SSNL127 - Essai de traction avec le modèle CORR_ACIER

Résumé :

Ce test de mécanique quasi - statique non linéaire permet de valider le modèle élasto-plastique endommageable CORR_ACIER.

6 modélisations permettent de valider le comportement :

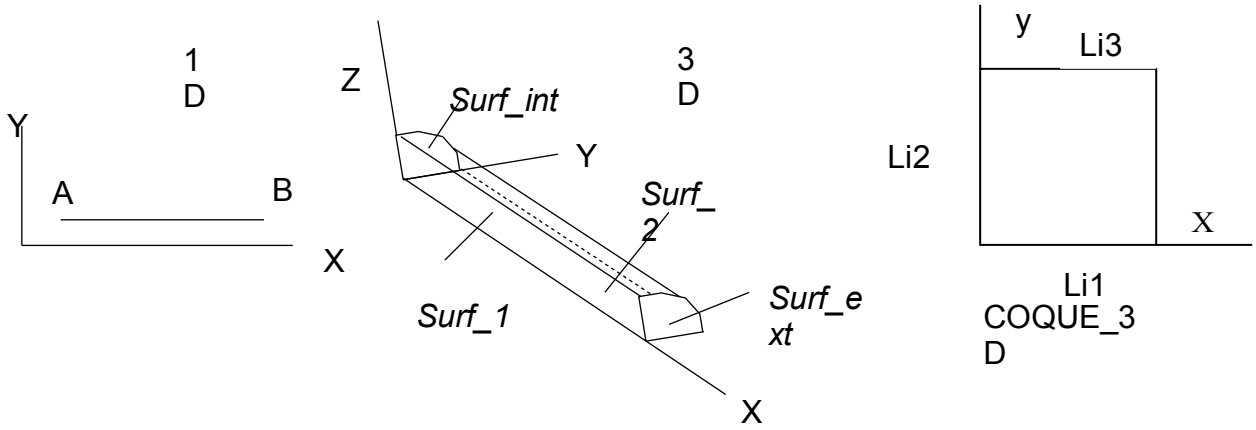
1) les modélisations A, B, C en $1D$ pour les éléments BARRE, POU_D_EM, POU_D_TGM ;
2) la modélisation D en 3D dans le cas d'une éprouvette axisymétrique (état de contraintes et de déformation homogène) soumise à un essai de traction simple ; la modélisation 3D de l'éprouvette est réalisée avec des éléments CU20 ;
3) la modélisation E en COQUE_3D dans le cas d'une plaque soumise à une traction simple, avec une maille QUAD9 ;
4) la modélisation F valide pour les éléments POU_D_EM, le bon fonctionnement en flexion et la prise en compte de la dilatation thermique.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

La géométrie est choisie volontairement simple, pour traduire un état de contraintes et de déformations homogène, comme c'est le cas en traction uniaxiale. Dans le cas $1D$ et $3D$, il s'agit ici d'une barre de diamètre $\varphi = 6\,mm$ et de longueur $L = 0.1\,m$. En $3D$, on ne maille qu'un quart de la barre. La traction se fait à déplacement imposé en $1D$ et $3D$ avec la longueur de l'éprouvette. Dans le cas COQUE_3D, la plaque est carrée de côté , et d'épaisseur $\pi\frac{\varphi^2}{4}$ (pour que les efforts soient identiques au cas $1D$).



Pour le cas en flexion avec dilatation thermique, 4 barres sont utilisées au lieu d'une, excentrées symétriquement en Y et Z de $e_y = e_z = 2.5\,mm$.

1.2 Propriétés du matériau

Module d' YOUNG = $2.E11\,Pa$
Coefficient de Poisson $\nu = 0.3$
Coefficient de dilatation thermique $\alpha = 1.2E\text{-}5$

Mot clé CORR_ACIER :
Coefficient d'endommagement D_CORR = 0.2
Paramètres d'écrouissage ECRO_K = $500\,MPa$
Limite d'élasticité ECRO_M = 2.781
SY = $500.\,MPa$

1.2.1 Modélisation en traction pure

Le degré de corrosion est déterminé à l'aide de la commande CREA_CHAM :
NOM_CMP = 'CORR' VALE = 0.0 %, 2.5 % et 13 %

1.2.2 Modélisation en flexion avec dilatation thermique

Le degrès de corrosion est nul :
NOM_CMP = 'CORR' VALE = 0.0 %
Le champ de température imposée varie linéairement de $T_{ini} = 20°$ jusqu'à $T_{final} = 120°$.

1.3 Conditions aux limites et chargements

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1.3.1 Modélisation 1D

Déplacements DX DZ et DY bloqués au point A
Déplacement DX et DZ imposé au point B

1.3.2 Modélisation 3D

Déplacement DX empêché sur $Surf_{\text{int}}$
Déplacement DY empêché sur $Surf_1$
Déplacement DZ empêché sur $Surf_2$
Déplacement DX imposé sur $Surf_{ext}$

Modélisation COQUE_3D :
Déplacement DX empêché sur $Li4$
Déplacement DY empêché sur $Li1$
Déplacement DX imposé sur $Li3$

1.3.3 Modélisation en flexion avec dilatation thermique

Encastrement au point A ,
On impose selon Y une force F_y au point B de manière a se placer à la limite élastique.

Sachant qu'au point A on a $M_z = F_y L$ d'une part, et $M_z = 4\, e_y\, \sigma_{xx}\, \pi \frac{\varphi^2}{4}$ d'autre part, et qu'à la limite élastique $\sigma_{xx} = SY$ on impose alors $F_z = 4\, e_y\, SY\, \pi \frac{\varphi^2}{4} \frac{1}{L} \simeq 1413.7167\, N$.

1.4 Conditions initiales

Contraintes et déformations nulles.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

La solution de référence est constituée par les résultats des essais de traction réalisés sur des barres corrodées (le diamètre initial est $6\,mm$). Suite à ces essais, on constate la diminution de la déformation plastique à rupture avec augmentation du degré de corrosion.

2.2 Résultats de référence

Évolution de la déformation plastique à rupture des barres corrodées en fonction du degré de corrosion (la réduction du diamètre de barres ou de l'épaisseur de renforcement plat par rapport à ceux non corrodés) est présentée sur la [Figure 2.2-a] et la [Figure 2.2-b].

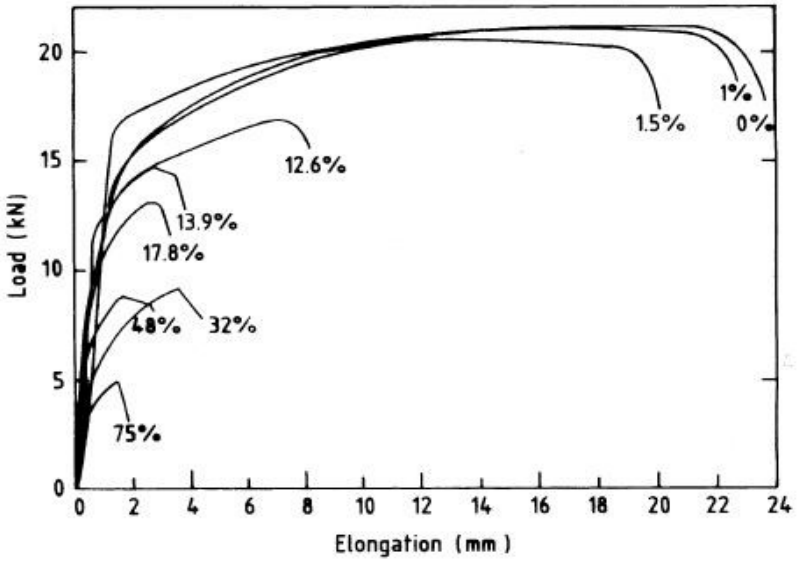


Figure 2.2.a Influence de la corrosion sur le comportement de l'acier en fonction du taux de corrosion

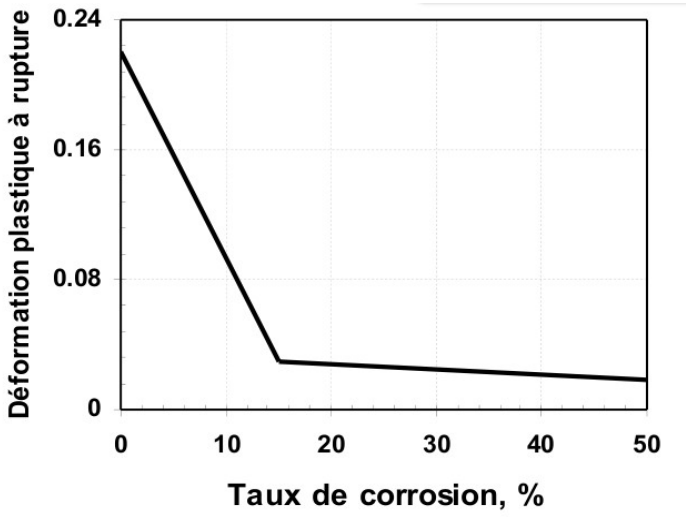


Figure 2.2.b Évolution de la déformation plastique à rupture en fonction du taux de corrosion

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2.2.1 Modélisation en flexion avec dilatation thermique

En se plaçant à la limite élastique la solution de référence est analytique.

Au point B on a :

$$u_x = \alpha\left(T_{final} - T_{ini}\right) L ,$$
$$u_y = \frac{F_y L^3 \left(4 + \Phi_y\right)}{12 E I_z} ,$$
$$\theta_z = \frac{L^2 F_y}{2 E I_z} ,$$

avec $\varphi_y = 0$ et $I_z = 4 e_y^2 \pi \frac{\varphi^2}{4}$.

Au point A on a :

$$V_y = F_y ,$$
$$M_z = F_y L$$

2.3 Incertitudes sur la solution

Précision des codes.

2.4 Références bibliographiques

1) A.A. ALMUSALLAM : “Effect of degree of corrosion on the properties of reinforcing steel bars”, Construction and Building Materials 15, 2001.

2) A. OUGLOVA, Y. BERTHAUD, I. PETRE-LAZAR : “Caractérisation expérimentale de la corrosion des aciers dans le béton sur des analogues anciens. Première approche de modélisation“, HT-25/02/030/A, EDF, 2002.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'un élément BARRE. Le déplacement maximum au point B est de $0.021\,m$, il est atteint en 50 incréments.

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 11
Nombre de mailles et type : 10 (SEG2)

3.3 Grandeurs testées et résultats

Les efforts maximum (en N) sont :

Identification	Déplacement imposé (m)	Référence
0 % de corrosion	0.019	21857.1
2.5 % de corrosion	0.0164	21451.6
13 % de corrosion	0.0075	19610.1

les efforts correspondant au déplacement maximum au point B sont :

Identification	Déplacement imposé (m)	Référence
0 % de corrosion	0.02	21193.7
2.5 % de corrosion	0.018	20557.6
13 % de corrosion	0.008	18758.6

La déformation plastique équivalente cumulée maximum vaut :

Identification	Déplacement imposé (m)	Référence
0 % de corrosion	0.02	0.19625
2.5 % de corrosion	0.018	0.17636
13 % de corrosion	0.008	0.07668

L'endommagement vaut :

Identification	Déplacement imposé (m)	Référence
0 % de corrosion	0.0192	0.00229
2.5 % de corrosion	0.0164	0.01371
13 % de corrosion	0.0075	0.01188

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'un élément POU_D_EM (poutre multi-fibres). Le déplacement maximum au point B est de $0.021 m$, il est atteint en 50 incréments.

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 11
Nombre de mailles et type : 10 (SEG2)

4.3 Grandeurs testées et résultats

Les efforts maximum (en N) sont :

Identification	Déplacement imposé (m)	Référence
0 % de corrosion	0.019	21857.1
2.5 % de corrosion	0.0164	21451.6
13 % de corrosion	0.0075	19610.1

les efforts correspondant au déplacement maximum au point B sont :

Identification	Déplacement imposé (m)	Référence
0 % de corrosion	0.02	21193.7
2.5 % de corrosion	0.018	20557.6
13 % de corrosion	0.008	18758.6

La déformation plastique équivalente cumulée maximum vaut :

Identification	Déplacement imposé (m)	Référence
0 % de corrosion	0.02	0.19625
2.5 % de corrosion	0.018	0.17636
13 % de corrosion	0.008	0.07668

L'endommagement vaut :

Identification	Déplacement imposé (m)	Référence
0 % de corrosion	0.0192	0.00229
2.5 % de corrosion	0.0164	0.01371
13 % de corrosion	0.0075	0.01188

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'un élément POU_D_TGM (poutre multi-fibres). Le déplacement maximum au point B est de $0.021\mathrm{m}$, il est atteint en 50 incréments.

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 11
Nombre de mailles et type : 10 (SEG2)

5.3 Grandeurs testées et résultats

Les efforts maximum (en N) sont :

Identification	Déplacement imposé (m)	Référence
0 % de corrosion	0.019	21857.1
2.5 % de corrosion	0.0164	21451.6
13 % de corrosion	0.0075	19610.1

les efforts correspondant au déplacement maximum au point B sont :

Identification	Déplacement imposé (m)	Référence
0 % de corrosion	0.02	21193.7
2.5 % de corrosion	0.018	20557.6
13 % de corrosion	0.008	18758.6

La déformation plastique équivalente cumulée maximum vaut :

Identification	Déplacement imposé (m)	Référence
0 % de corrosion	0.02	0.19625
2.5 % de corrosion	0.018	0.17636
13 % de corrosion	0.008	0.07668

L'endommagement vaut :

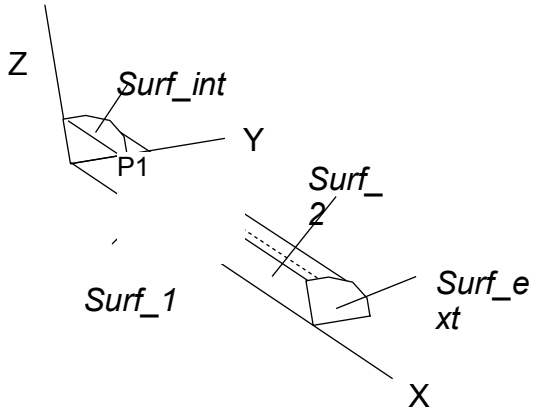
Identification	Déplacement imposé (m)	Référence
0 % de corrosion	0.0192	0.00229
2.5 % de corrosion	0.0164	0.01371
13 % de corrosion	0.0075	0.01188

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'une modélisation 3D.



6.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 39
Nombre de mailles et type : 3 (HEXA20)

6.3 Grandeurs testées et résultats

Les efforts maximum (en N) sont :

Identification	Déplacement imposé (m)	Référence
0 % de corrosion	0.019	7.730 10^{8}
2.5 % de corrosion	0.0164	7.588 10^{8}
13 % de corrosion	0.0075	6.936 10^{8}

les efforts correspondant au déplacement maximum au point B sont :

Identification	Déplacement imposé (m)	Référence
0 % de corrosion	0.02	7.487 10^{8}
2.5 % de corrosion	0.018	7.261 10^{8}
13 % de corrosion	0.008	6.612 10^{8}

La déformation plastique équivalente cumulée maximum vaut :

Identification	Déplacement imposé (m)	Référence
0 % de corrosion	0.02	0.19625
2.5 % de corrosion	0.018	0.17636
13 % de corrosion	0.008	0.07668

L'endommagement vaut :

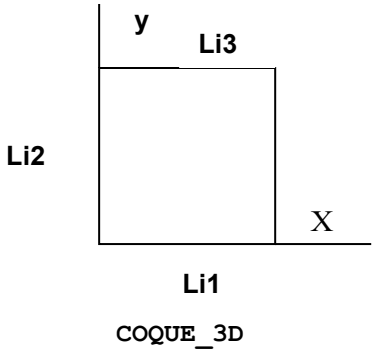
Identification	Déplacement imposé (m)	Référence
0 % de corrosion	0.0192	0.00345
2.5 % de corrosion	0.0164	0.01505
13 % de corrosion	0.0075	0.015

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'une modélisation COQUE_3D.



7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 9
Nombre de mailles et type : 1 (QUAD9)

7.3 Grandeurs testées et résultats

Les efforts maximum (en N) sont :

Identification	Déplacement imposé (m)	Référence	Tolérance
0 % de corrosion	0.019	21857.1	4,00%
2.5 % de corrosion	0.0164	21451.6	7,00%
13 % de corrosion	0.0075	19610.1	4,00%

les efforts correspondant au déplacement maximum au point B sont :

Identification	Déplacement imposé (m)	Référence	Tolérance
0 % de corrosion	0.02	21193.7	2,00%
2.5 % de corrosion	0.018	20557.6	1,00%
13 % de corrosion	0.008	18758.6	0.5 %

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

8 Modélisation F

8.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'une modélisation POU_D_EM (poutre multi-fibres). Ce test permet de couvrir les routines non-linéaires des poutres multi-fibres pour la loi de comportement CORR_ACIER pour la flexion et la dilatation thermique.

8.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 11
Nombre de mailles et type : 10 (SEG2)

8.3 Grandeurs testées et résultats

On teste le déplacement longitudinal u_x correspondant à la dilatation thermique au point B :

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Précision
DX au point B	'ANALYTIQUE'	1.2e-4 m	1.E-6 %

On teste la flèche u_y et l'angle θ_z au point B :

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Précision
DY au point B	'ANALYTIQUE'	3.333333333333333e-03 m	1.E-6 %
DRZ au point B	'ANALYTIQUE'	5.e-02	1.E-6 %

On teste l'effort V_y et le moment M_z au point A :

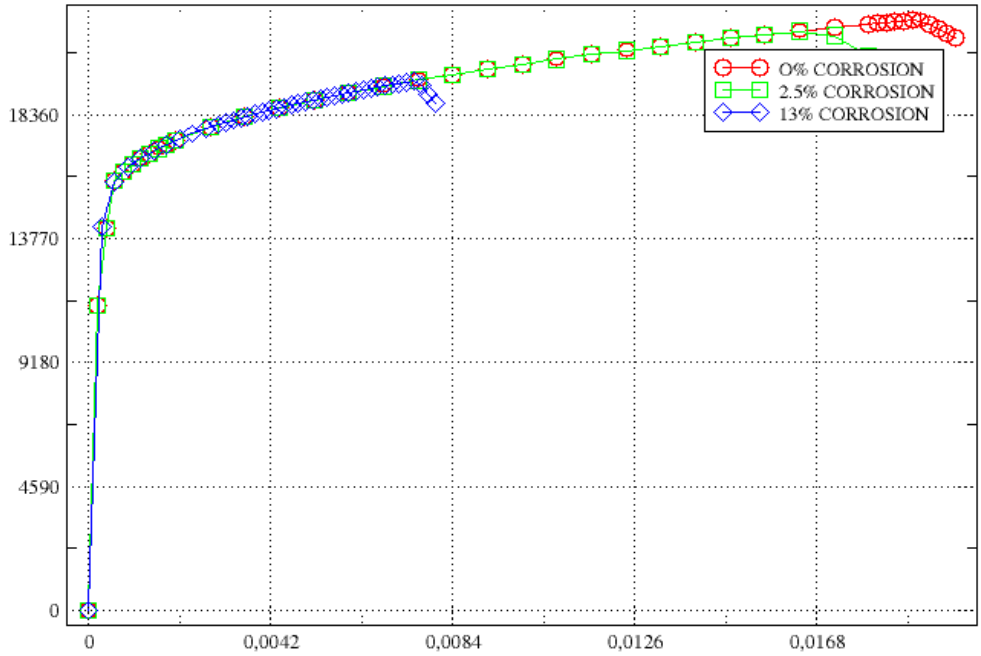
Identification	Type de référence	Valeur de référence	Précision
VY au point A	'ANALYTIQUE'	1413.7167 N	1.E-6 %
MFZ au point A	'ANALYTIQUE'	141.37167 N / m	1.E-6 %

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

9 Synthèse des résultats

Pour les modélisations A, B, C, D, E les résultats correspondent bien à ceux obtenus expérimentalement.

Les courbes effort-déplacement obtenues pour les 3 taux de corrosion testés sont les suivantes :



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)