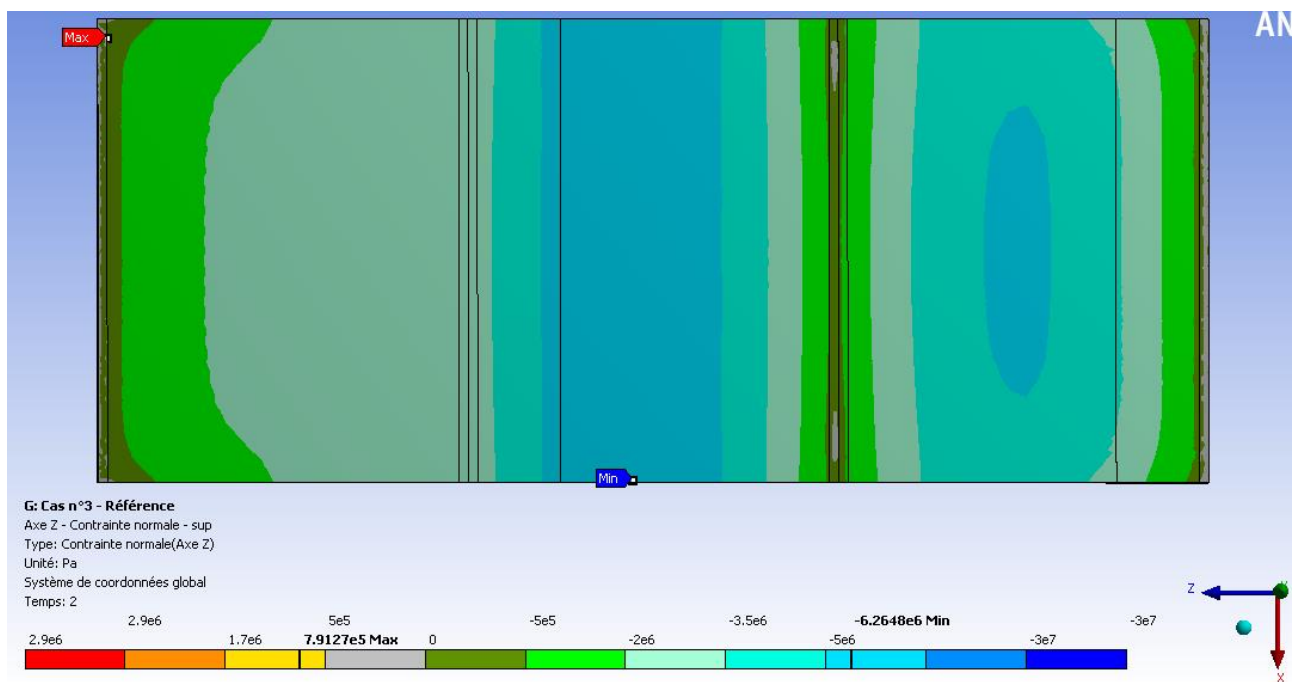
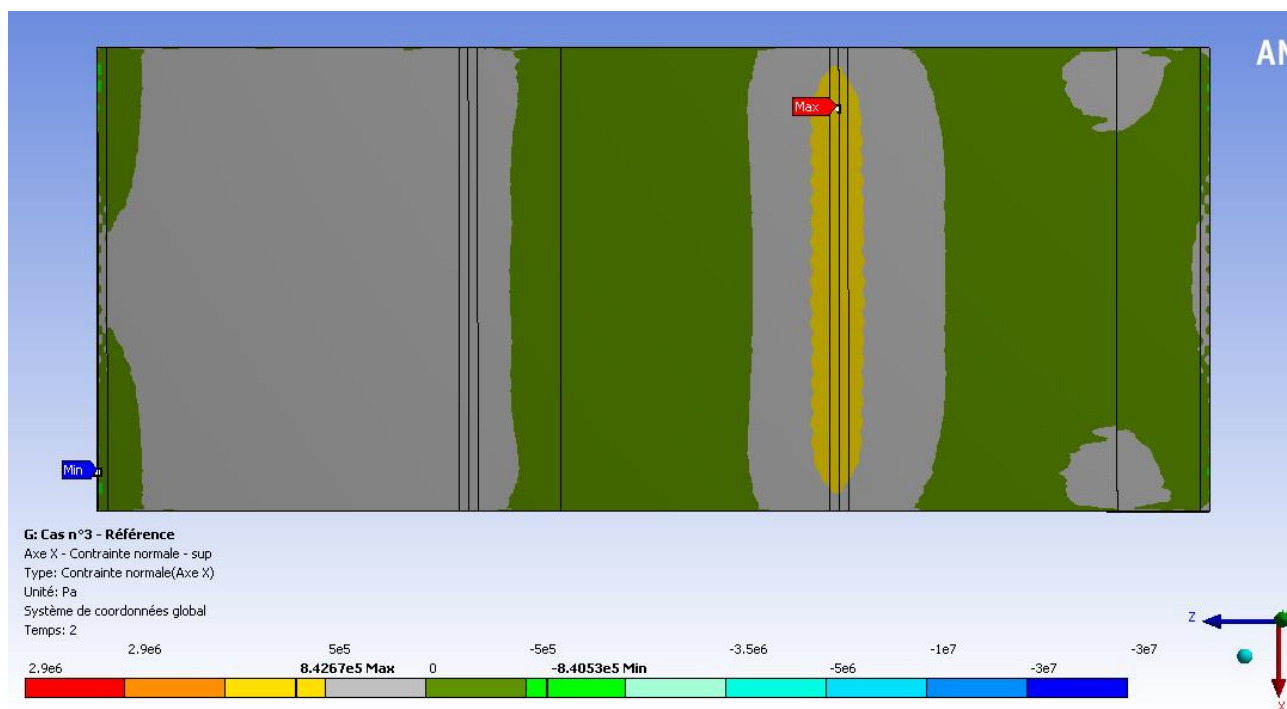
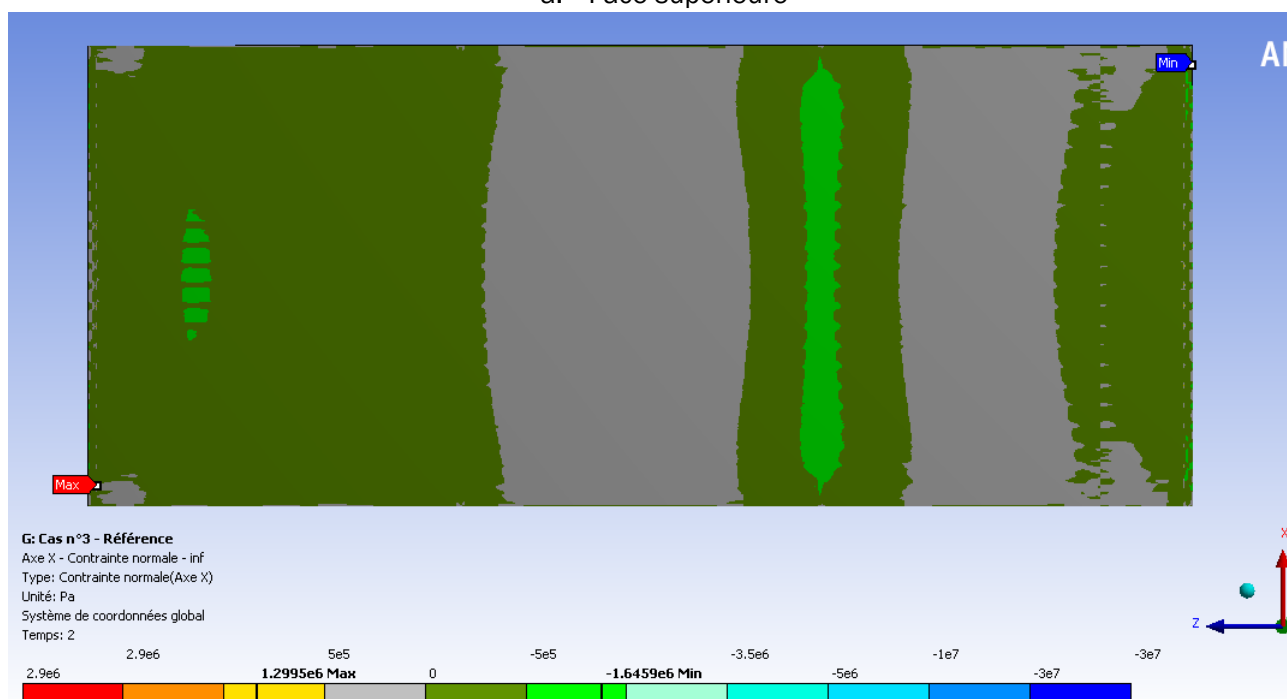


Figure 42 : Contrainte longitudinale σ_{zz} – référence



a. Face supérieure



b. Face inférieure

Figure 43 : Contrainte transversale σ_{xx} – référence

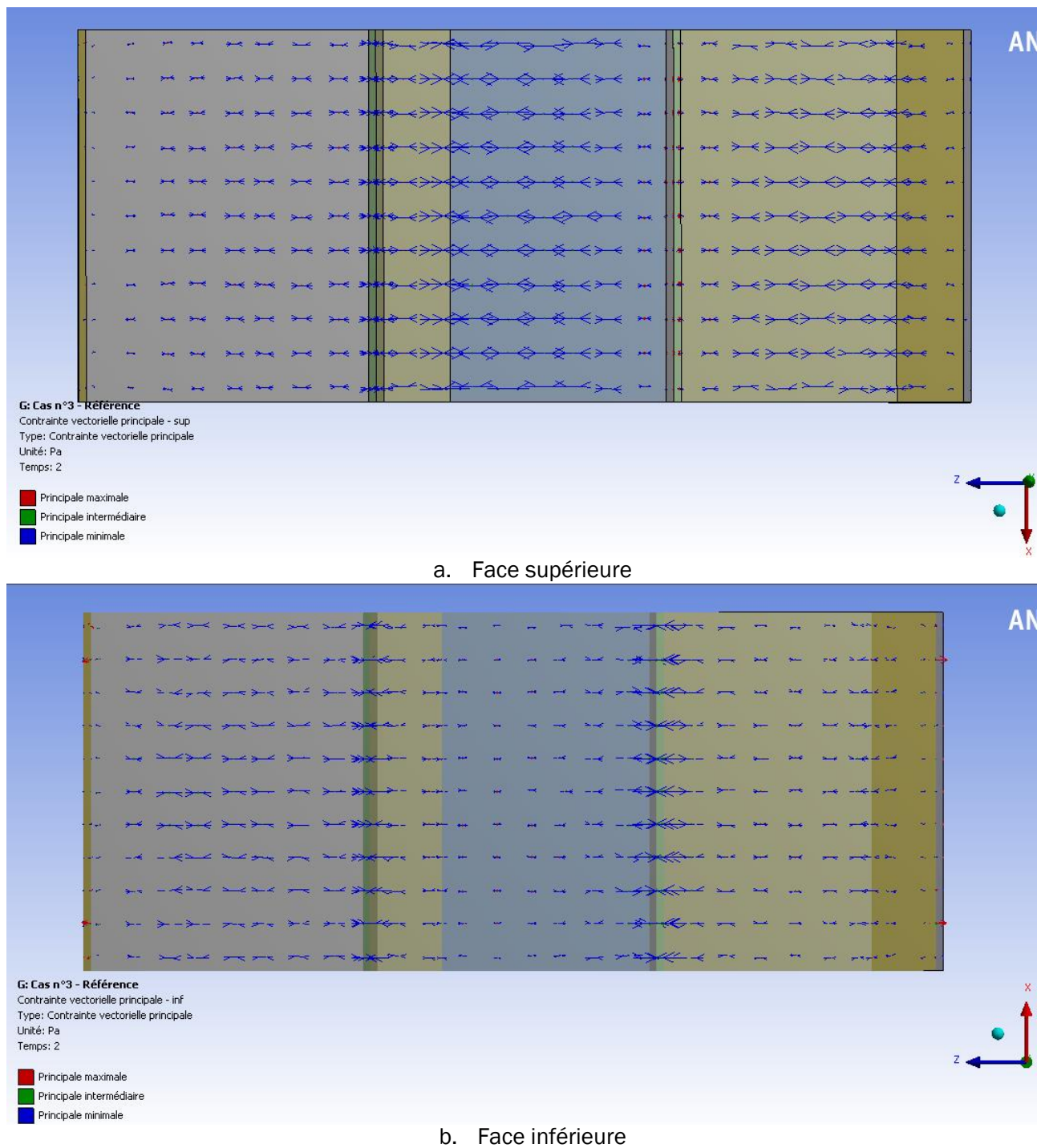


Figure 44 : Contraintes vectorielles principales- référence

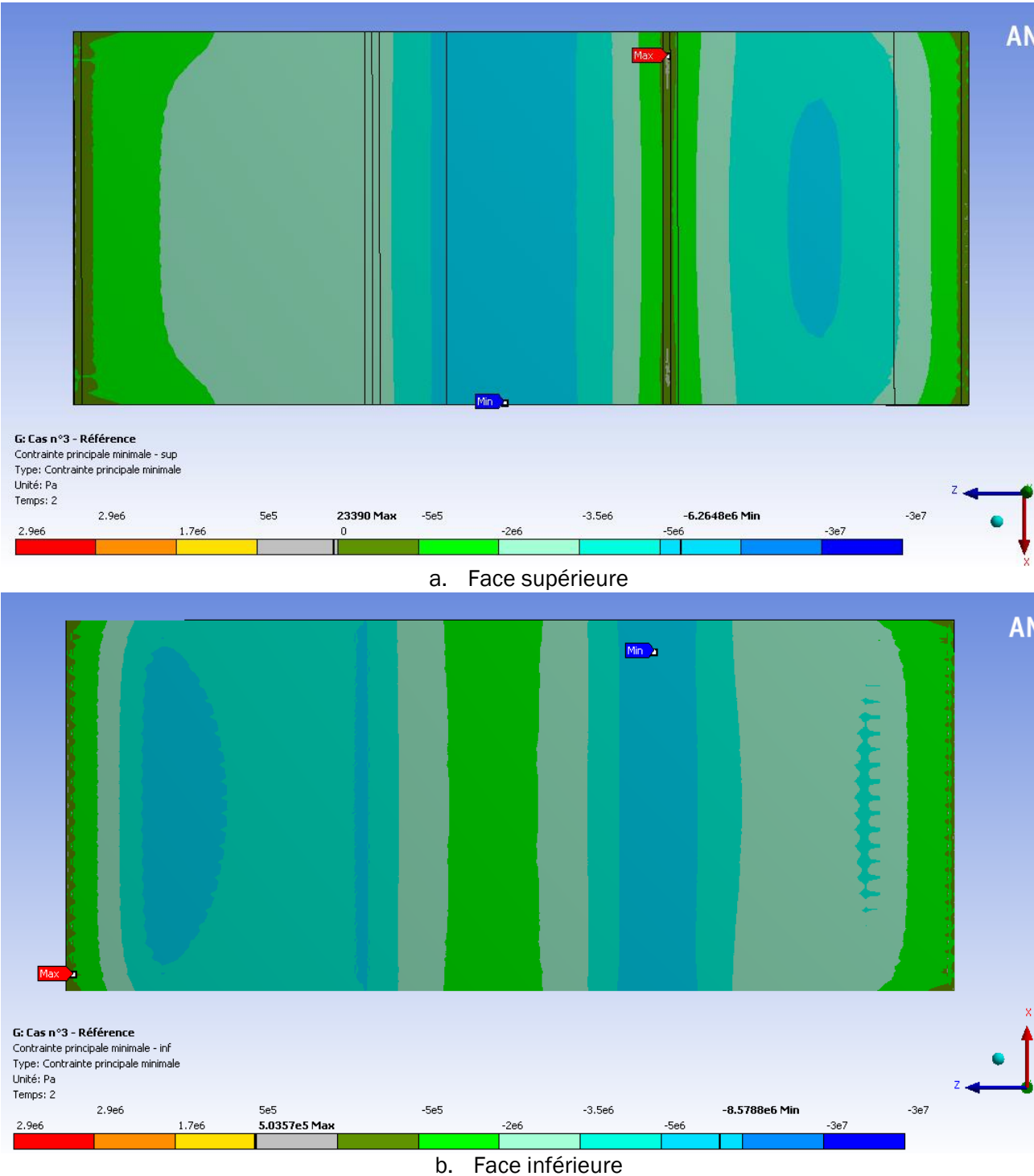


Figure 45 : Contraintes principales minimales – référence

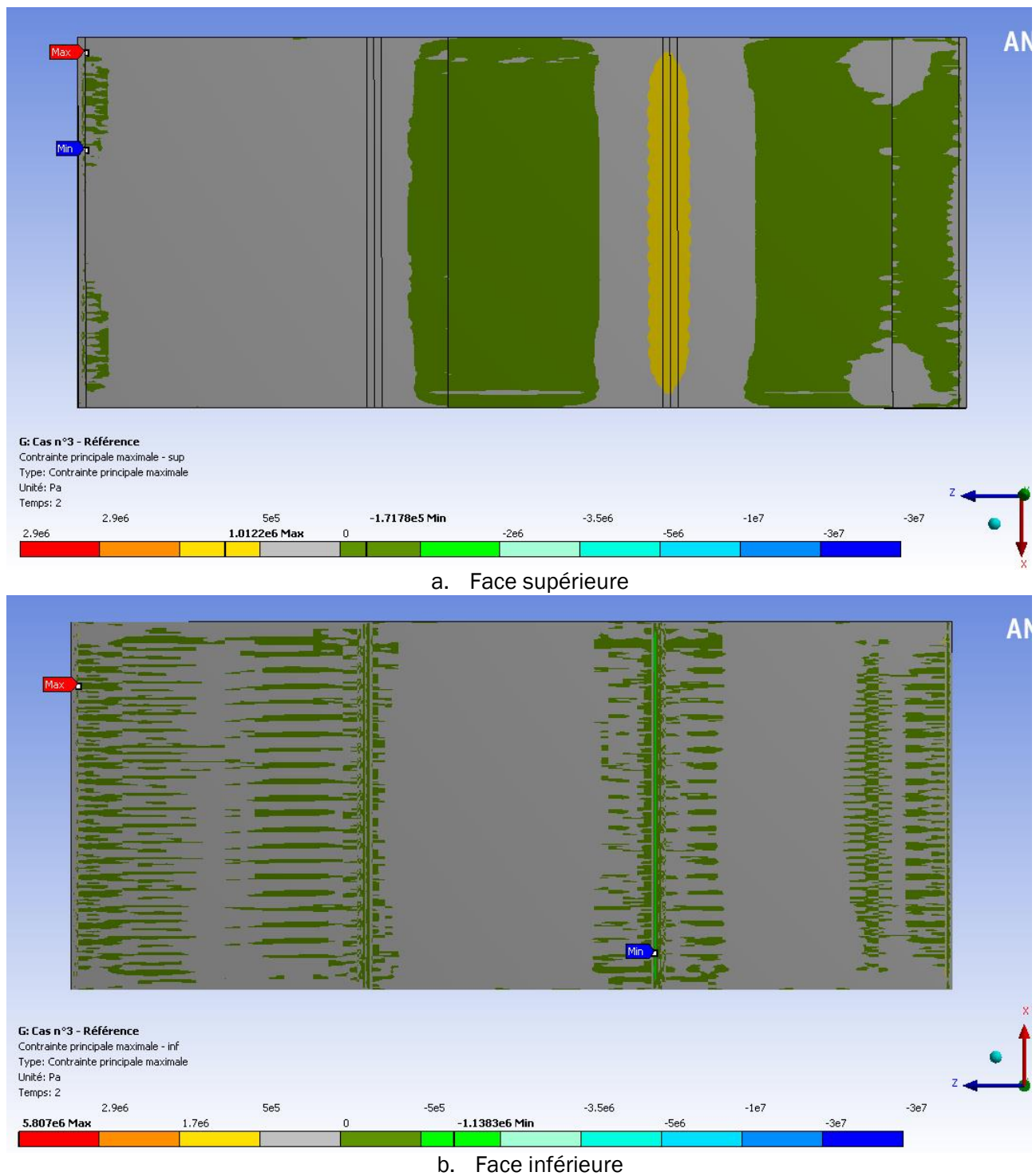


Figure 46 : Contraintes principales maximales – référence

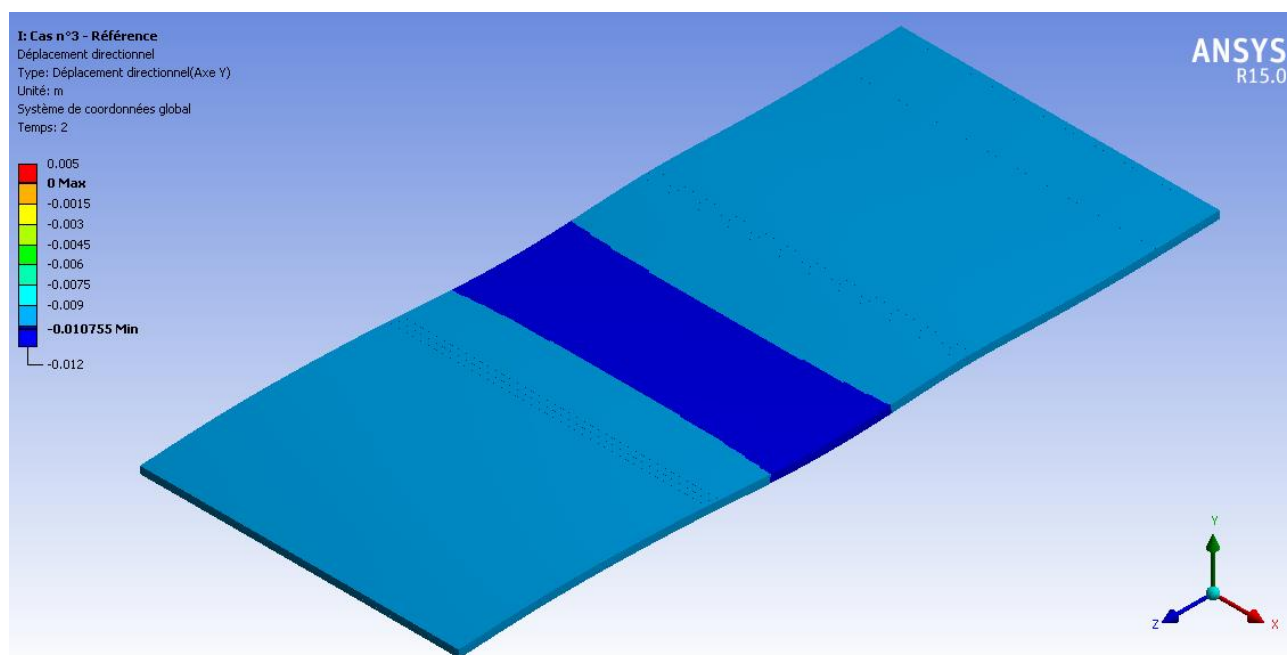


Figure 47 : Déplacement en m de la prédalle suivant la direction y – référence

Configuration A : Graton sur le bord du mur droit

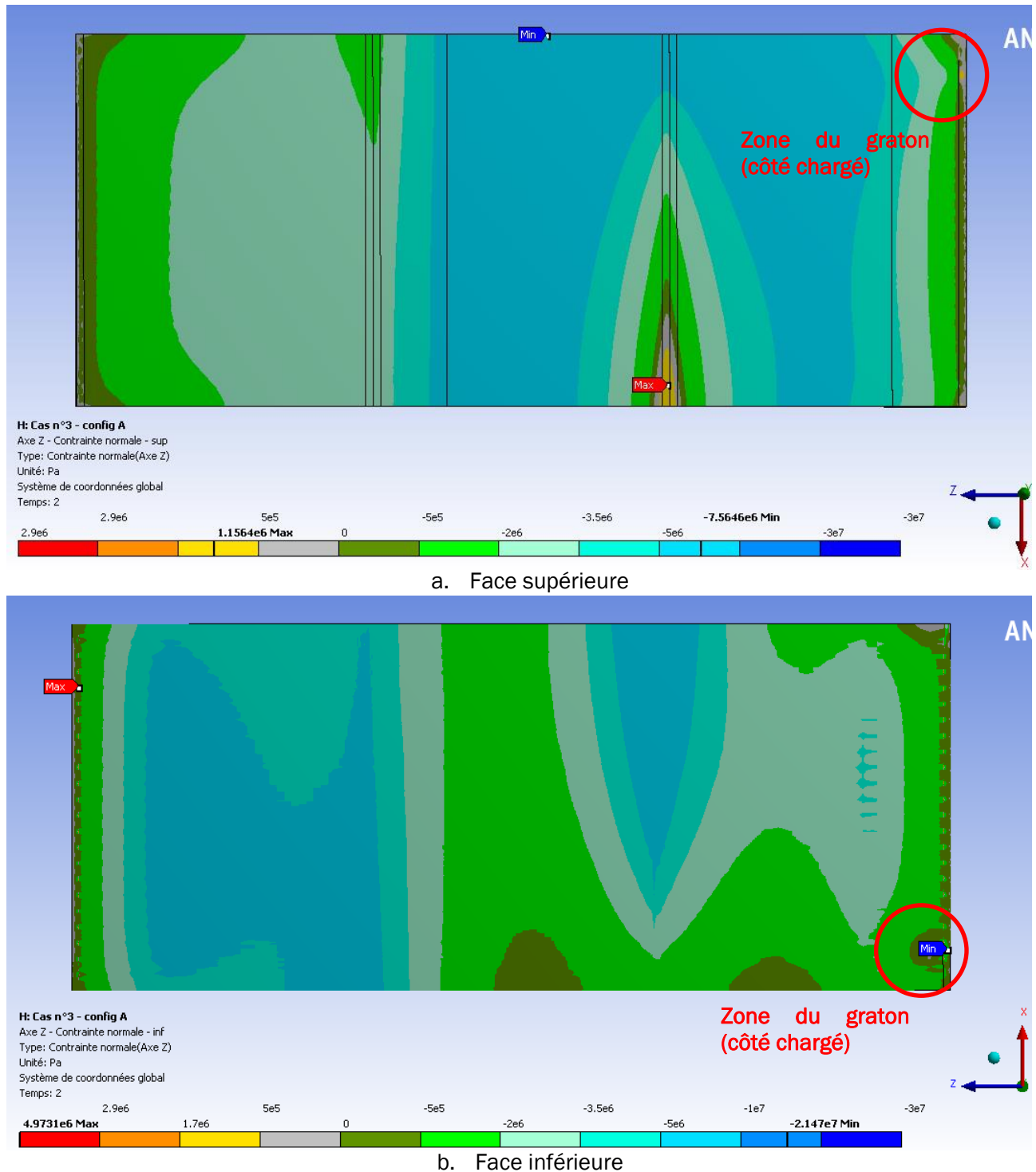


Figure 48 : Contrainte longitudinale σ_{zz} – configuration A

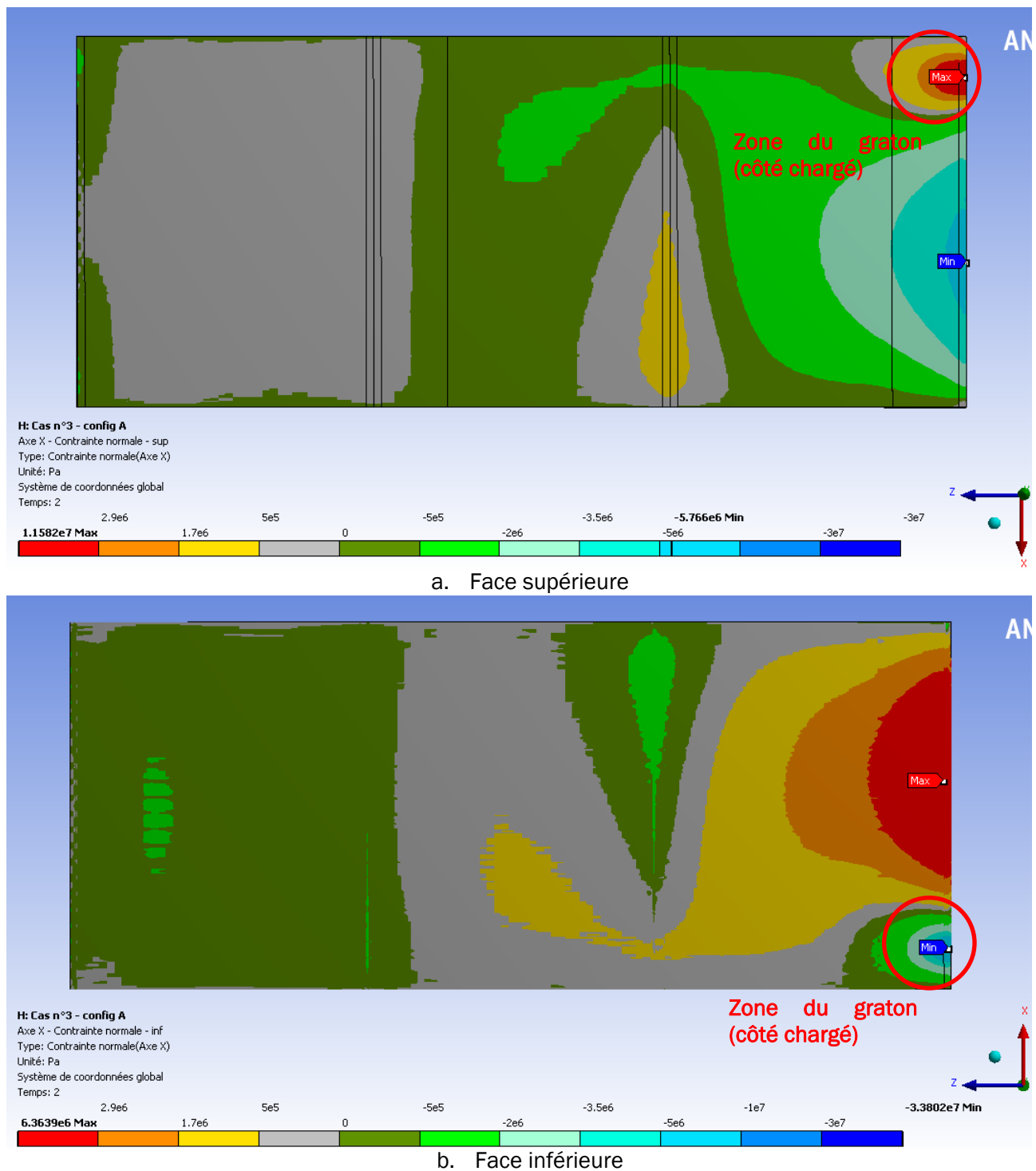


Figure 49 : Contrainte transversale σ_{xx} – configuration A

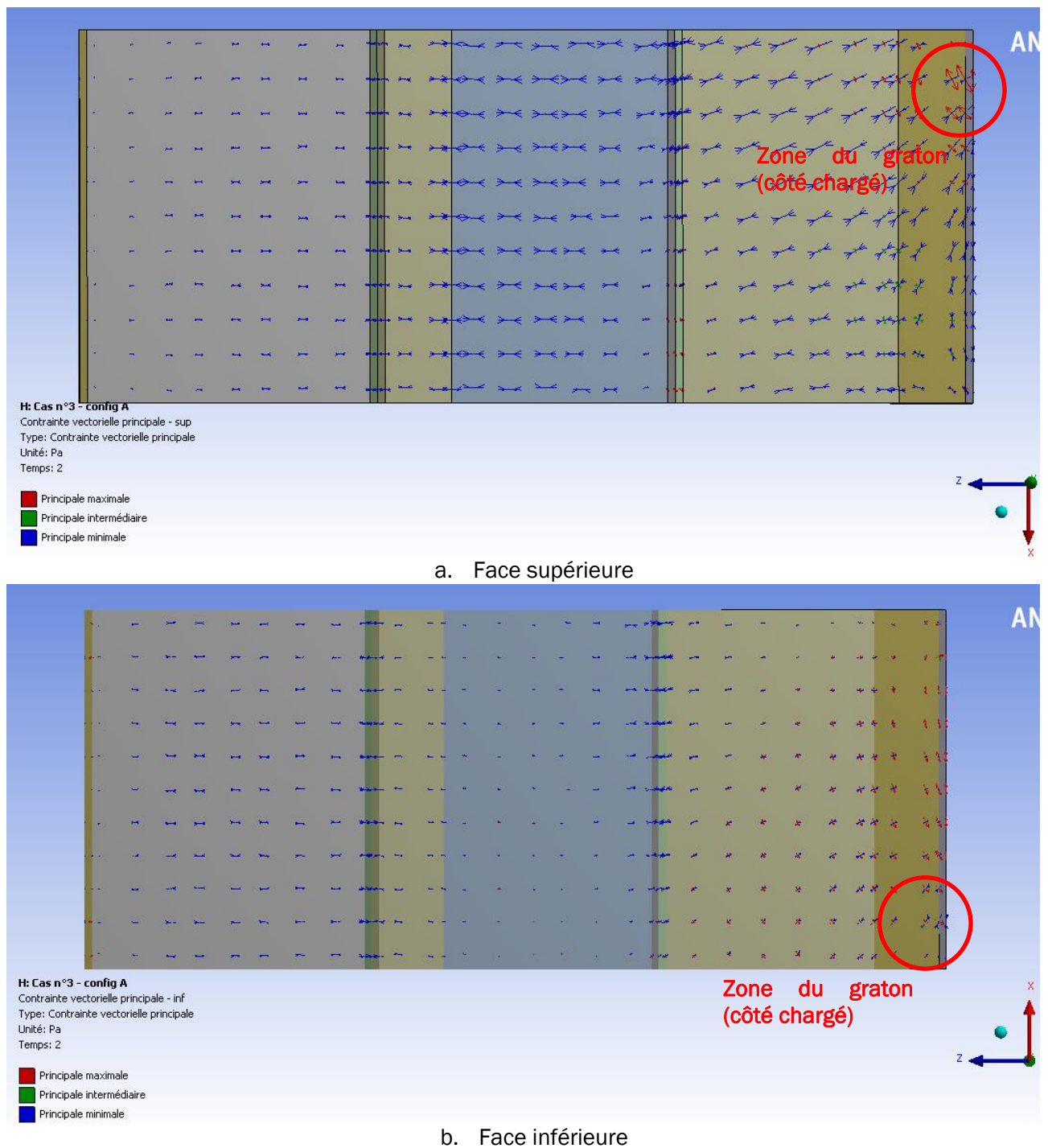


Figure 50 : Contraintes vectorielles principales- configuration A

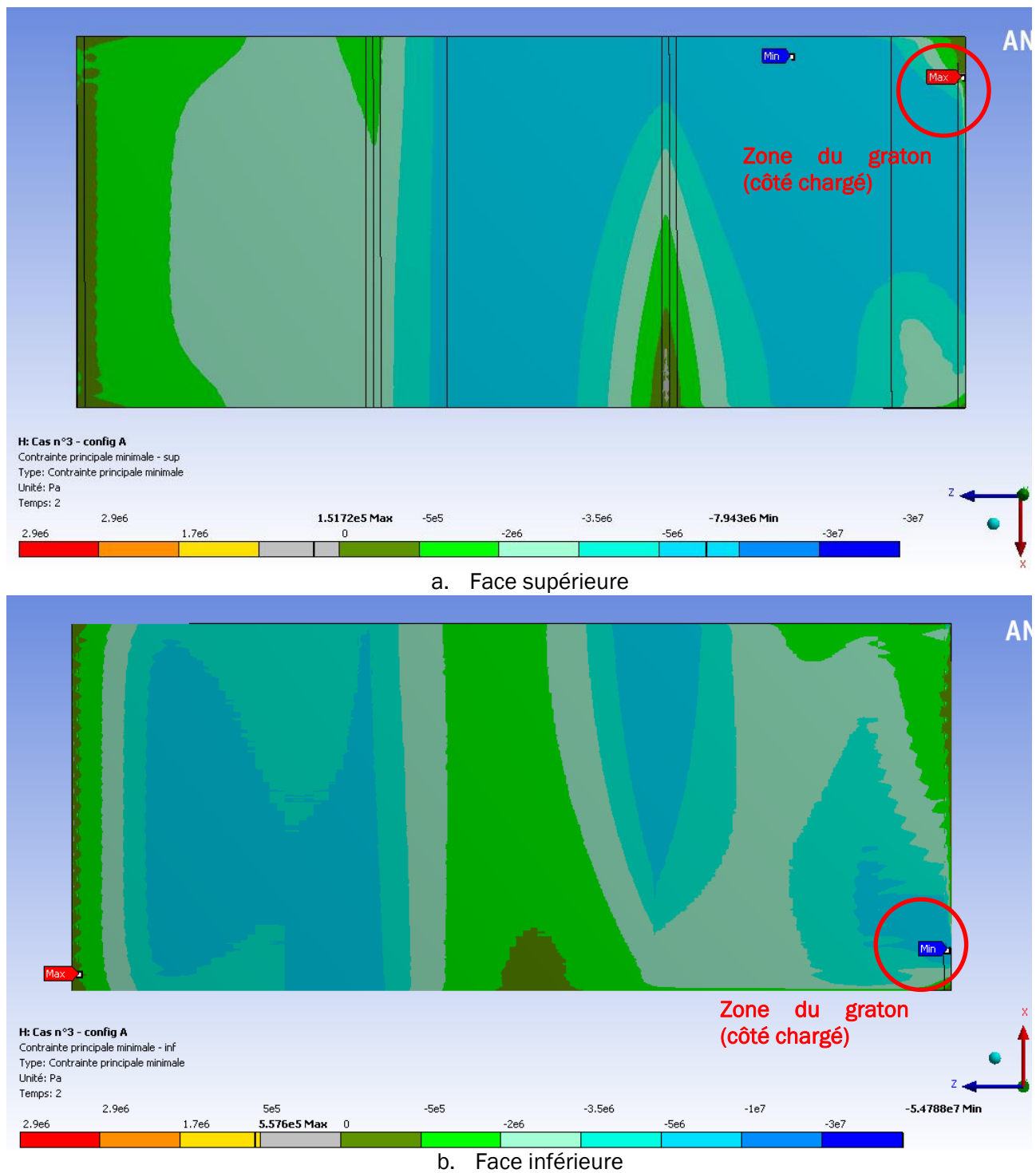


Figure 51 : Contraintes principales minimales- configuration A

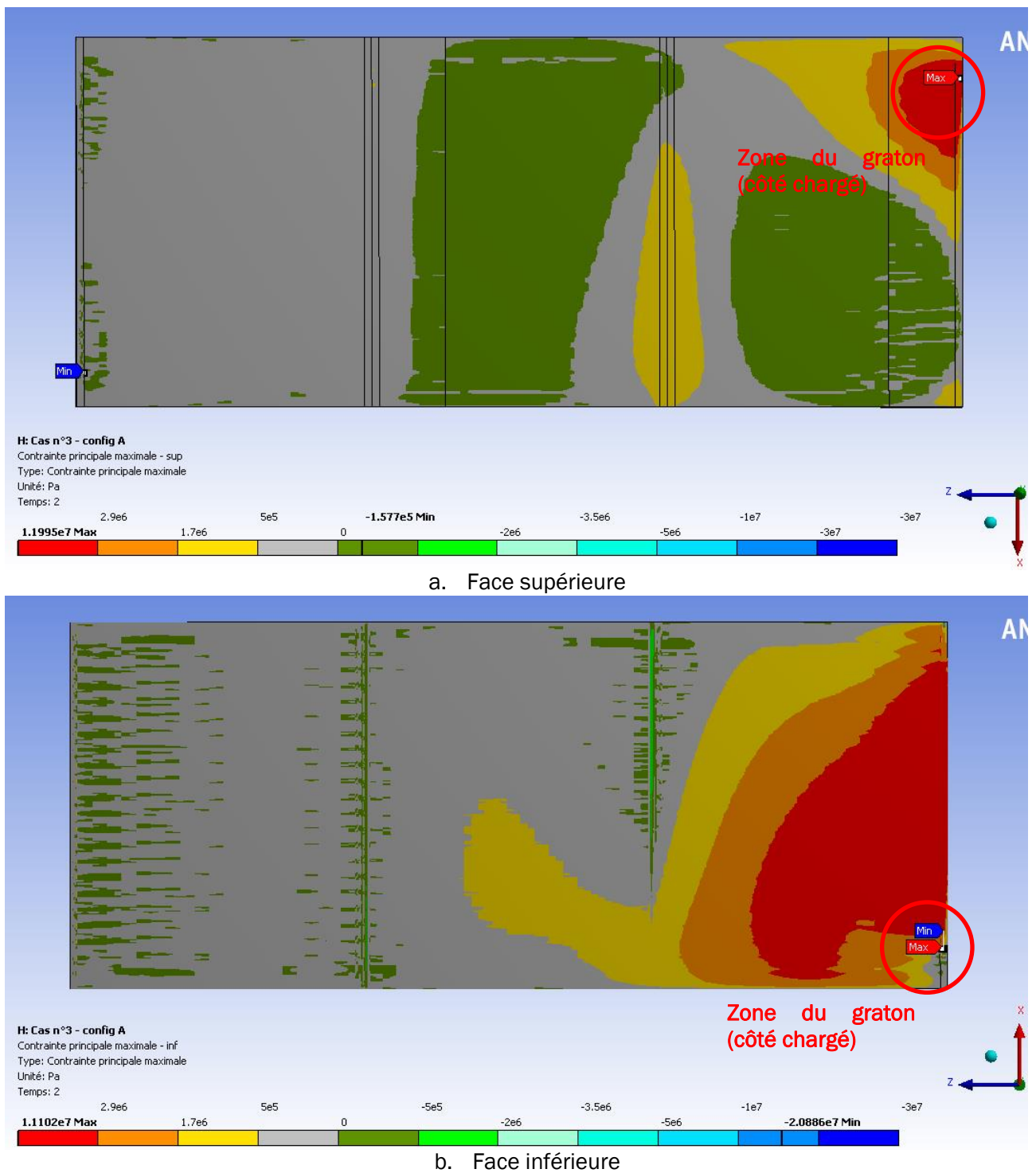


Figure 52 : Contraintes principales maximales- configuration A

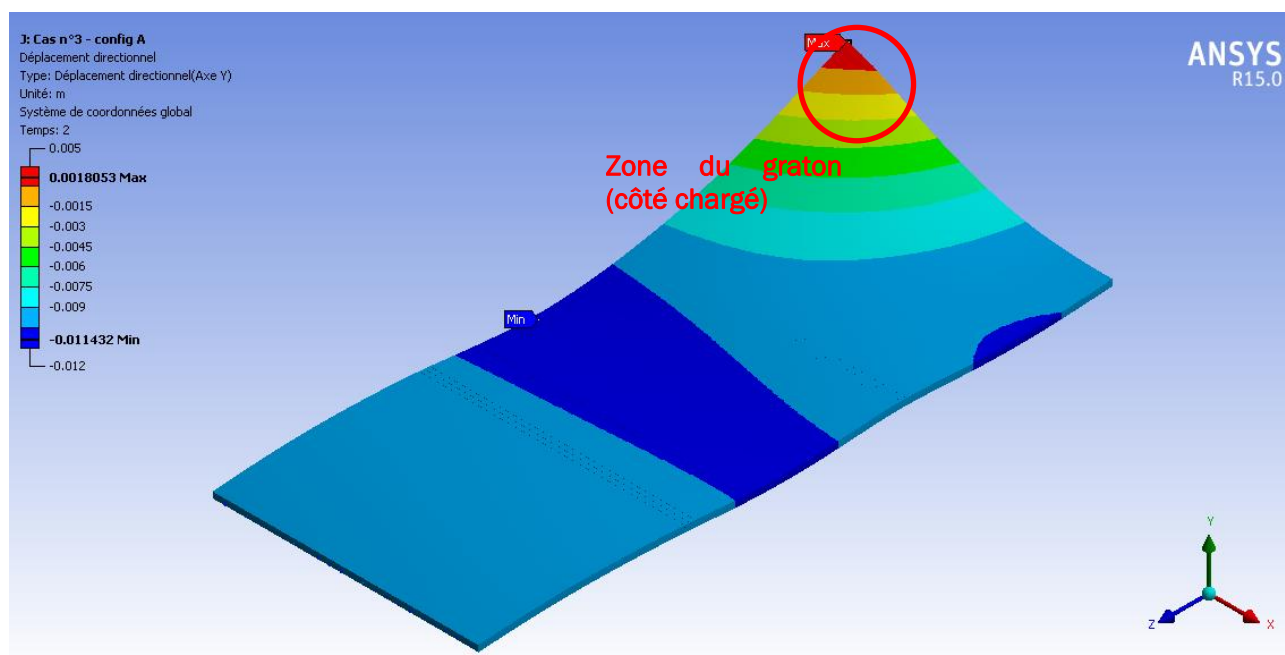


Figure 53 : Déplacement en m de la prédalle suivant la direction y – configuration A

Configuration B : Graton sur le mur droit dans l'axe de la prédalle

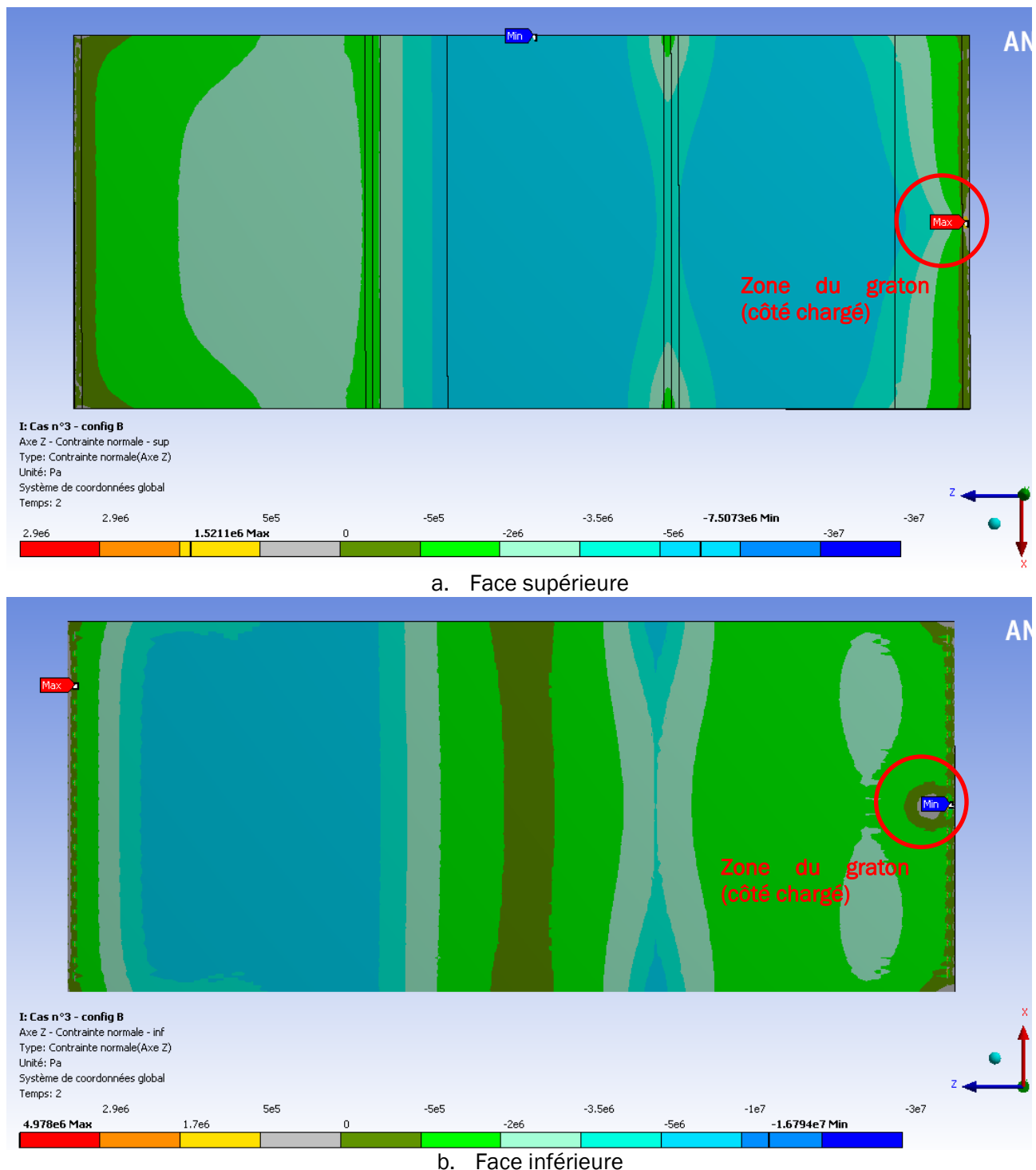
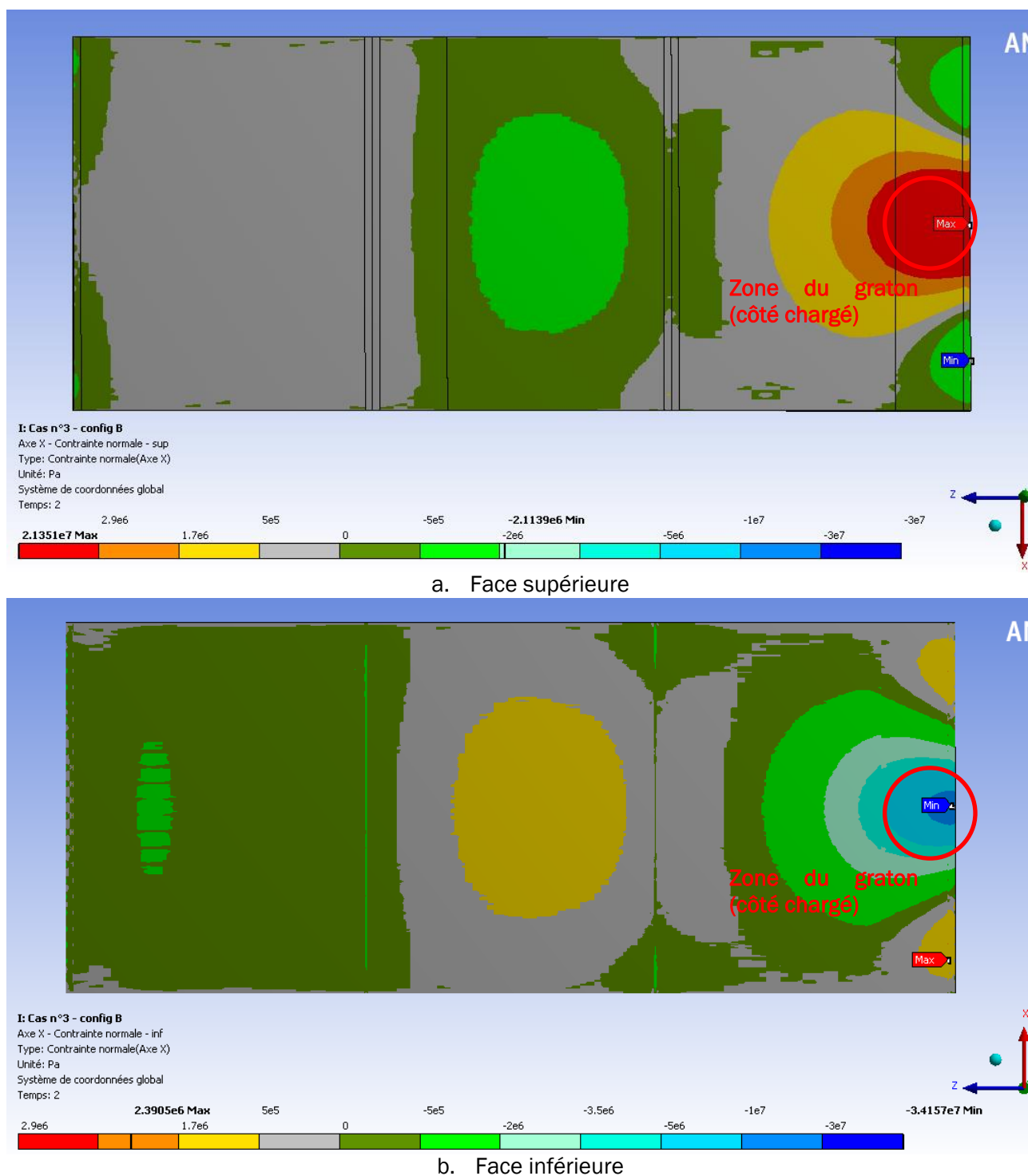


Figure 54 : Contrainte longitudinale σ_{zz} – configuration B



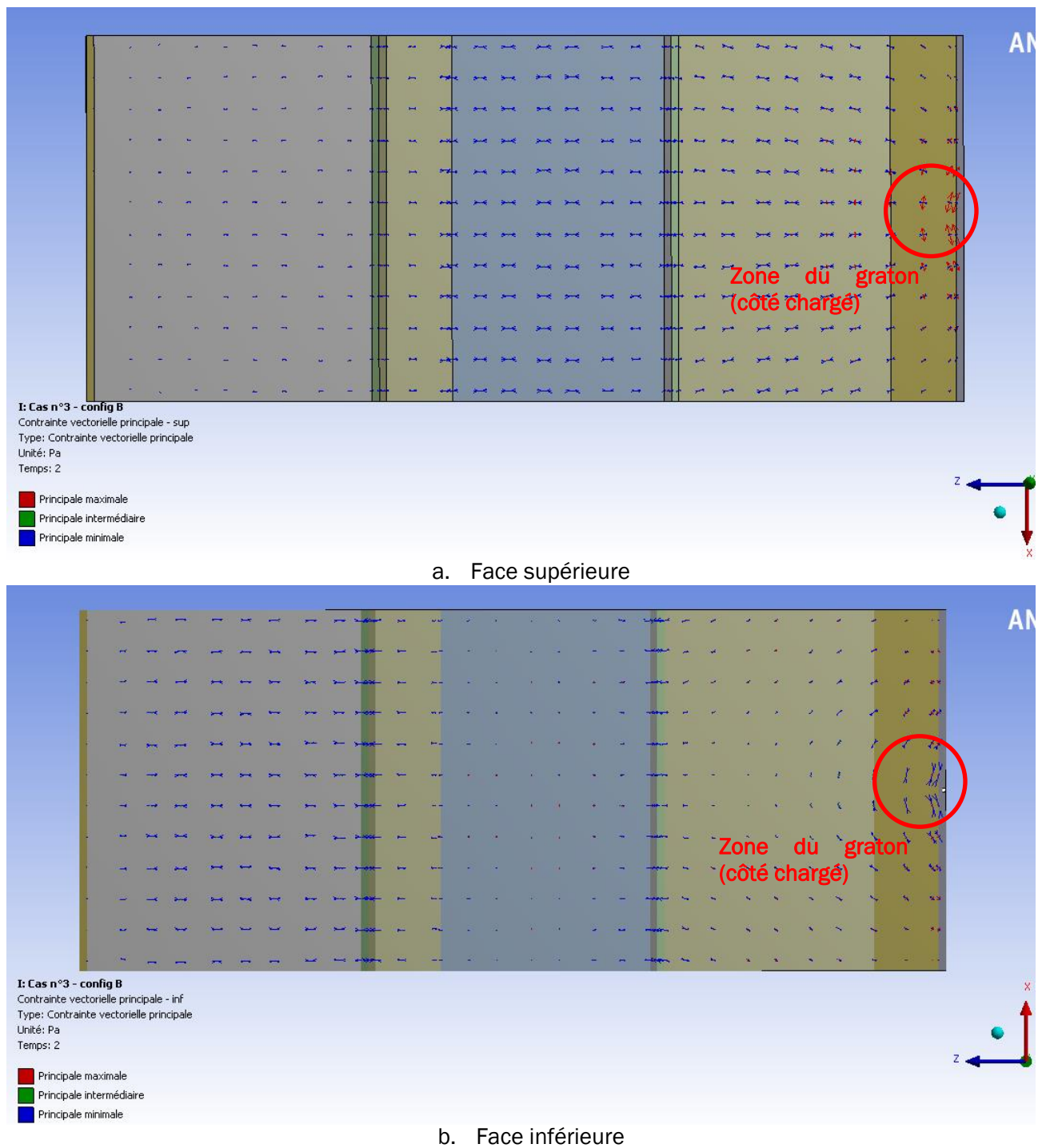


Figure 56 : Contraintes vectorielles principales- configuration B

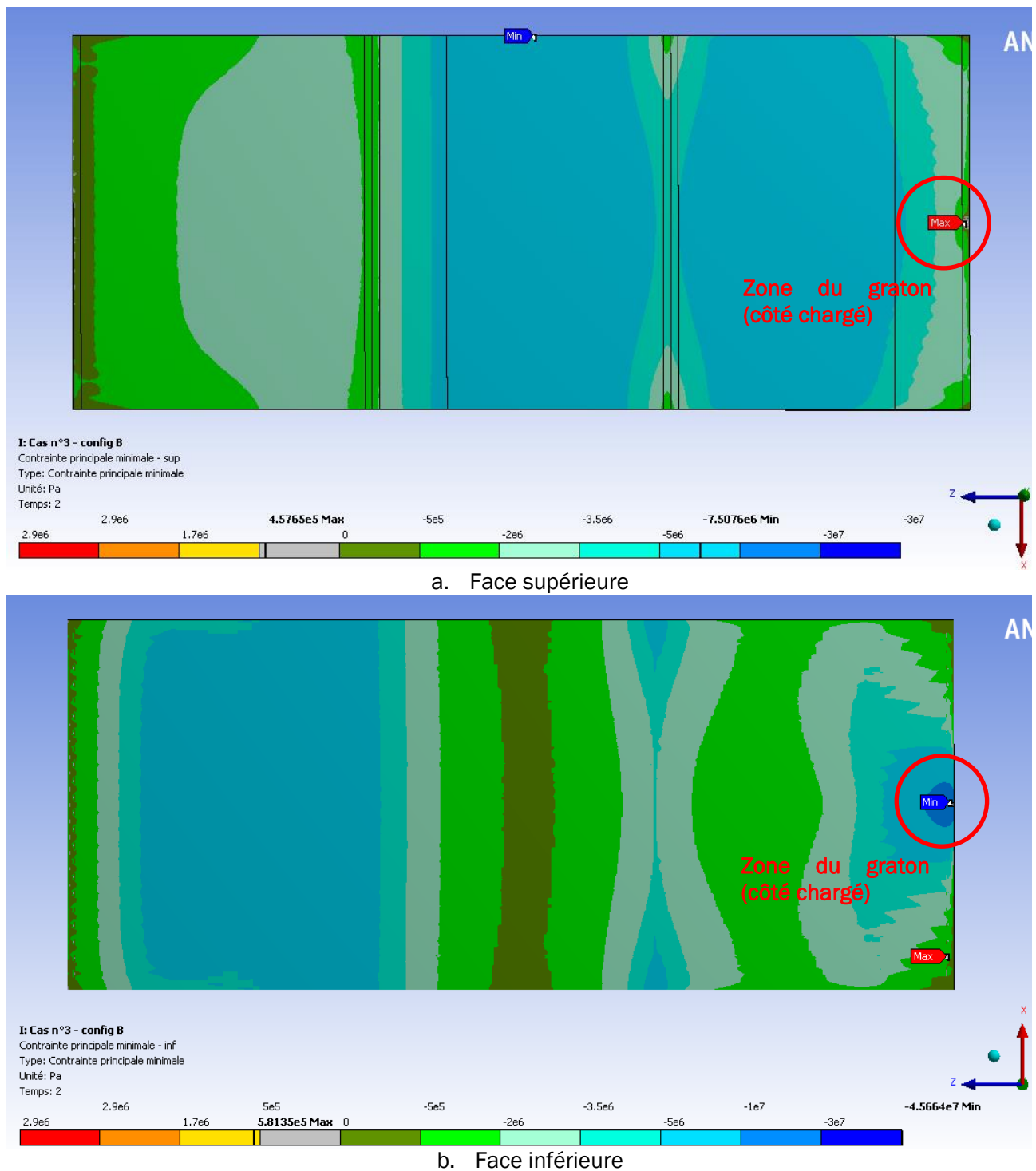


Figure 57 : Contraintes principales minimales- configuration B

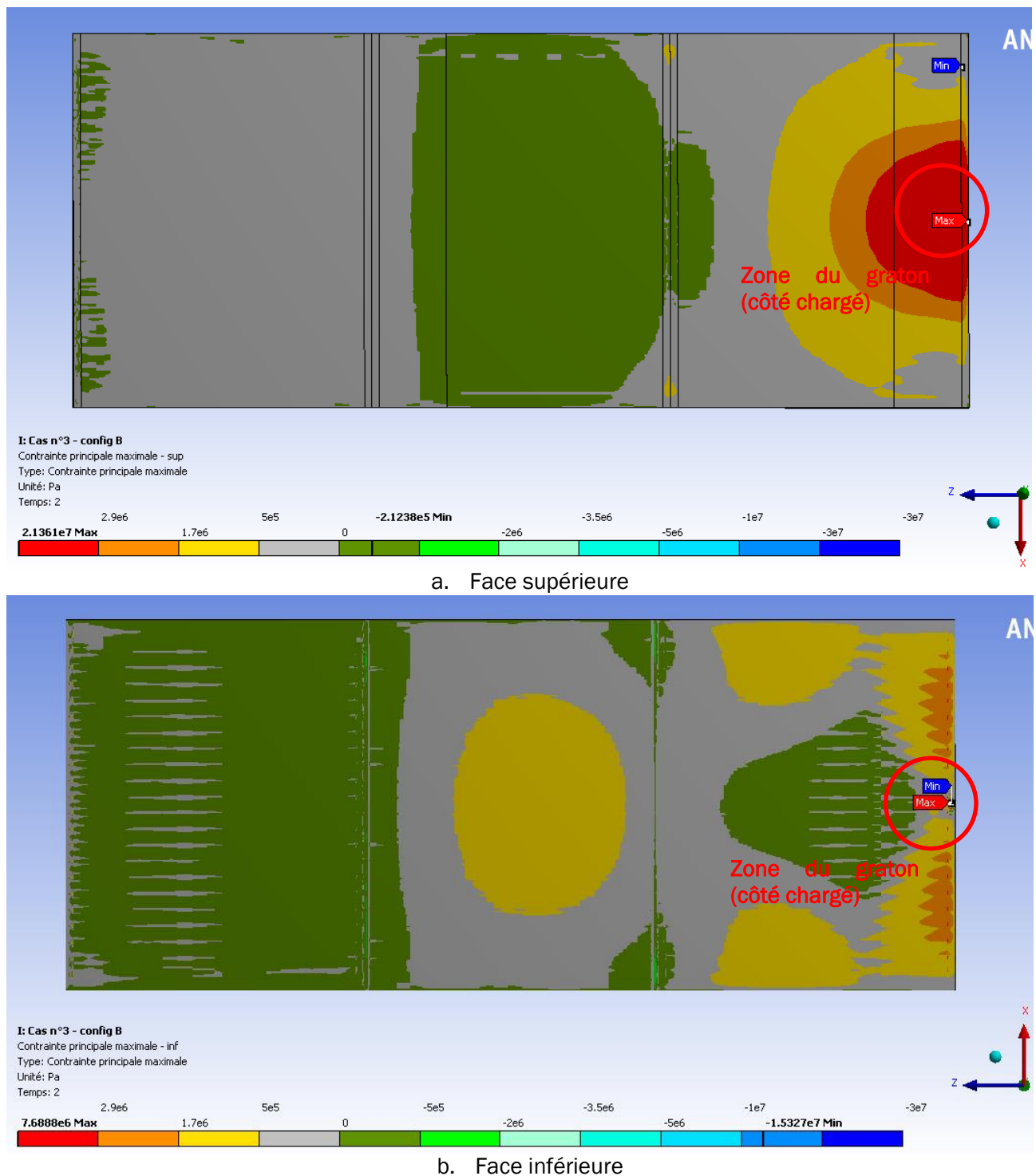


Figure 58 : Contraintes principales maximales- configuration B

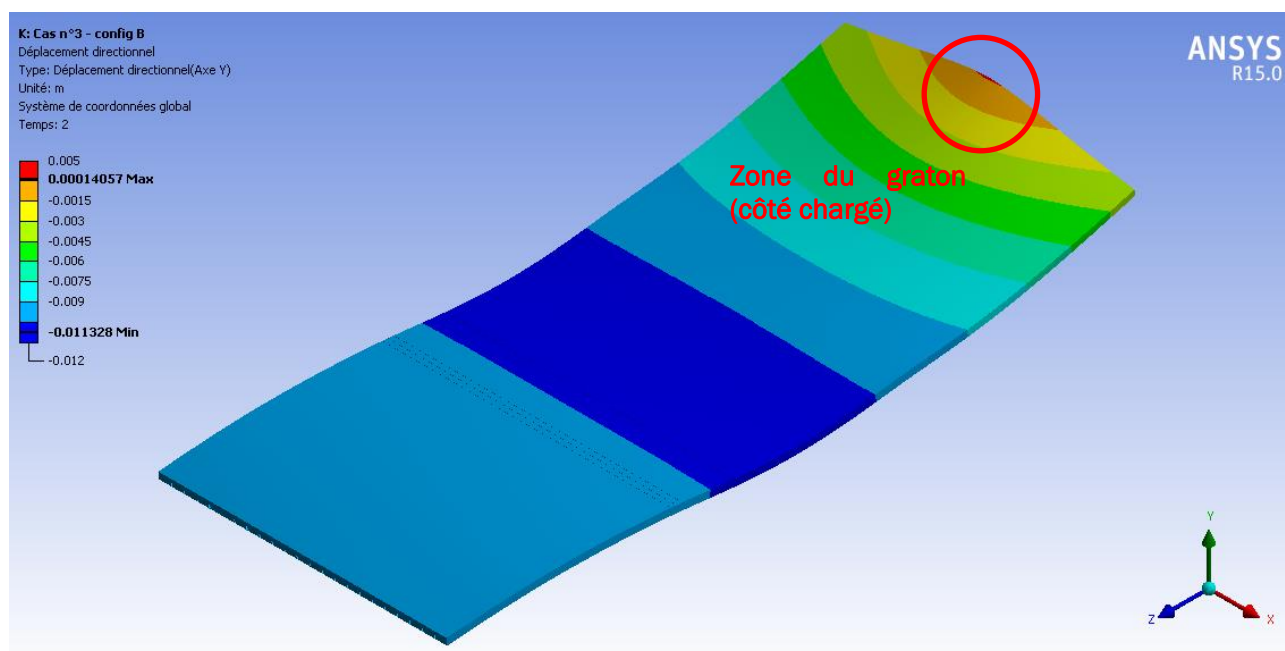


Figure 59 : Déplacement en m de la prédalle suivant la direction y – configuration B

Configuration C : Gratons sur le mur gauche dans l'axe de la prédalle et au bord du mur droit

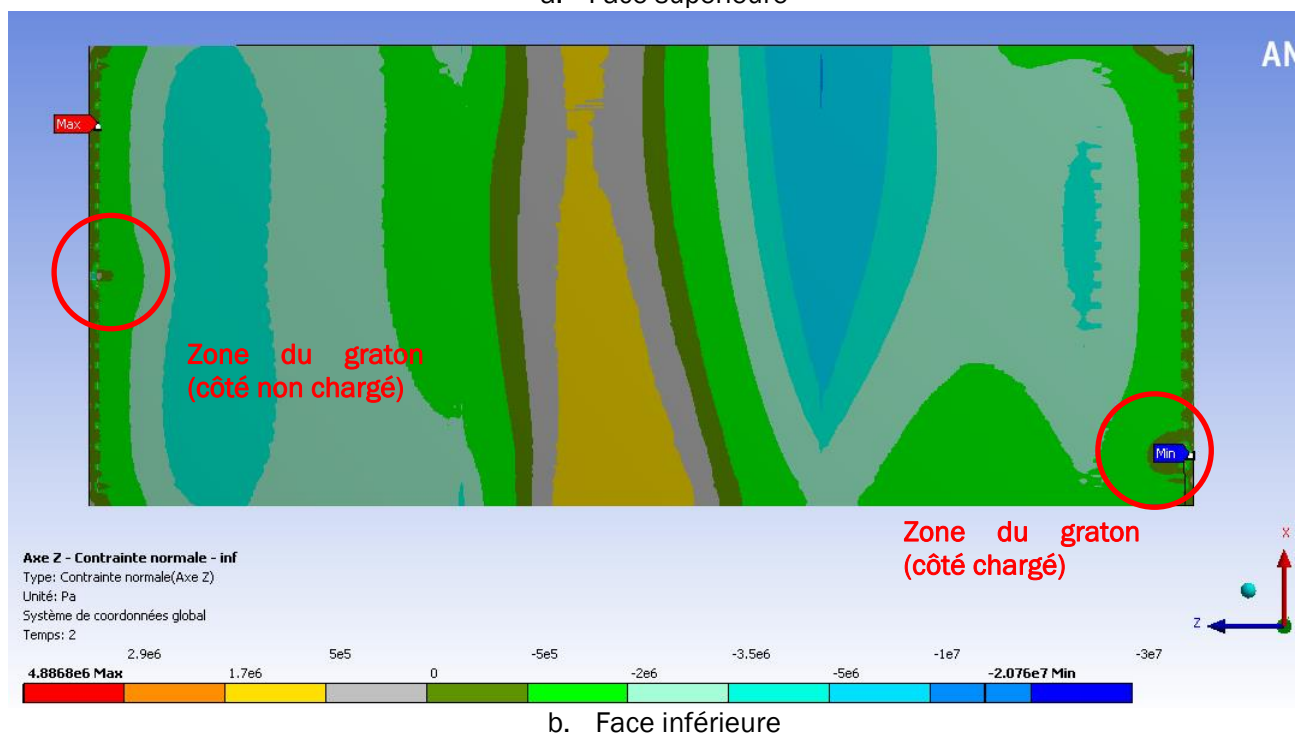
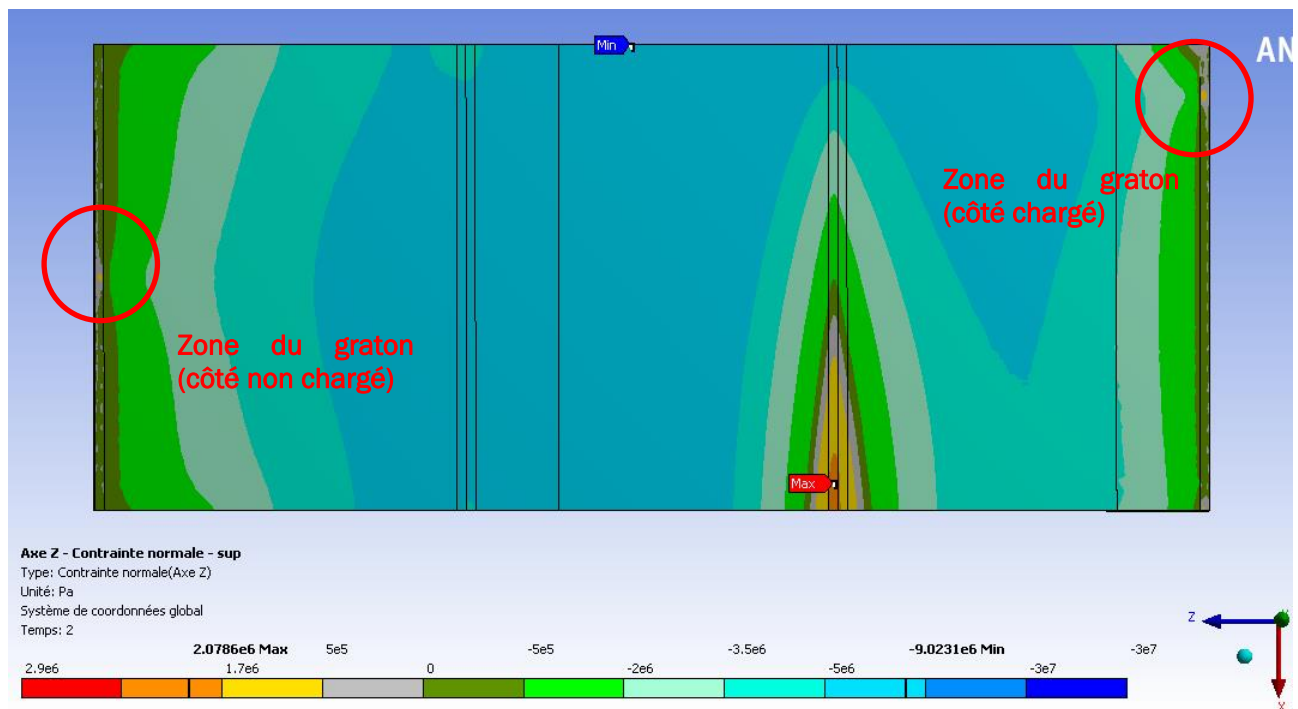


Figure 60 : Contrainte longitudinale σ_{zz} dans le cas de référence – configuration C

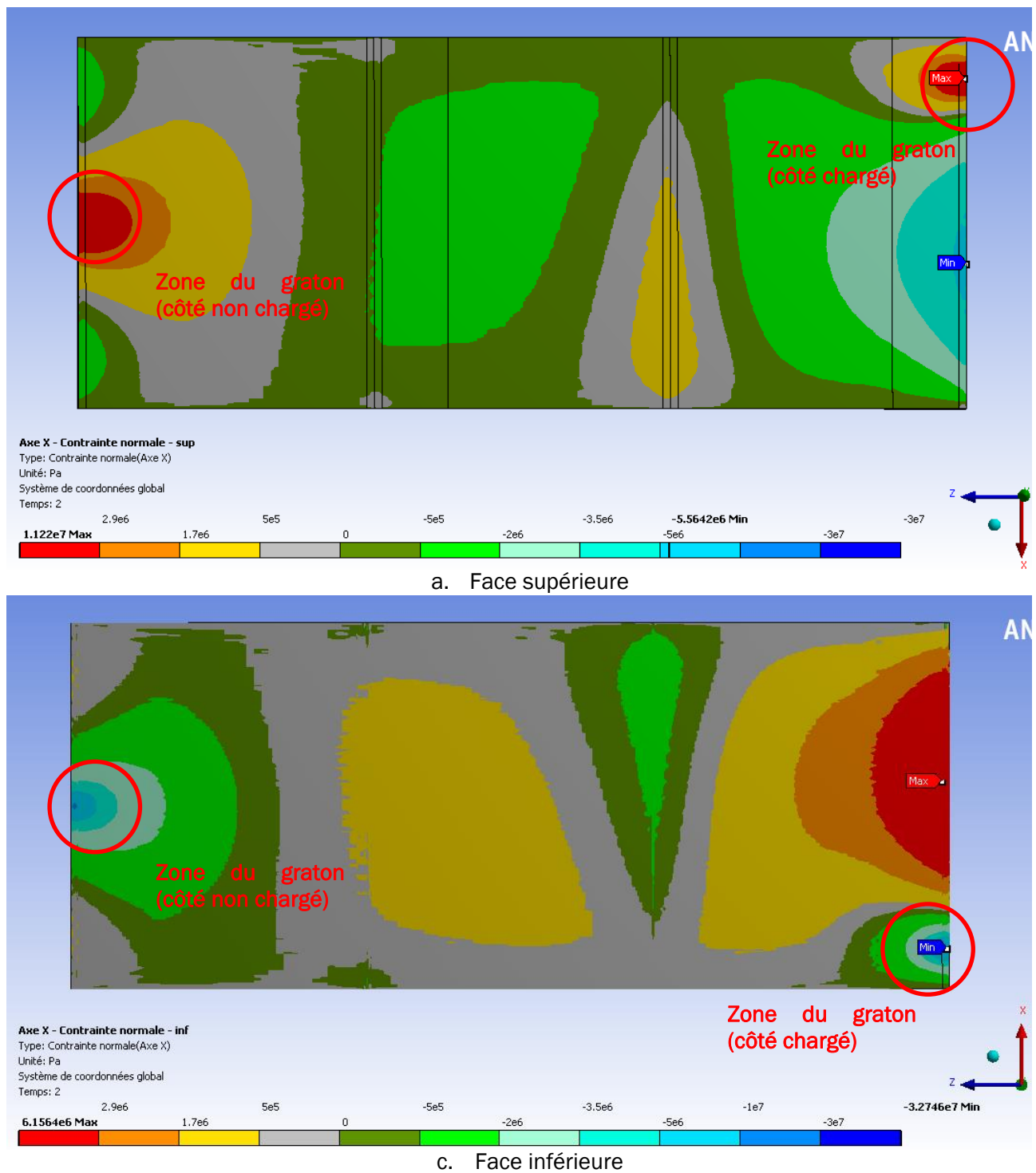


Figure 61 : Contrainte transversale σ_{xx} – configuration C

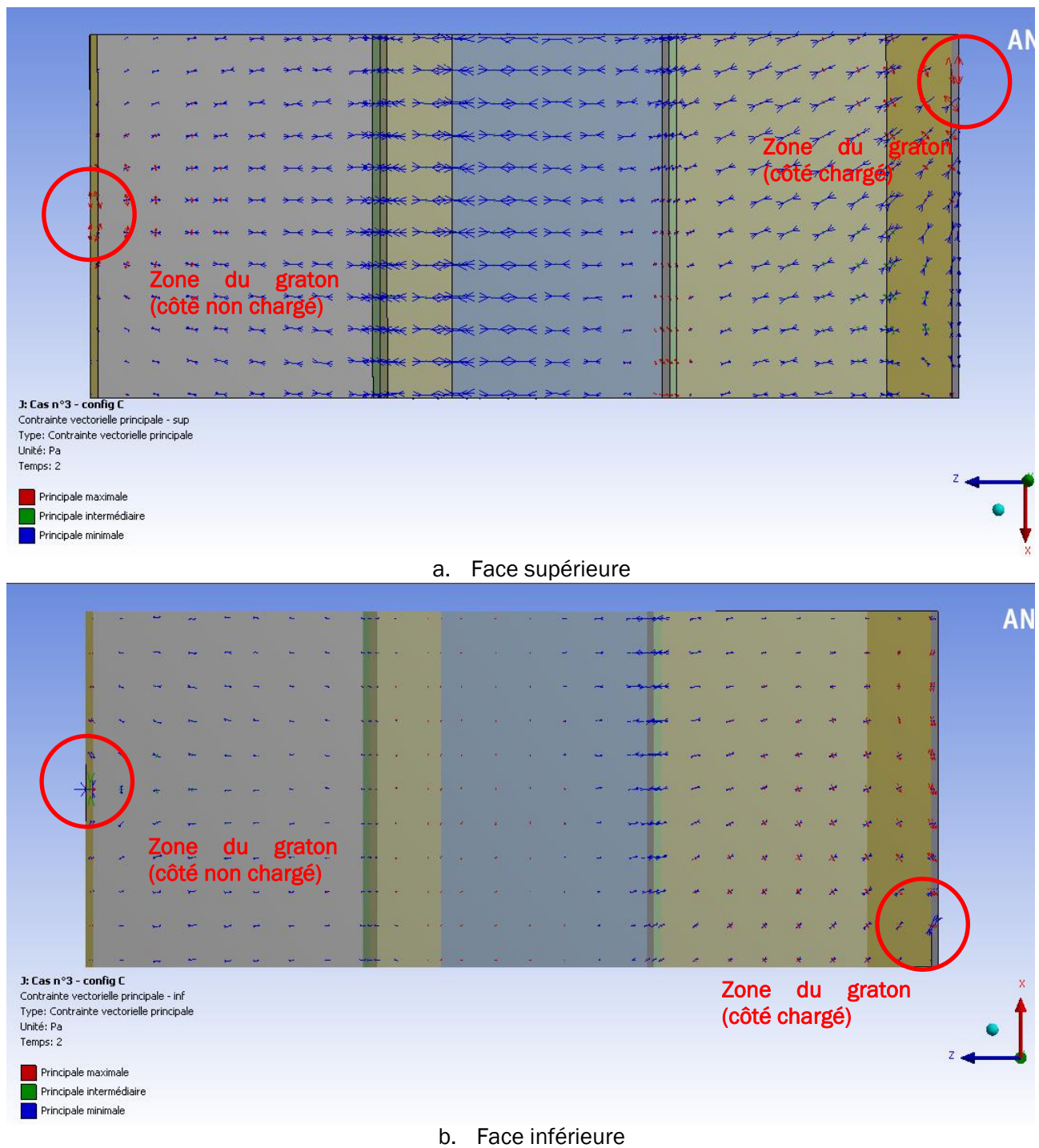


Figure 62 : Contraintes vectorielles principales- configuration C

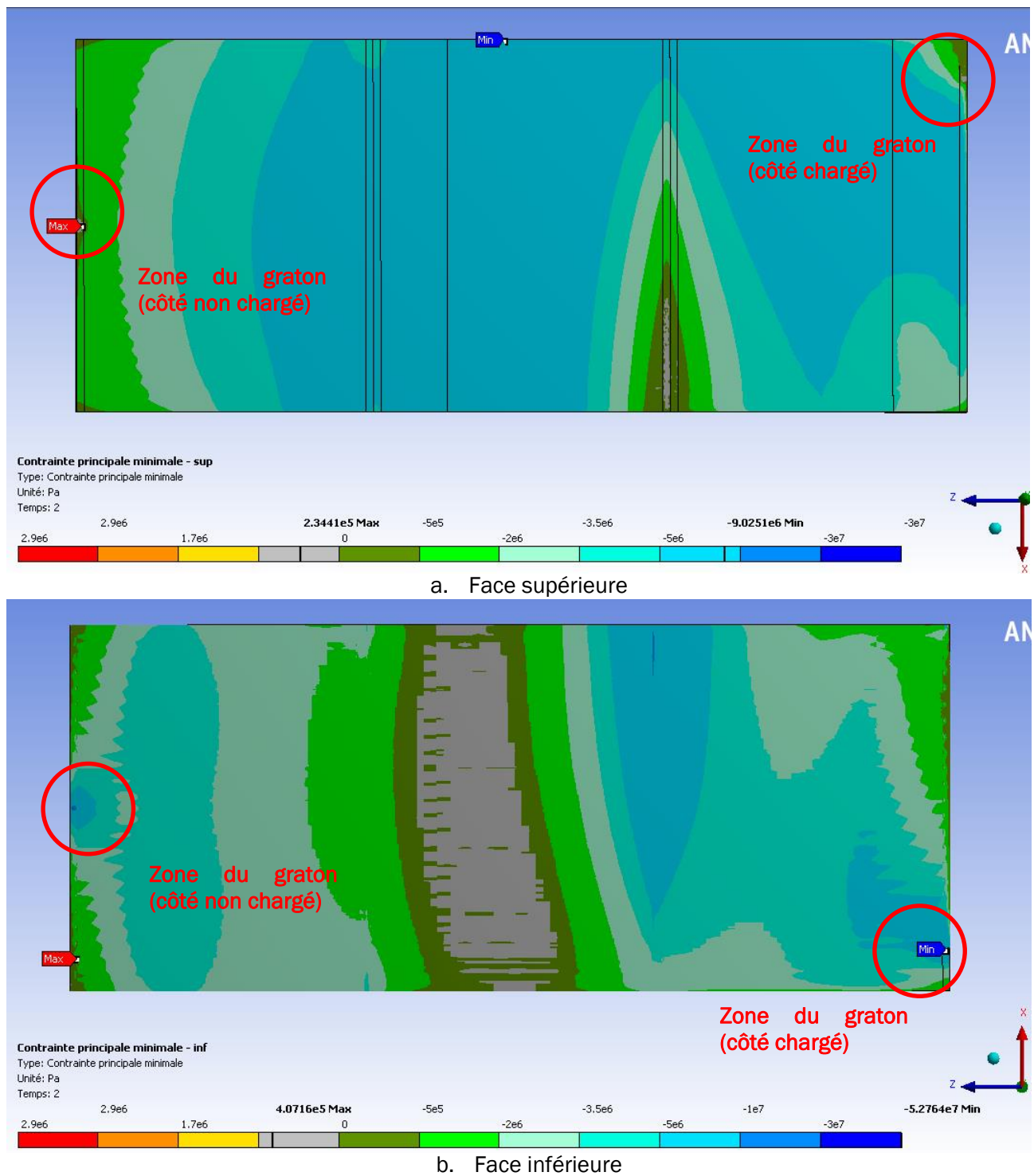


Figure 63 : Contraintes principales minimales- configuration C

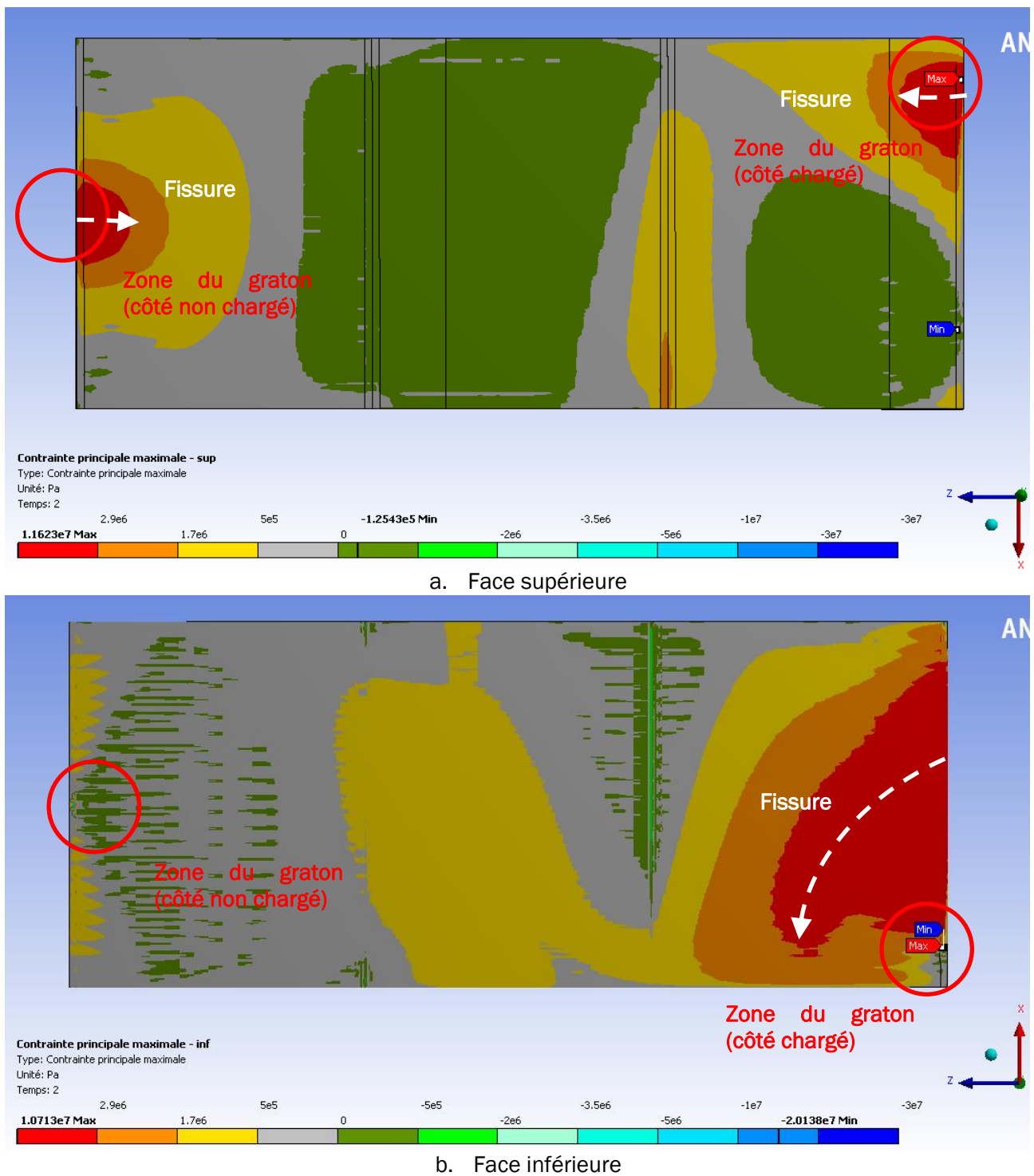


Figure 64 : Contraintes principales maximales- configuration C

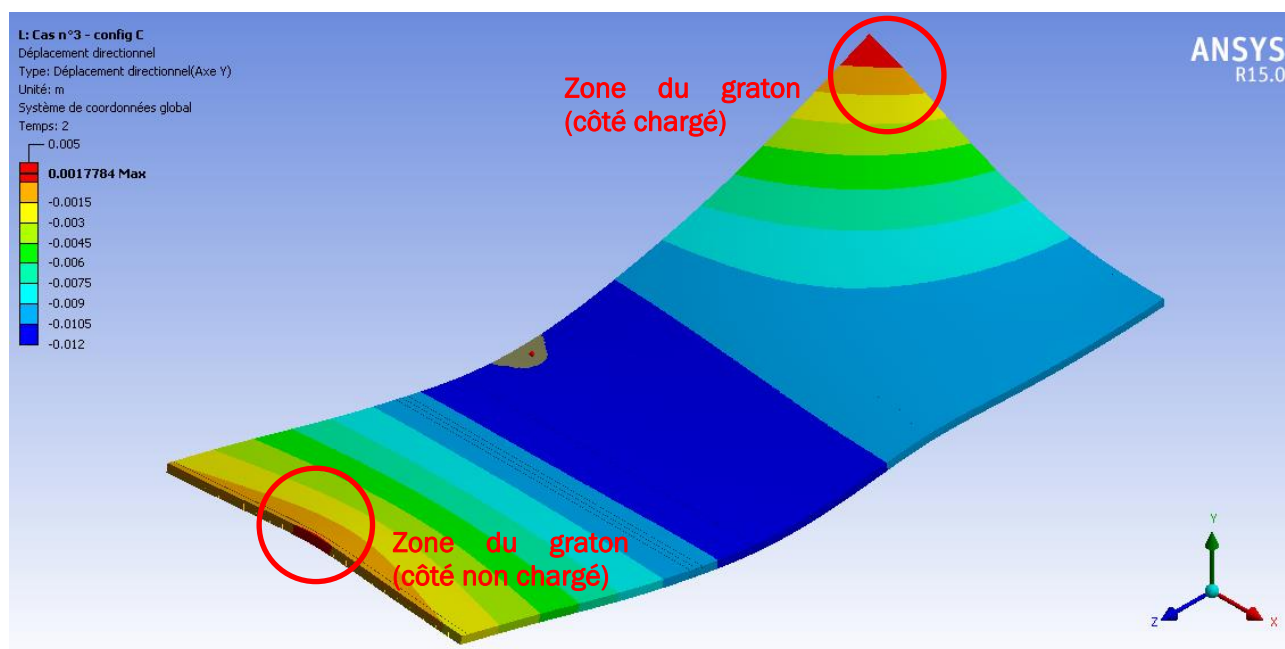


Figure 65 : Déplacement en m de la prédalle suivant la direction y – configuration C

Configuration D : Gratons sur les deux murs chacun dans l'axe de la prédalle

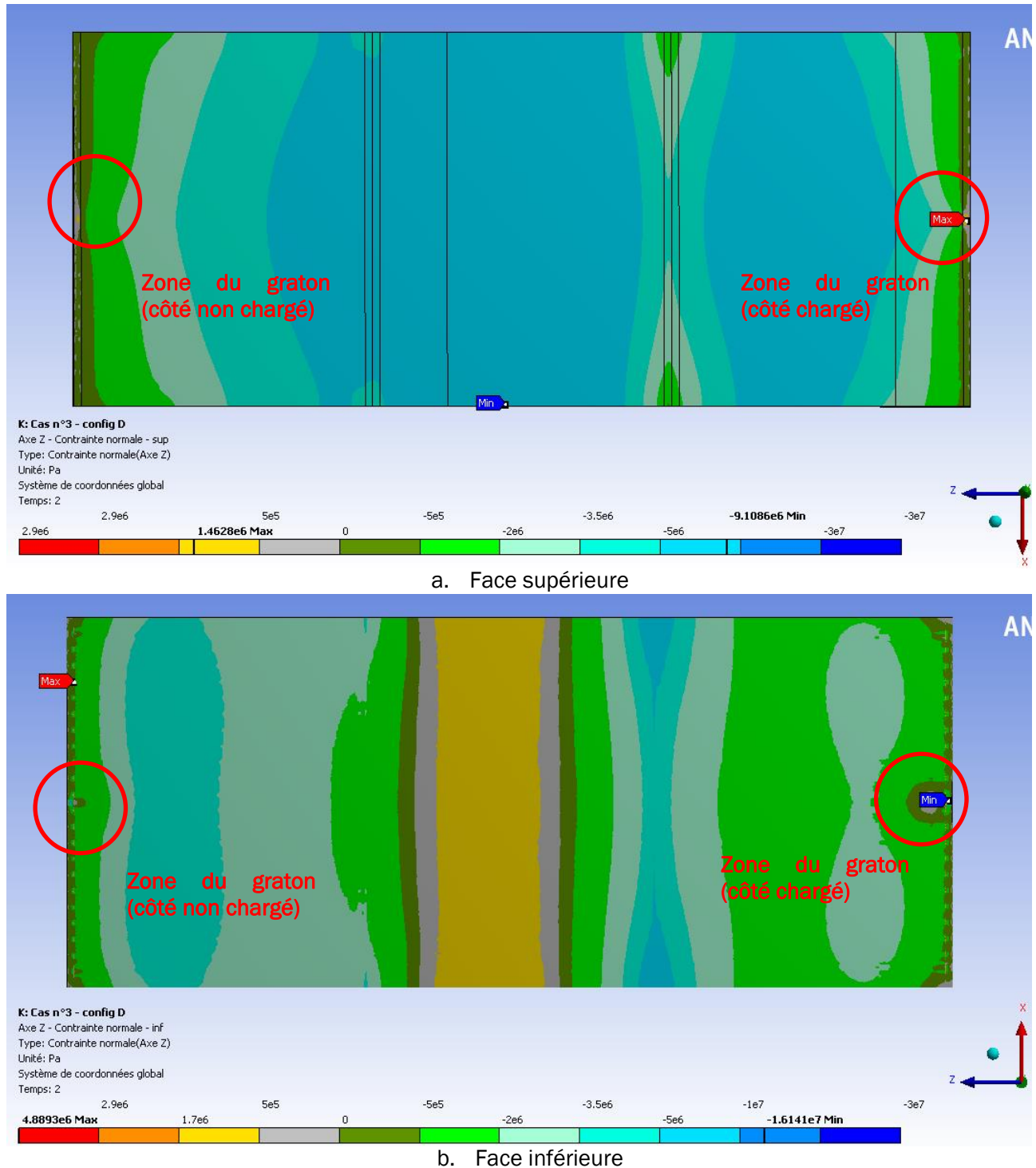


Figure 66 : Contrainte longitudinale σ_{zz} – configuration D

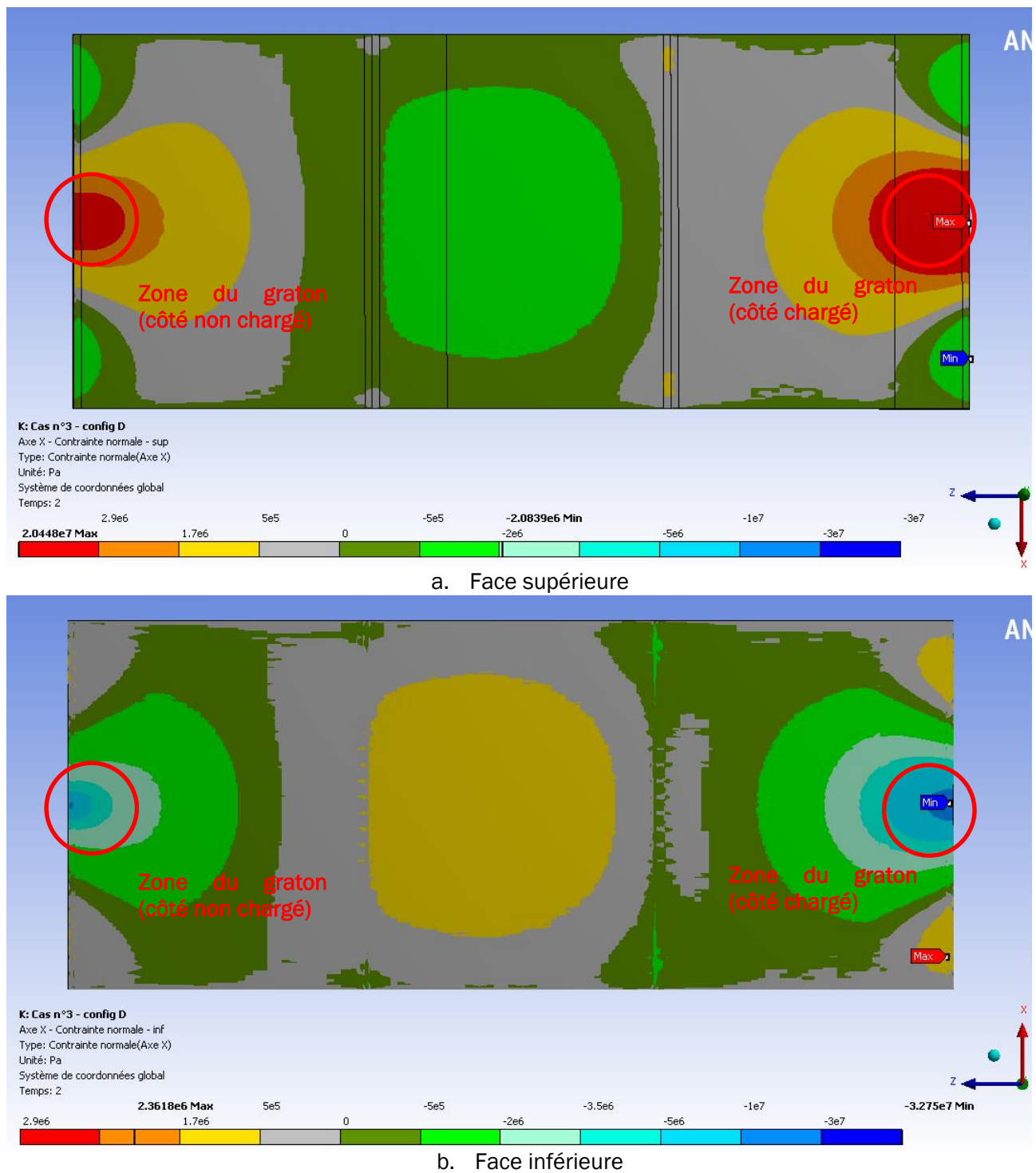


Figure 67 : Contrainte transversale σ_{xx} – configuration D

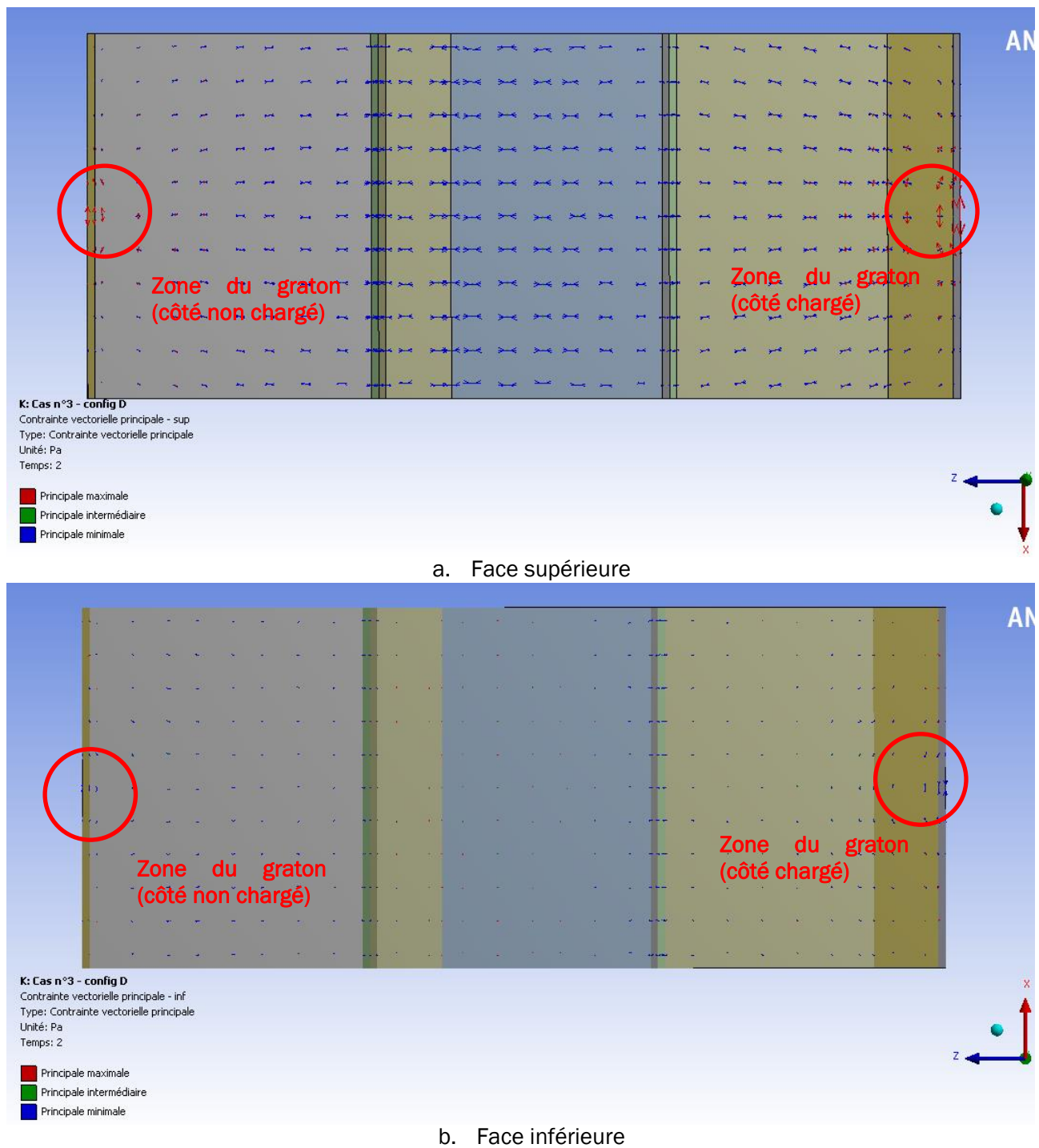


Figure 68 : Contraintes vectorielles principales- configuration D

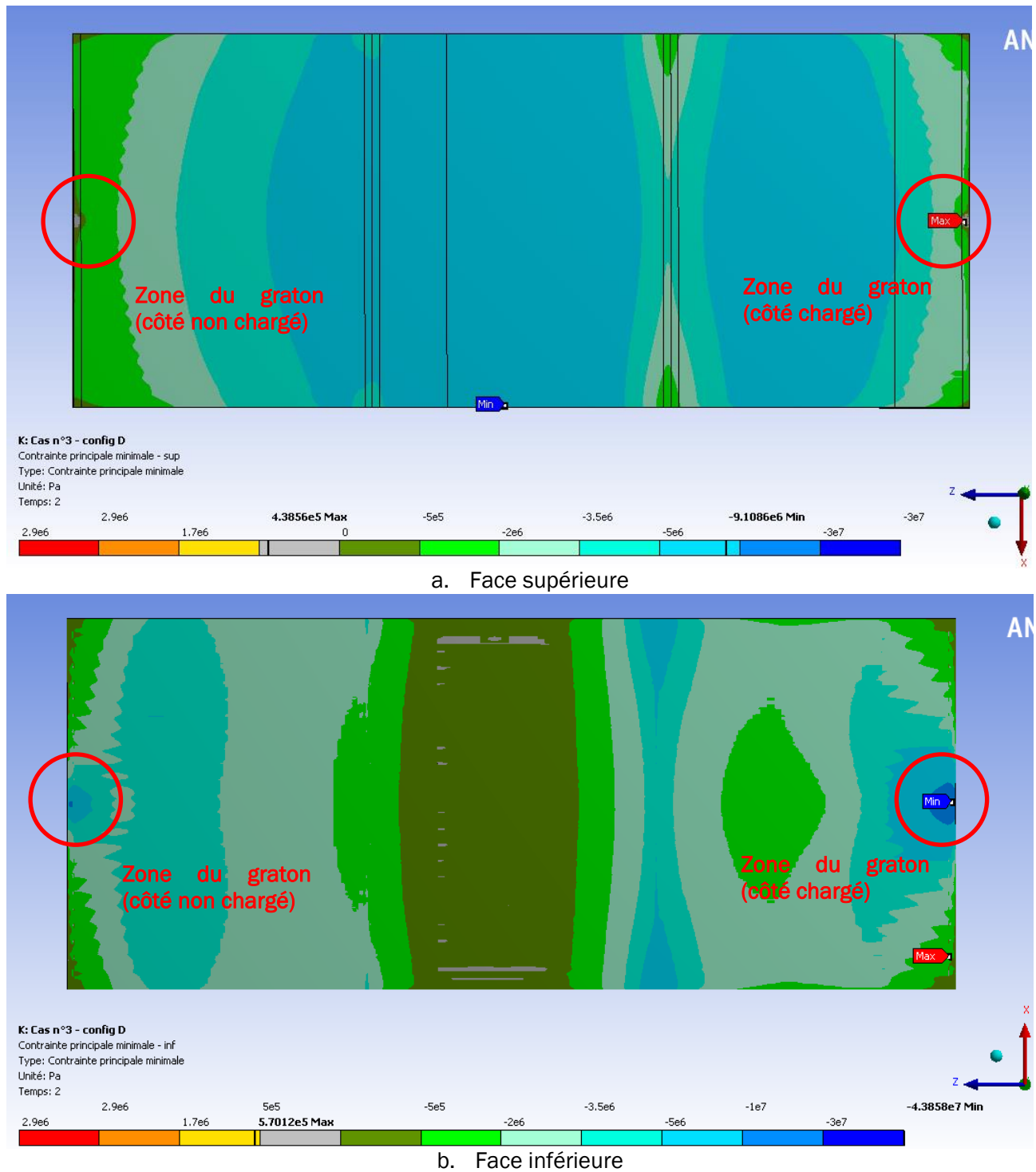


Figure 69 : Contraintes principales minimales – configuration D

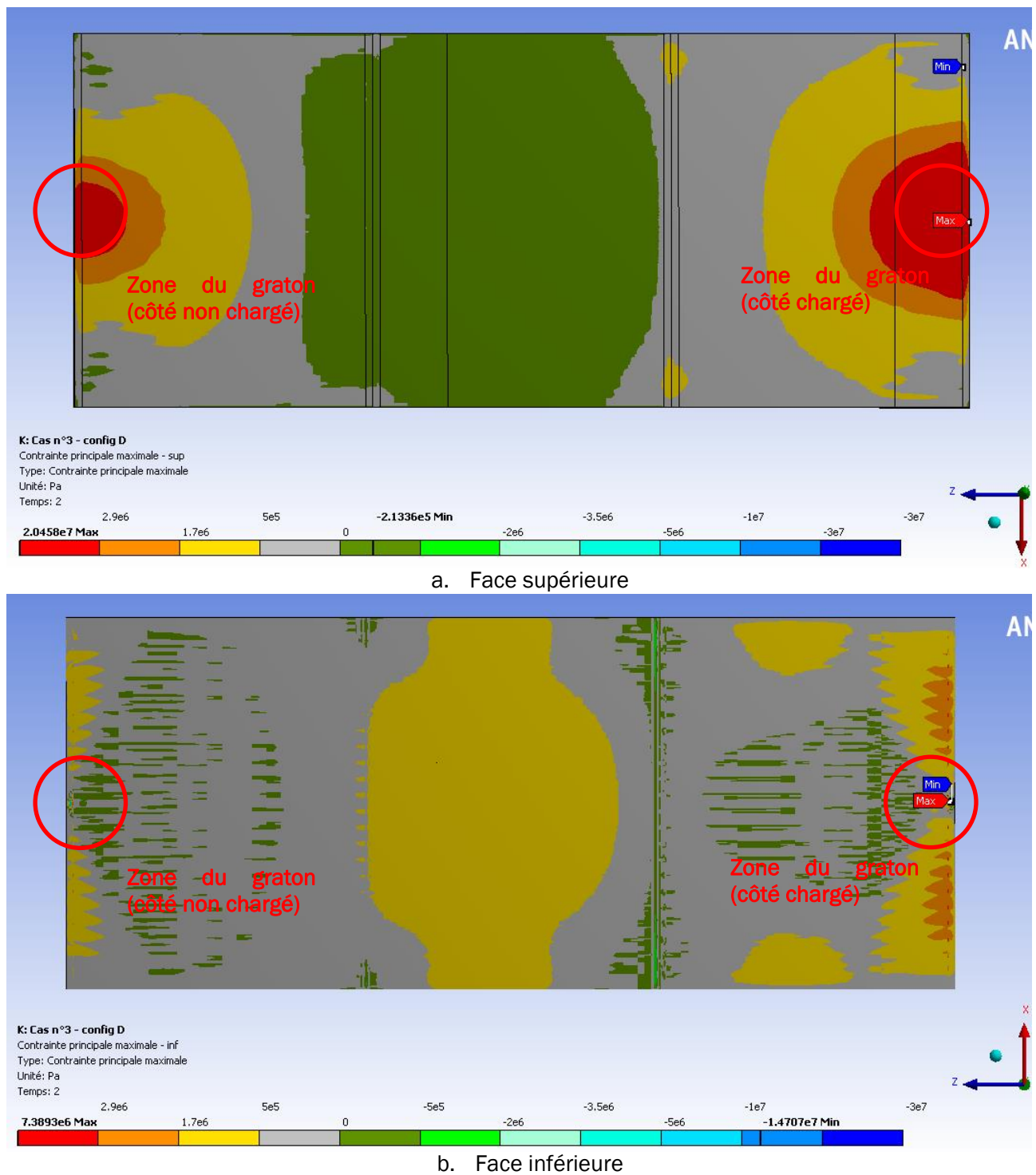


Figure 70 : Contraintes principales maximales – configuration D

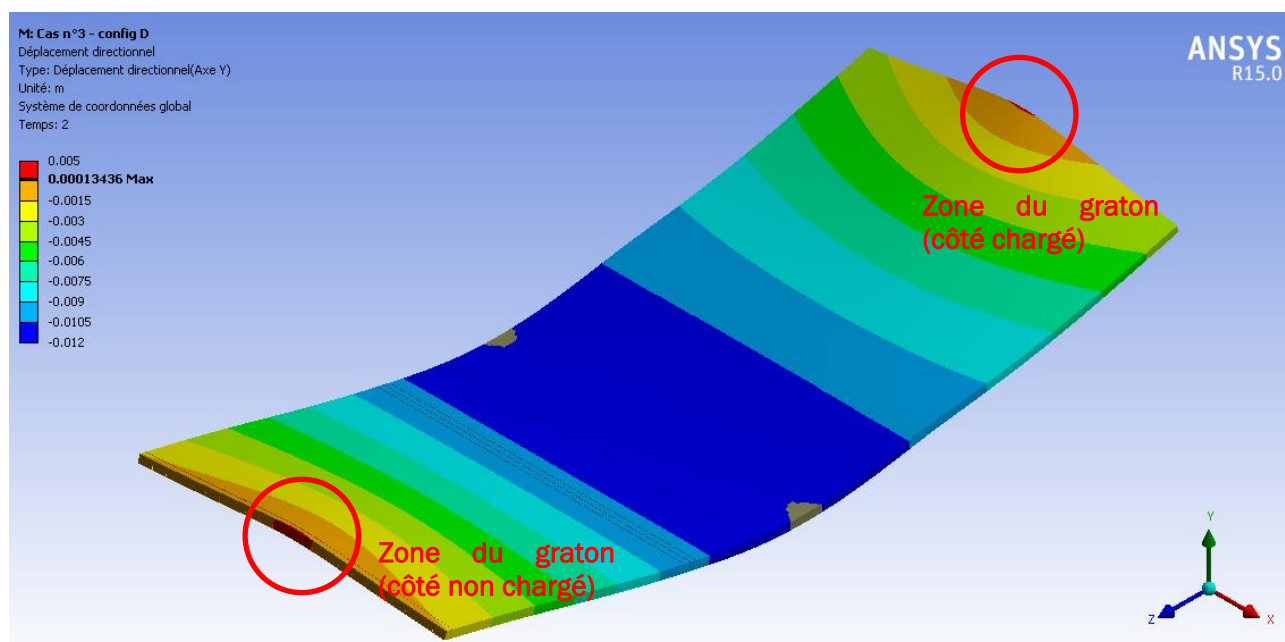


Figure 71 : Déplacement en m de la prédalle suivant la direction y – configuration D

Configuration E : Pose avec lisses de rive

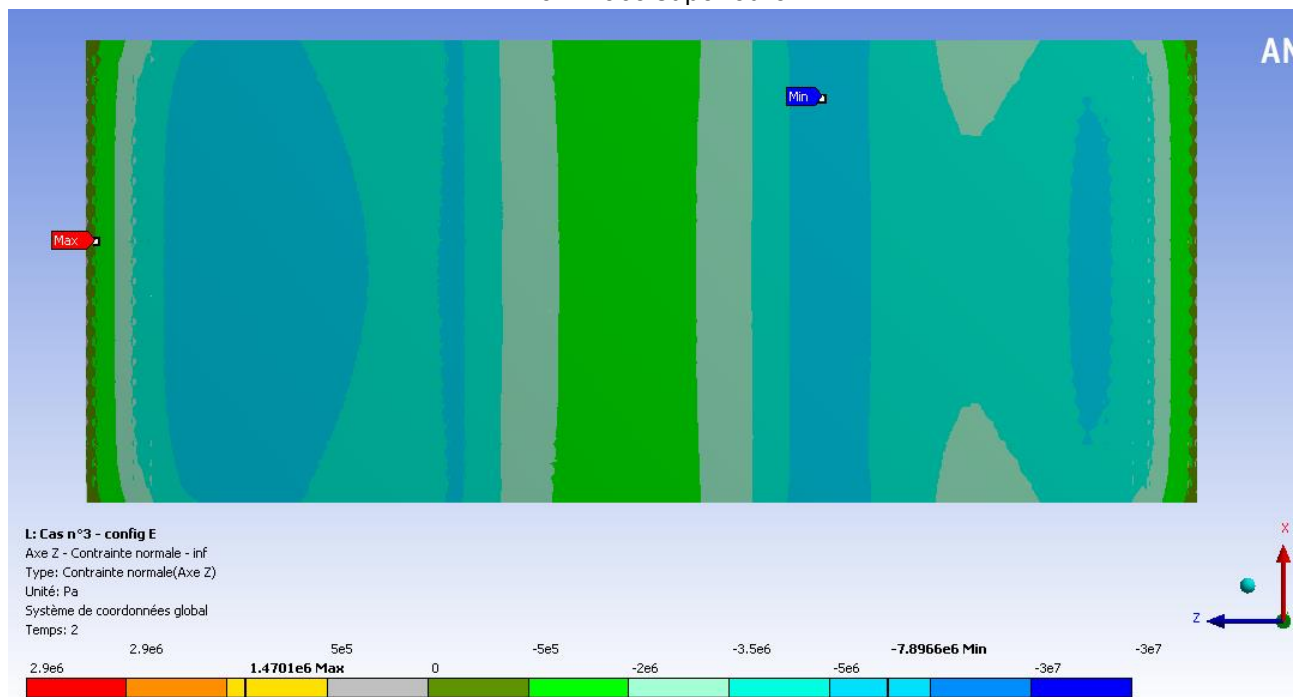
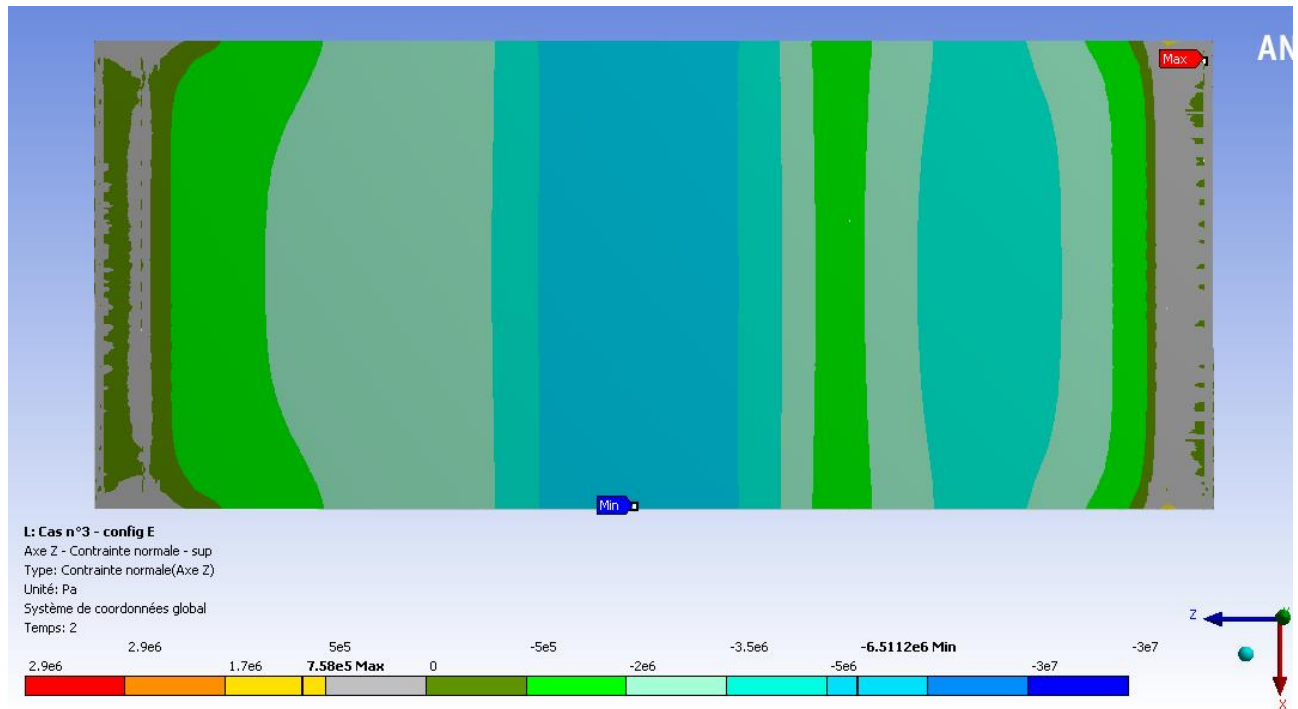


Figure 72 : Contrainte longitudinale σ_{zz} – configuration E

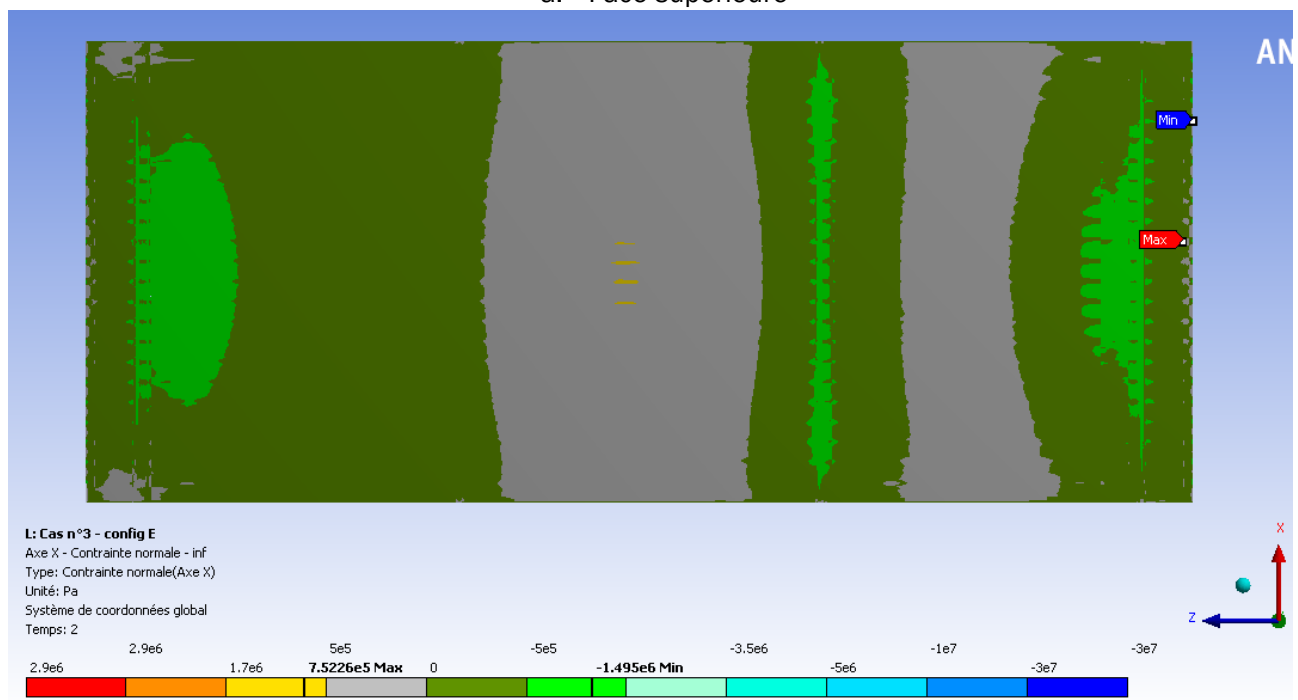
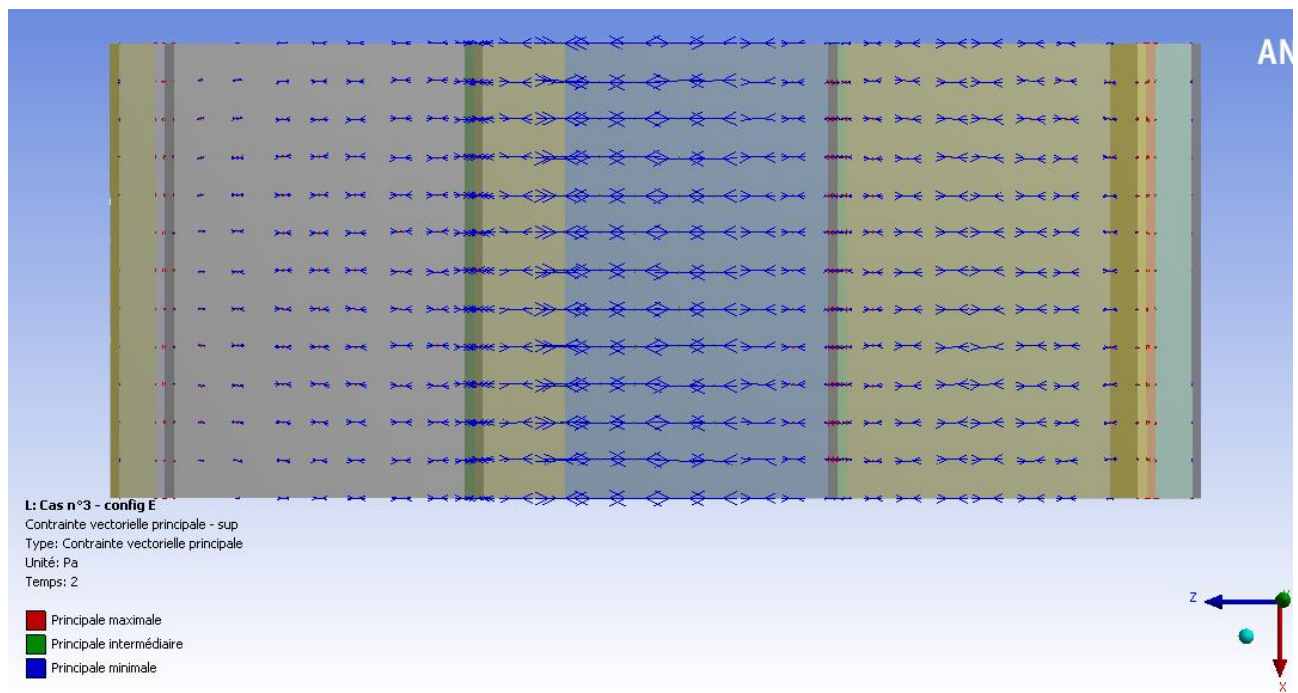
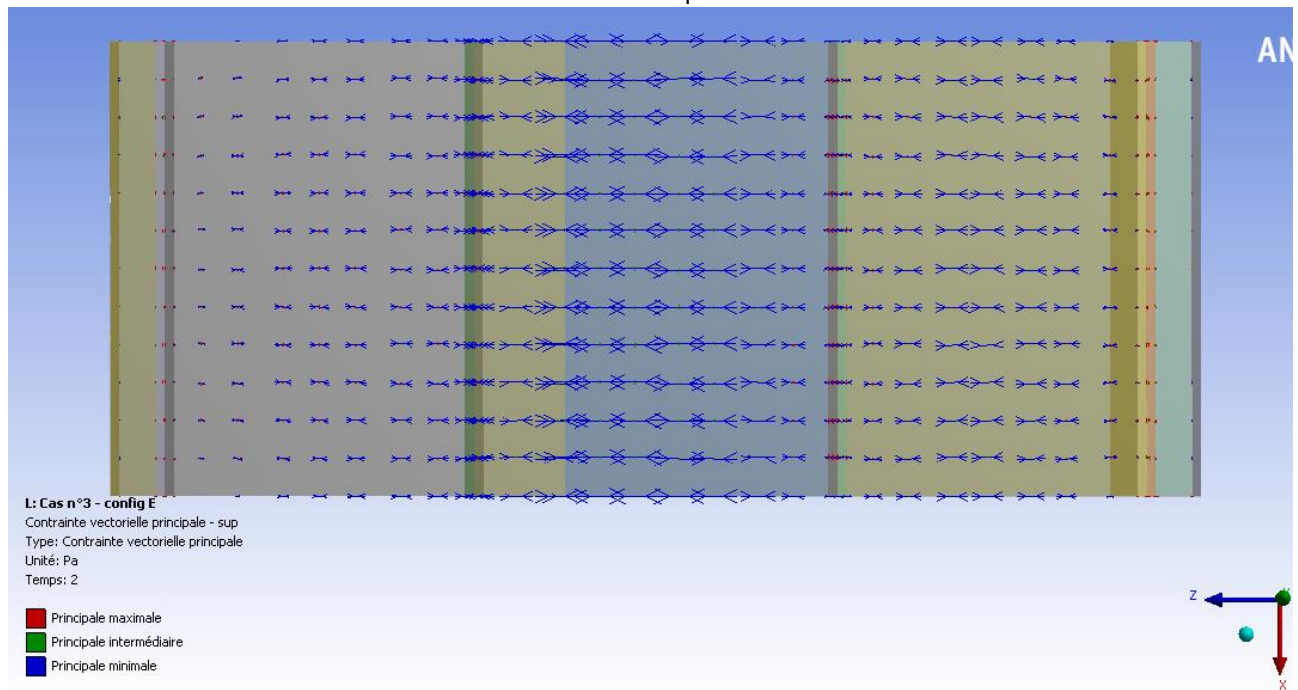


Figure 73 : Contrainte transversale σ_{xx} – configuration E



a. Face supérieure



b. Face inférieure

Figure 74 : Contraintes vectorielles principales – configuration E

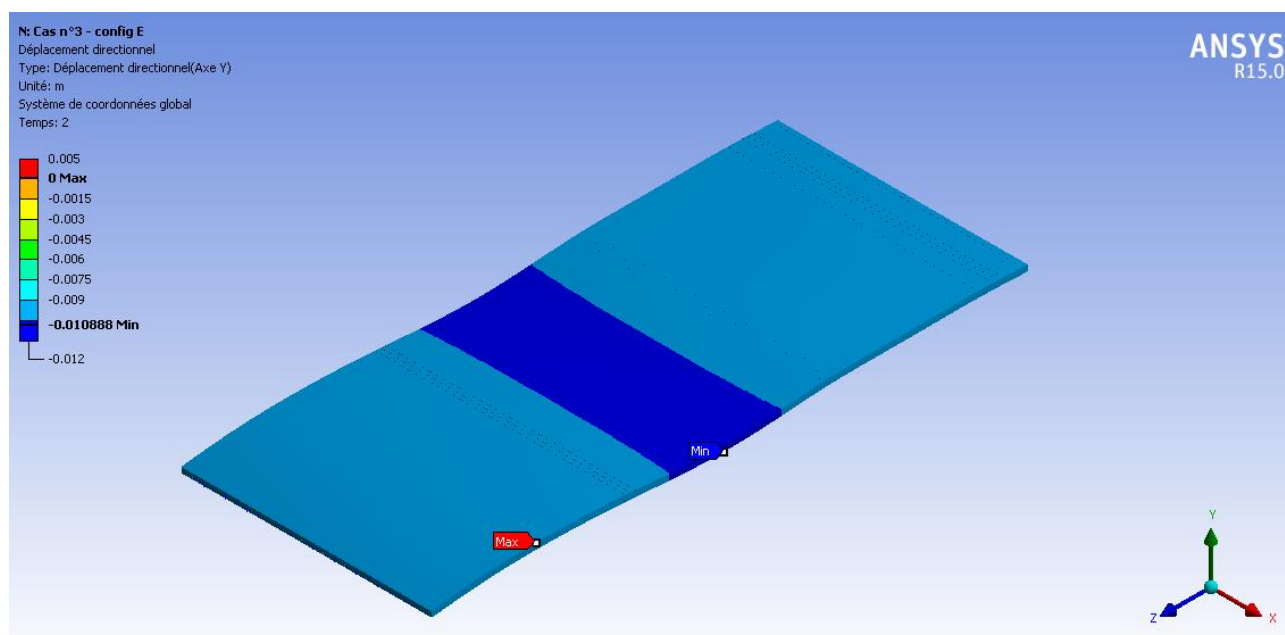
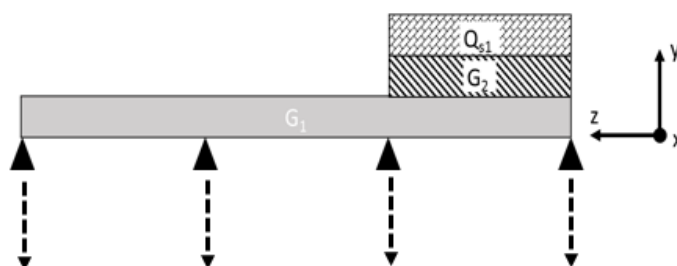


Figure 75 : Déplacement en m de la prédalle suivant la direction y – configuration E

Annexe 3 – Forces de réactions sur appuis

Les forces de réactions sur chacun des appuis suivant la direction y (direction normale aux appuis) permettent d'une part d'observer la distribution des charges sur les appuis et dans certains cas permet d'observer que des appuis ne sont pas sollicités (force de réaction nulle).

Pour le cas de charge n° 1 :

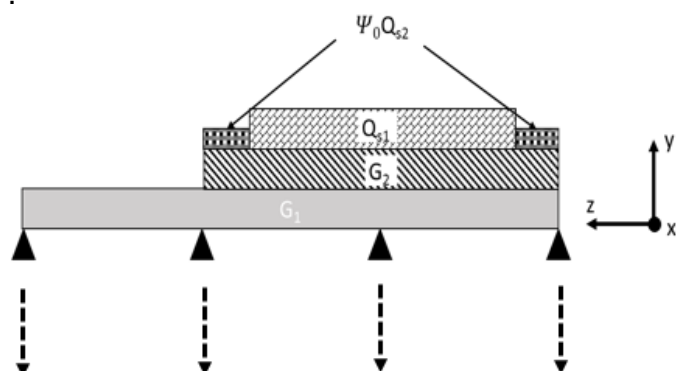


Configuration étudiée (position du graton sur mur de gauche - position du graton sur mur de droite)	Force de réaction en kN suivant la direction y								
	Mur de gauche			Ligne d'étais n°1	Ligne d'étais n°2	Mur de droite			Total
	Lisse de rive	Mur (appui total ou partiel)	graton (appui total ou partiel)			Lisse de rive	Mur (appui total ou partiel)	graton (appui total ou partiel)	
Référence (x-x)	x	6.6	x	3.4	19.6	x	16.8	x	46.4
A (x-bord)	x	6.3	x	4.2	16.6	x	5.2	13.2	45.5
B (x-axe)	x	6.0	x	5.9	14.0	x	0.0	19.5	45.4
C (axe-bord)	x	0.0	8.4	0.0	18.8	x	5.0	13.1	45.3
D (axe-axe)	x	0.0	8.7	0.0	17.6	x	0.0	19.0	45.3
E (appuis sur lisses d'étalement uniquement)	7.62	x	x	1.8	15.9	20.1	x	x	45.5

Le symbole « x », présent dans les deux tableaux de cette annexe, dépend de la configuration étudiée et indique qu'il n'y a pas de graton (ni de murs pour la configuration E) sur lesquels viendrait s'appuyer la prédalle.

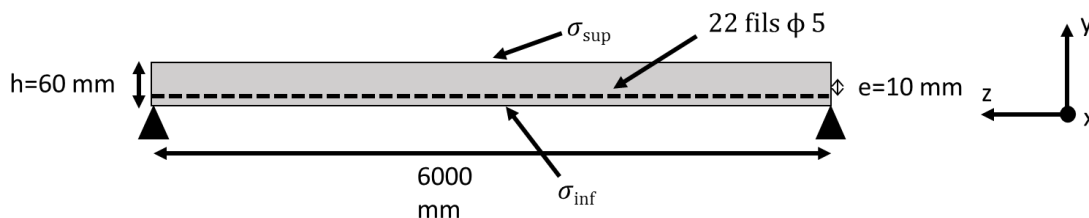
Les forces de réactions nulles (0 kN) signifient qu'il n'y a pas de contact entre l'appui concerné et la prédalle.

Pour le cas de charge n° 3 :



Configuration étudiée (position du graton sur mur de gauche - position du graton sur mur de droite)	Force de réaction en kN suivant la direction y								Total
	Mur de gauche			Ligne d'étais n°1	Ligne d'étais n°2	Mur de droite			
	Lisse de rive	Mur (appui total ou partiel)	graton (appui total ou partiel)			Lisse de rive	Mur (appui total ou partiel)	graton (appui total ou partiel)	
Référence (x-x)	x	5.6	x	13.8	32.3	x	14.6	x	66.3
A (x-bord)	x	5.2	x	15.9	29.2	x	3.9	12.0	66.3
B (x-axe)	x	4.9	x	17.7	26.4	x	0.0	17.2	66.2
C (axe-bord)	x	0.0	8.3	9.0	33.7	x	3.6	11.7	66.3
D (axe-axe)	x	0.0	8.0	10.9	30.9	x	0.0	16.5	66.3
E (appuis sur lisses d'étalement uniquement)	6.37	x	x	13.5	29.1	17.4	x	x	66.4

Annexe 4 – Validation de la précontrainte analytique VS numérique



Prédalle **seulement précontrainte** (sans poids propre ni chargement extérieure) sur deux appuis simples :

Avec comme convention de signe (négatif pour la compression et positif pour la traction), l'expression analytique de la contrainte normale à la section en fibre supérieure, exprimée en MPa, est la suivante :

$$\sigma_{sup} = -\frac{P}{S} + \frac{P \cdot e}{I} * \frac{h}{2}$$

Tandis que la contrainte normale à la section en fibre inférieure, exprimée en MPa, est la suivante :

$$\sigma_{inf} = -\frac{P}{S} - \frac{P \cdot e}{I} * \frac{h}{2}$$

Où

- P est la force des 22 de fils de précontrainte égale à $P = 28000 * 22 = 616 \text{ e}^3 \text{ N}$
- h est l'épaisseur de la prédalle égale à 60 mm
- b est la largeur de la prédalle égale à 2500 mm
- S est la section de béton mm^2 égale à $S = b * h = 1.5 \text{ e}^5 \text{ mm}^2$
- e est l'excentricité de la précontrainte égale à 10 mm
- I est le moment quadratique de la section de béton exprimée en mm^4 égale à :
 $I = bh^3/12 = 4.50 \text{ e}^7 \text{ mm}^4$

En utilisant ces données les valeurs de contraintes sont les suivantes :

$$\begin{aligned}\sigma_{sup} &= 0 \text{ MPa} \\ \sigma_{inf} &= -8.21 \text{ MPa}\end{aligned}$$

En face supérieure la contrainte analytique obtenue est nulle comme celle obtenue numériquement en modélisant cette prédalle sous le logiciel aux éléments finis ANSYS.

En face inférieure la contrainte analytique obtenue est une contrainte de compression égale à 8.21 MPa quasiment équivalente à celle obtenue numériquement (-8.6 MPa) en modélisant cette prédalle sous le logiciel aux éléments finis ANSYS.

Cette vérification comparant l'analytique au numérique permet de valider l'application de la précontrainte numérique et de constater qu'il y a une contre flèche de la prédalle provoquée par la précontrainte excentrée.

Prédalle précontrainte avec prise en compte de son poids propre sur deux appuis simples :

Avec comme convention de signe (négatif pour la compression et positif pour la traction), l'expression analytique de la contrainte normale à la section en fibre supérieure, exprimée en MPa, est la suivante :

$$\sigma_{sup} = -\frac{P}{S} + \frac{P \cdot e}{I} * \frac{h}{2} - \frac{M_{pp}}{I} * \frac{h}{2}$$

Tandis que la contrainte normale à la section en fibre inférieure, exprimée en MPa, est la suivante :

$$\sigma_{inf} = -\frac{P}{S} - \frac{P \cdot e}{I} * \frac{h}{2} + \frac{M_{pp}}{I} * \frac{h}{2}$$

Où

- P est la force des 22 de fils de précontrainte égale à $P=28000*22=616 \text{ e}^3 \text{ N}$
- h est l'épaisseur de la prédalle égale à 60 mm
- b est la largeur de la prédalle égale à 2500 mm
- S est la section de béton mm^2 égale à $S=b*h=1.5 \text{ e}^5 \text{ mm}^2$
- e est l'excentricité de la précontrainte égale à 10 mm
- I est le moment quadratique de la section de béton exprimée en mm^4 égale à :
 $I=bh^3/12=4.50 \text{ e}^7 \text{ mm}^4$
- L est la portée de la prédalle égale à 6000 mm
- M_{pp} est le moment fléchissant provoqué par le poids propre de la prédalle égale à :
 $M_{pp}=(\rho*b*h*9.81)*L^2/8=1,589 \text{ e}^7 \text{ N.mm}$

En utilisant ces données les valeurs de contraintes sont les suivantes :

$$\begin{aligned}\sigma_{sup} &= -10.59 \text{ MPa} \\ \sigma_{inf} &= 2.38 \text{ MPa}\end{aligned}$$

En face supérieure, la contrainte analytique obtenue est une contrainte de compression égale à 10.59 MPa quasiment équivalente à celle obtenue numériquement (-10.4 MPa) en modélisant cette prédalle sous le logiciel aux éléments finis ANSYS.

En face inférieure, la contrainte analytique obtenue est une contrainte de traction égale à 2.38 MPa quasiment équivalente à celle obtenue numériquement (2.40 MPa) en modélisant cette prédalle sous le logiciel aux éléments finis ANSYS.

En prenant en compte le poids propre de la prédalle, cette vérification comparant l'analytique au numérique permet de valider l'application de la précontrainte numérique et de constater que la prédalle est fléchie avec la combinaison de charge précontrainte + poids propre.