

Chapitre IV

Exploitation du programme

IV.1. Introduction :

Dans le chapitre précédent nous avons donné une présentation générale du logiciel Castem2000. Nous avons aussi choisi l'élément quadratique à huit nœuds pour l'étude paramétrique que nous allons mener sur le comportement des poutres ajourées au travers l'effet de la forme de l'ouverture dans ce chapitre, où nous allons tester ce code de calcul pour divers exemples. Il s'agit de poutres métalliques à une seule travée de longueurs différentes et qui comportent des ouvertures de type rectangulaires ou circulaires dans l'âme, avec des conditions aux limites et des sollicitations représentatives des différents cas envisageables.

Nous étudierons alors, des poutres isostatiques, chargées soit par une ou deux charges ponctuelles, soit par une charge uniformément répartie. Chacune des différentes configurations considérées est illustrée par des figures dans chaque exemple.

Afin de prédire l'effet de la forme de l'ouverture Les étapes suivantes seront suivies :

- Dans la première étape, nous présentons une validation des résultats obtenus théoriques, sur le calcul des contraintes et de la flèche.
- Dans la deuxième étape, nous présentons les résultats se rapportant à des poutres ayant des sections en I, d'un calcul sur la flèche et la contrainte ainsi que l'évolution du déplacement en fonction de la charge à l'état élastique.

Cette étude est basée sur le calcul des poutres métalliques à section en I comportant des évidements d'âme sous l'effet de la flexion simple dans le domaine élastique; plusieurs exemples ont été traités.

IV.2. Validation du programme Castem2000 sur une poutre ajourée :

Silvio Hong Tiing Tai [23] a étudié numériquement une poutre, de grande dimension, de longueur 30.6m comportant 12 ouvertures d'âme avec des mailles carrées de dimension 200mm. La poutre est sous l'effet d'une charge uniformément répartie de 10daN/mm. Nous allons donc comparer ses résultats avec les valeurs numériques obtenues grâce au logiciel castem2000.

La géométrie de la poutre et les caractéristiques géométriques de la poutre sont présentées sur la figure IV.2.1 et le tableau IV.2.1 respectivement. Il est à signaler que la troisième dimension est prise en compte dans notre programme ceci est pour se rapprocher de plus en plus du cas réel.

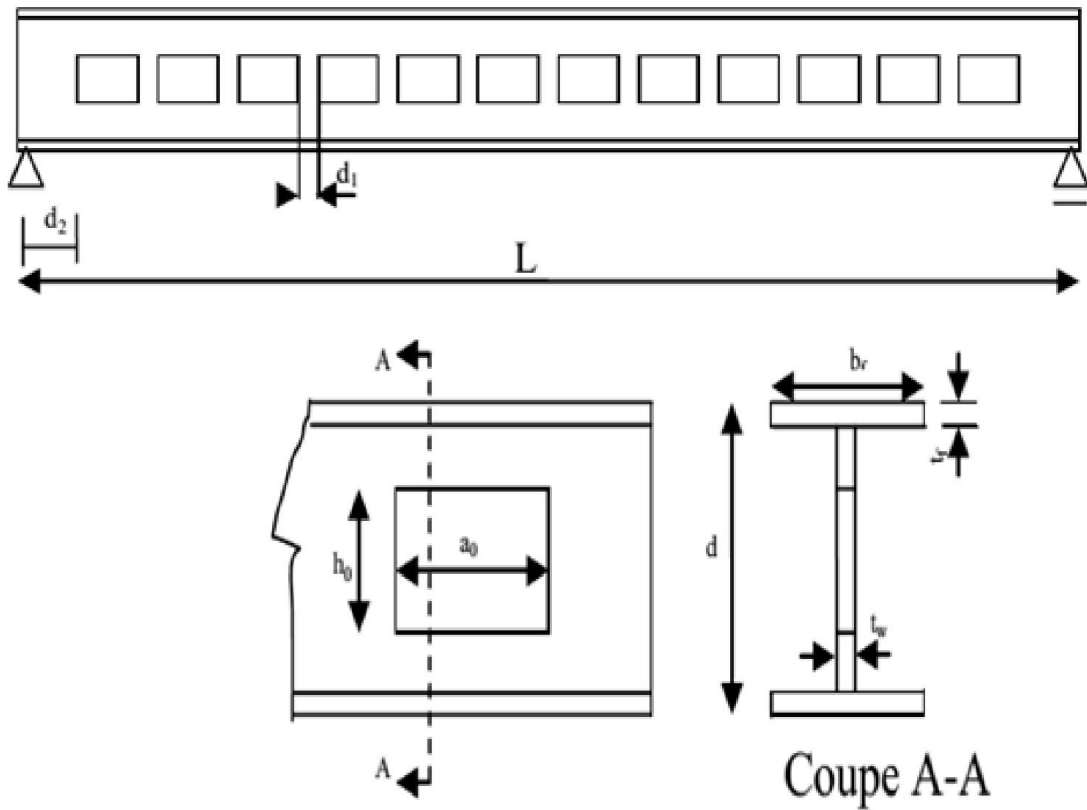
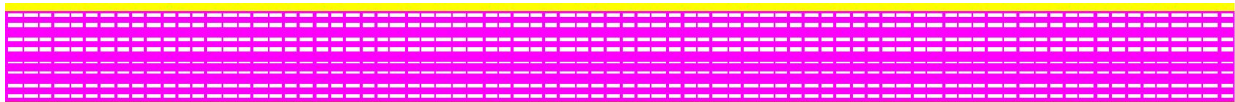


Fig. IV.2.1: Géométrie de la poutre.

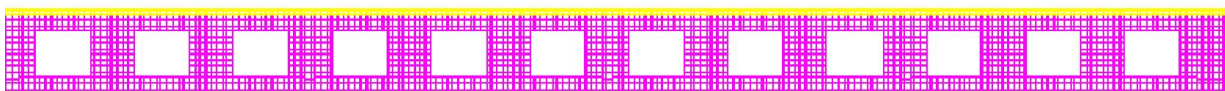
L(m)	b(m)	b _f (m)	t _f (m)	t _w (m)	a ₀ (m)	h ₀ (m)	d ₂ (m)	d ₁ (m)
30.60	1.80	0.80	0.005	0.018	1.30	0.95	2.00	1.00

Tableau IV.2.1: caractéristiques géométriques de la poutre.

La poutre à âme pleine a été discrétisée en 1760 éléments et la poutre évidée a été discrétisée en 2880 éléments (voir Fig. IV.2.2).



a - Poutre à âme pleine.



b - Poutre à âme évidée.

Fig. IV.2.2 : discrétisation de la poutre en éléments finis.

Les valeurs numériques de la contrainte normale et de la flèche, obtenues à mi portée des poutres étudiées sont représentées dans le tableau IV.2.2 Ces résultats sont comparés à ceux obtenus par Silvio Hong Tiing Tai [23].

Poutre	Contrainte au milieu (Mpa)		Ecart en %	Déplacement vertical au milieu (mm)		Ecart en %
	[S6]	Castem 2000		[S6]	Castem 2000	
pleine	152.30	153.71	0.91	84.40	84.93	0.62
Evidée	154.80	154.58	0.14	101.60	100.82	0.76

Tableau IV.2.2 : comparaison des résultats.

Le tableau IV.1.2, qui peut être considéré comme un récapitulatif des résultats obtenus, donne aussi le pourcentage de différence de chaque résultat calculé par le programme Castem2000 par rapport à celui obtenu par [23] pour les deux cas de poutres.

A partir de ce tableau, on remarque que l'écart entre les valeurs des contraintes ainsi de la flèche obtenues par le logiciel castem2000 et celles donnés par Silvio Hong Tiing Tai [23] à mi-portée est pratiquement nul.

IV.3. Comparaison des résultats sur le calcul des efforts internes :

Dans ce paragraphe, nous allons tester le code de calcul Castem2000 adopté par un exemple traité sur le calcul du moment fléchissant et de l'effort normal d'une solive d'un plancher métallique comportant cinq ouvertures d'âme positionnées symétriquement comme le montre la figure IV.3.1.

Les résultats se sont obtenus en comparant entre les deux formes d'ouvertures circulaires et rectangulaires respectivement.

La géométrie de la poutre et les données de cet exemple, ainsi le diagramme de moment de flexion sont présentés sur la figure IV.3.1.

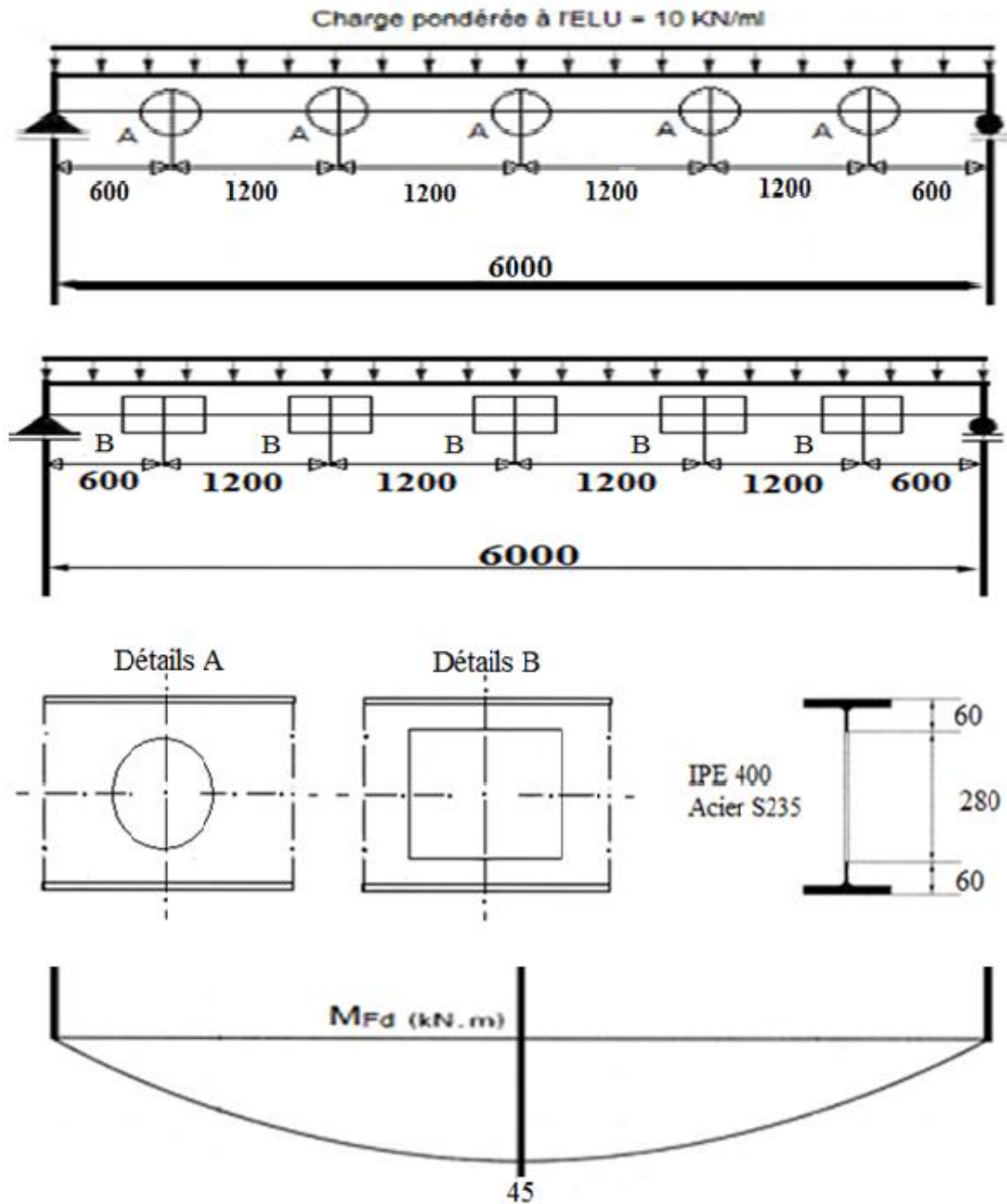


Fig. IV.3.1: géométrie de la poutre et le diagramme du moment de flexion.

Les variations des contraintes normales obtenues par Castem2000 sont présentées par la figure IV.3.2.

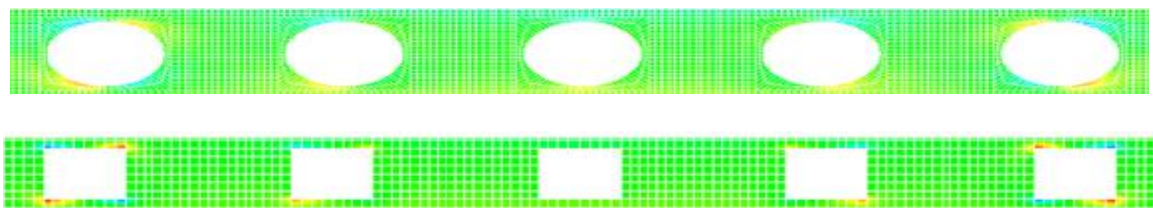


Fig. IV.3.2: Variation des contraintes normales (σ_{xx}).

Dans le tableau suivant on présente les résultats obtenus par les deux méthodes théoriques et numériques (castem2000) des valeurs du moment fléchissant ainsi la déduction de l'effort normal élastique à mi-portée de la poutre au niveau de l'ouverture centrale.

Ouverture	Rectangulaire	Circulaire	Effort R/Effort C
moment fléchissant (KN.m) à mi-portée de la poutre	43	41	1.05
Effort normal élastique N (KN)	169	157	1.08

Tableau IV.3.1: valeurs de l'effort interne.

On peut constater que l'écart en pourcentage des sollicitations est dans l'ordre de 8%.

IV.4. Etude de deux poutres comportant deux ouvertures de formes distinctes respectivement :

Pour cet exemple, une étude est effectuée sur la flèche (δ) et sur la contrainte normal (σ) à mi-portée d'une poutre de portée 5 m. cette poutre comporte deux ouvertures soumise sous l'effet de chacune des deux types de chargement, une fois par une charge concentrée appliqué à mi-portée et une autre fois par une charge uniformément répartie. Cet exemple a pour but de confirmer la convergence des résultats obtenus par le programme castem2000 avec les résultats obtenus théoriquement. Il est à signaler que la poutre est sollicitée par un chargement progressif (avec un pas de charge de 10KN).

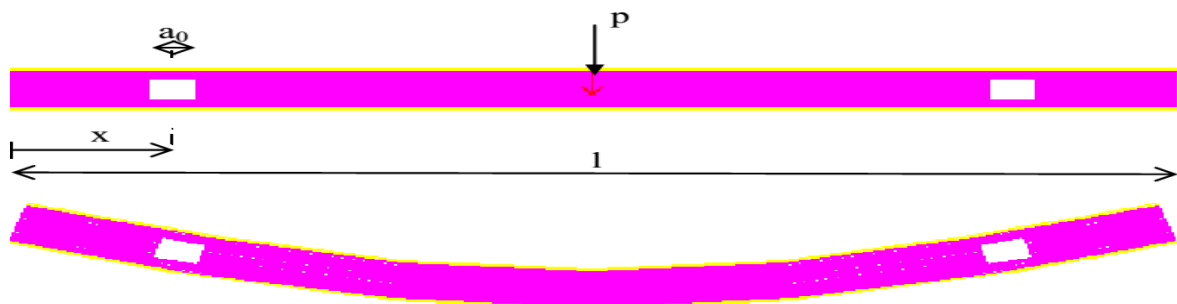
Les caractéristiques géométriques de la poutre sont présentées sur le tableau IV.4.1

L_p (mm)	D (mm)	b_f (mm)	t_f (mm)	t_w (mm)	a_0 (mm)	h_a (mm)	h_o (mm)	X_o (mm)
5000	300	140	10	10	200	150	800	150

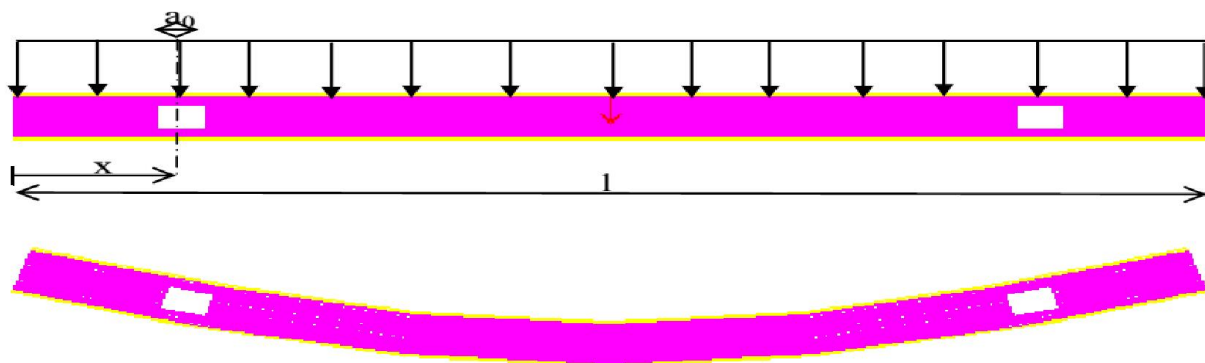
Tableau IV.4.1 : Caractéristiques géométriques de la poutre.

IV.4.1. poutre avec deux ouvertures rectangulaires :

La poutre a été discrétisée en 4448 éléments et 13799 nœuds comme la montre la figure IV.4.1.



a- déformation de la poutre sous l'effet d'un chargement concentré à mi-portée.



b- déformation de la poutre sous l'effet d'un chargement uniformément répartie.

Fig. IV.4.1 : modèle numérique sur la déformation d'une poutre avec ouvertures rectangulaires.

Les résultats numériques obtenus par Castem2000 des valeurs de la flèche et de la contrainte sont comparés à celles obtenus théoriquement dans les deux tableaux IV.4.2 et IV.4.3 respectivement.

Charge (KN)	δ (charge répartie) (mm)		Ecart en %	δ (charge concentrée) (mm)		Ecart en %
	Théorie	Castem2000		théorie	Castem2000	
10	1.006	1.069	6.25%	1.610	1.692	5.10%
20	2.013	2.138	6.25%	3.220	3.385	5.10%
30	3.019	3.208	6.25%	4.831	5.077	5.10%
40	4.026	4.277	6.25%	6.441	6.770	5.10%
50	5.032	5.347	6.25%	8.052	8.463	5.10%

Tableau IV.4.2 : Valeurs de la flèche.

Charge (KN)	σ (charge répartie) (mm)		Ecart en %	σ (charge concentrée) (mm)		Ecart en %
	Théorie	Castem2000		théorie	Castem2000	
10	12.146	12.296	1.23%	24.292	24.044	1.02%
20	24.292	24.592	1.23%	48.584	48.088	1.02%
30	36.438	36.888	1.23%	72.875	72.132	1.02%
40	48.584	49.184	1.23%	97.167	96.176	1.02%
50	60.729	61.480	1.23%	121.46	120.22	1.02%

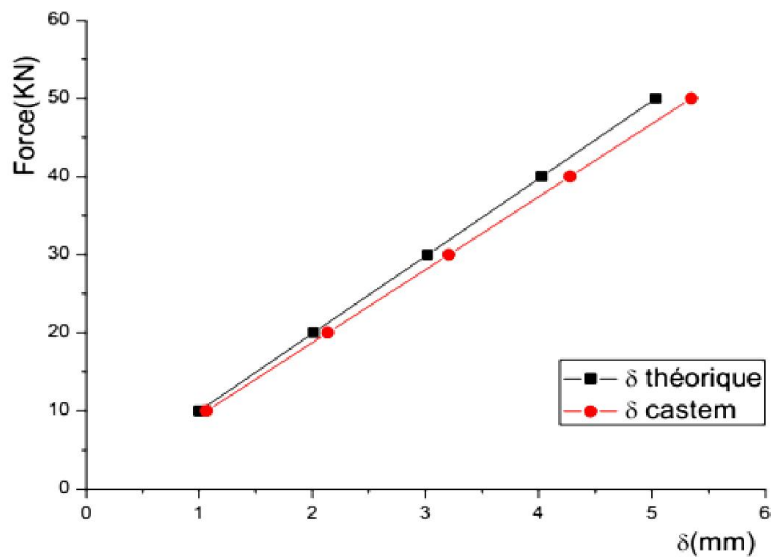
Tableau IV.4.3: valeurs de la contrainte.

D'après les résultats obtenus selon les deux tableaux, il est à constater que :

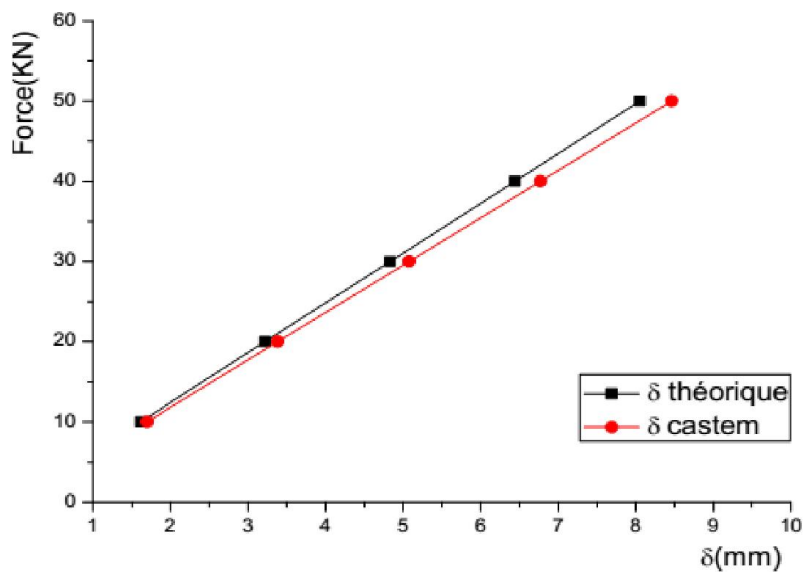
- L'écart en pourcentage entre les valeurs de la flèche à mi-portée de la poutre (δ_r) et (δ_c) obtenues numériquement par castem2000 et celles calculées théoriquement est d'ordre 6.25% pour le cas d'un chargement repartie et d'ordre 5.10 % pour le cas d'un chargement concentré à mi-portée de la poutre.

- L'écart en pourcentage entre les valeurs de la contrainte à mi-portée de la poutre (σ_r) et (σ_c) obtenues numériquement par castem2000 et celles calculées théoriquement est d'ordre 1.23% pour le cas d'un chargement repartie et d'ordre 1.02 % pour le cas d'un chargement concentré à mi-portée de la poutre.

Les valeurs des deux tableaux (IV.4.2 et IV.4.3) sont illustrées par deux graphes représentant l'évolution du déplacement en fonction de la charge (voir Fig. IV.4.2) ainsi par deux graphes représentant l'évolution de la contrainte en fonction de la charge (voir Fig. IV.4.3).

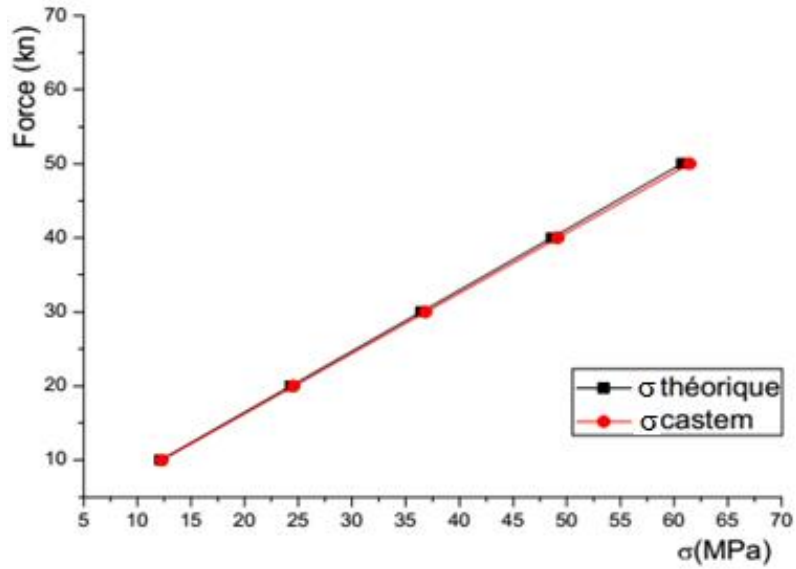


a- évolution déplacement - charge (repartie).

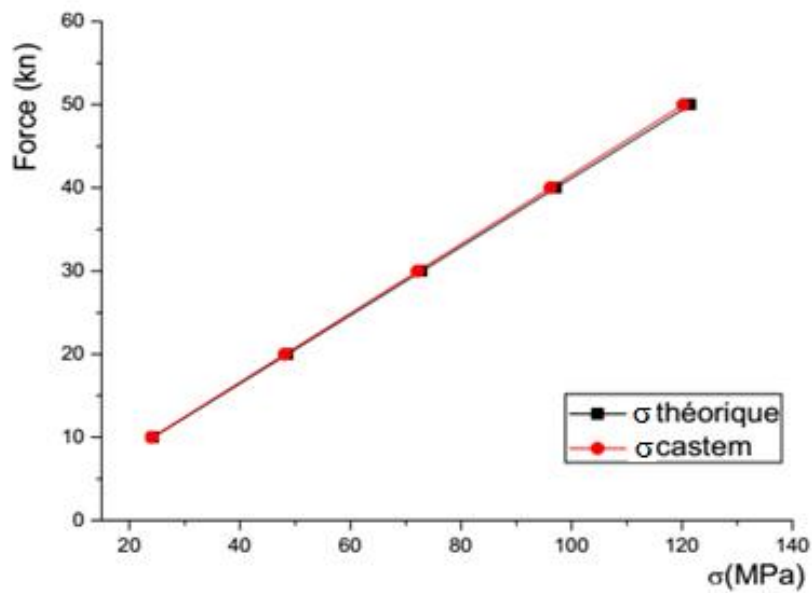


b- évolution déplacement – charge (concentrée).

Fig. IV.4.2: évolution déplacement - charge.



a: évolution contrainte – charge (repartie).



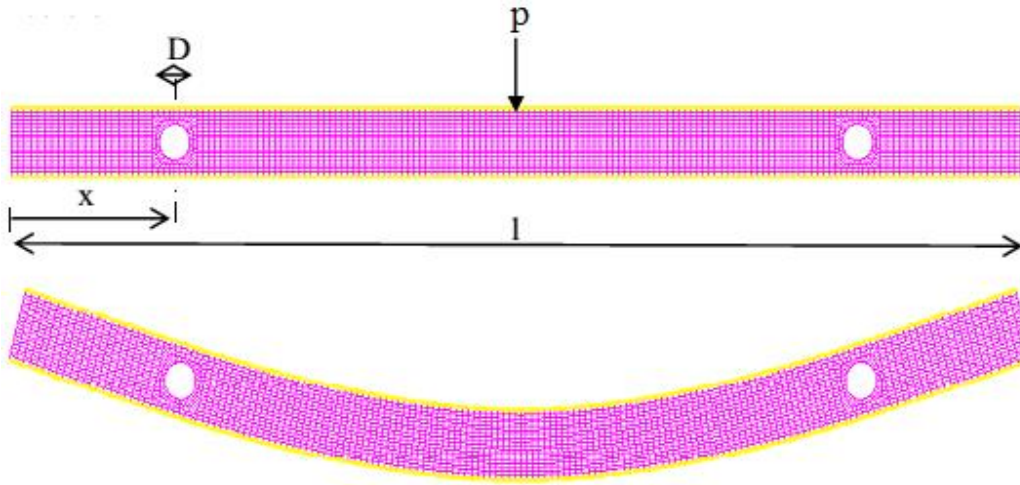
b: évolution contrainte – charge (concentrée).

Fig. IV.4.3: évolution contrainte - charge.

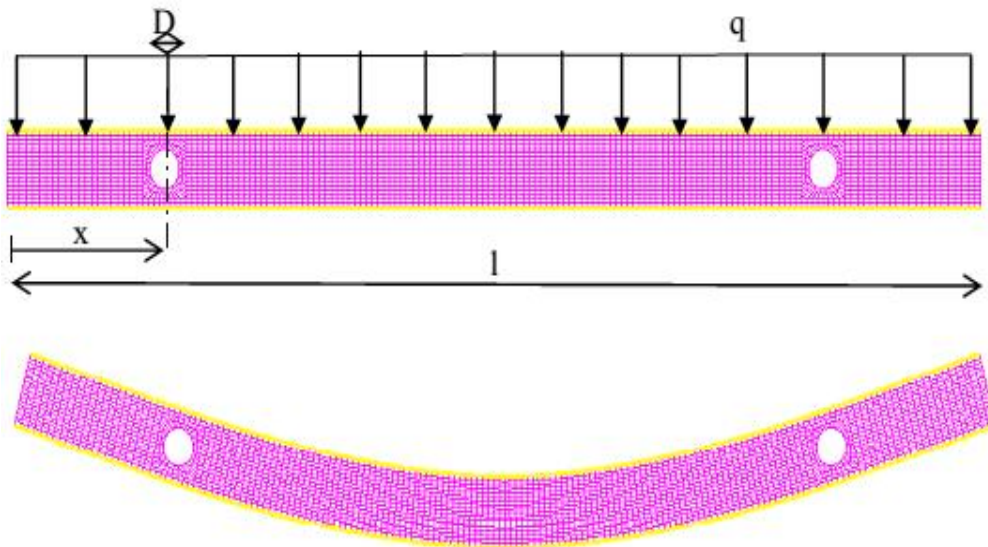
D'après les deux graphes, la concordance des résultats est bien confirmée entre les valeurs obtenues théoriquement et celles obtenues numériquement (castem2000).

IV.4.2. poutre avec deux ouvertures circulaires :

La poutre a été discrétisée en 3888 éléments et 12127 nœuds comme la montre la figure IV.4.4.



a- déformation de la poutre sous l'effet d'un chargement concentré à mi-portée.



b- déformation de la poutre sous l'effet d'un chargement uniformément répartie.

Fig. IV.4.4: modèle numérique sur la déformation d'une poutre avec ouvertures circulaires.

Les résultats numériques obtenus par Castem2000 des valeurs de la flèche et de la contrainte sont comparés à celles obtenus théoriquement dans les deux tableaux IV.4.4 et IV.4.5 respectivement.

Charge (KN)	δ (charge répartie) (mm)		Ecart en %	δ (charge concentrée) (mm)		Ecart en %
	Théorie	Castem2000		Théorie	Castem2000	
10	1.005	1.053	4.83%	1.608	1.668	3.73%
20	2.010	2.107	4.83%	3.216	3.336	3.73%
30	3.015	3.160	4.83%	4.824	5.004	3.73%
40	4.020	4.214	4.83%	6.432	6.672	3.73%
50	5.025	5.267	4.83%	8.040	8.340	3.73%

Tableau IV.4.4 : Valeurs de la flèche.

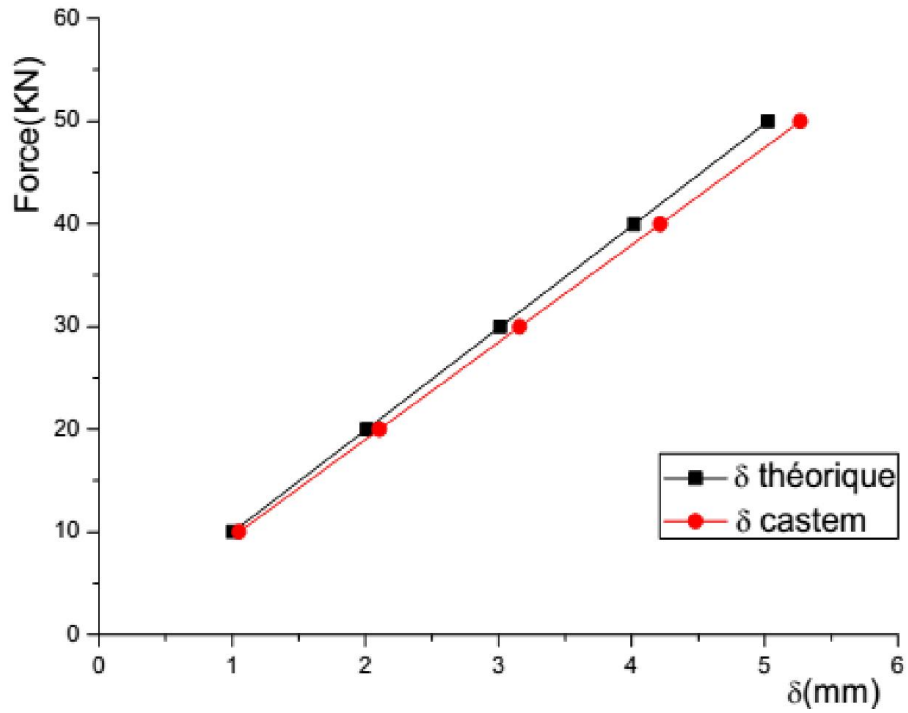
Charge totale (KN)	σ (charge répartie) (mm)		Ecart en %	σ (charge concentrée) (mm)		Ecart en %
	Théorie	Castem2000		Théorie	Castem2000	
10	12.146	12.293	1.21%	24.292	24.054	0.97%
20	24.292	24.587	1.21%	48.584	48.107	0.97%
30	36.438	36.880	1.21%	72.875	72.161	0.97%
40	48.584	49.173	1.21%	97.167	96.215	0.97%
50	60.729	61.467	1.21%	121.46	120.27	0.97%

Tableau IV.4.5 : Valeurs de la contrainte.

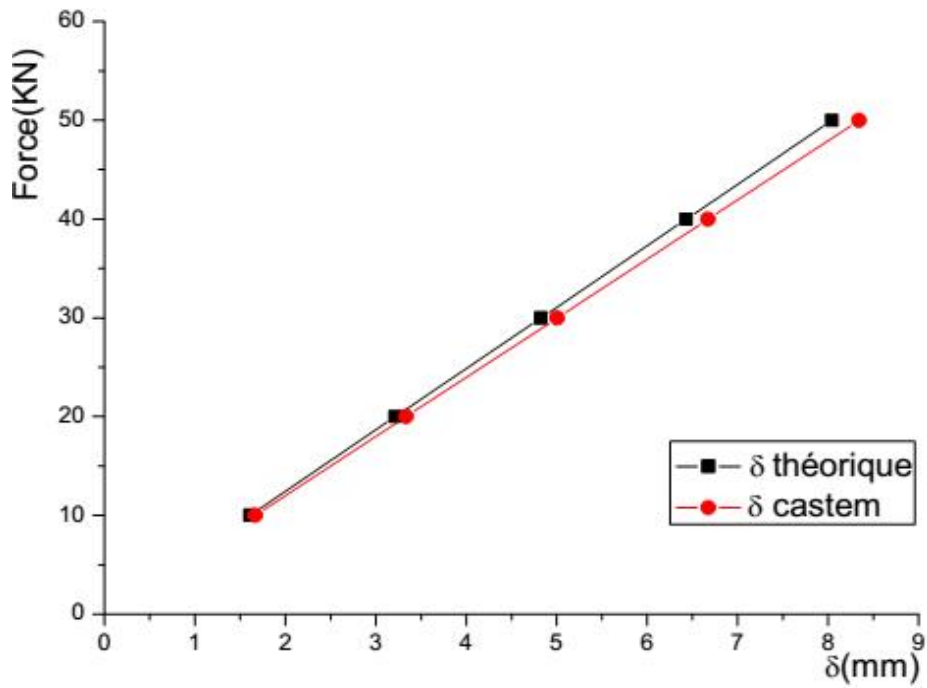
D'après les résultats obtenus selon les deux tableaux, il est à constater que :

- L'écart en pourcentage entre les valeurs de la flèche à mi-portée de la poutre (δ_r) et (δ_c) obtenues numériquement par castem2000 et celles calculées théoriquement est d'ordre 4.83 % pour le cas d'un chargement répartie et d'ordre 3.73 % pour le cas d'un chargement concentré à mi-portée de la poutre.
- L'écart en pourcentage entre les valeurs de la contrainte à mi-portée de la poutre (σ_r) et (σ_c) obtenues numériquement par castem2000 et celles calculées théoriquement est d'ordre 1.21% pour le cas d'un chargement répartie et d'ordre 0.97 % pour le cas d'un chargement concentré à mi-portée de la poutre.

Les valeurs des deux tableaux (IV.4.4 et IV.4.5) sont illustrées par deux graphes représentant l'évolution du déplacement en fonction de la charge (Fig. IV.4.5) ainsi par deux graphes représentant l'évolution de la contrainte en fonction de la charge (Fig. IV.4.6).

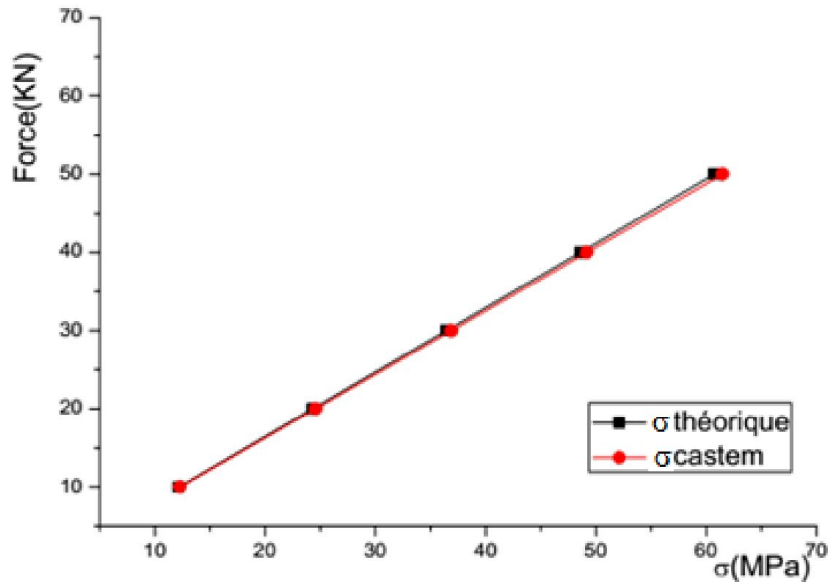


a: évolution déplacement – charge (repartie).

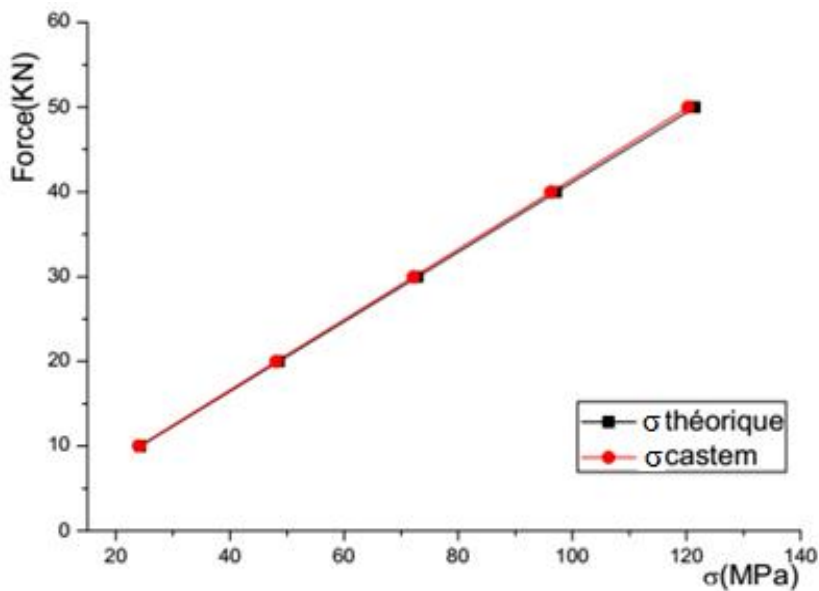


b: évolution déplacement – charge (concentrée).

Fig. IV.4.5: évolution déplacement - charge.



a: évolution contrainte – charge (repartie).



b: évolution contrainte – charge (concentrée).

Fig. IV.4.6: évolution contrainte - charge.

D'après les deux graphes, la concordance des résultats est bien confirmée entre les valeurs obtenues théoriquement et celles obtenues numériquement (castem2000).

Pour une mieux interpréter les résultats obtenus ci-dessus afin de montrer l'effet d'une ouverture par rapport à l'autre, il est bien remarqué que les valeurs de la flèche de la poutre avec ouvertures rectangulaires sont légèrement grandes par rapport à celles de la poutre avec ouvertures circulaires, alors que les valeurs de la contrainte sont du même ordre de grandeur pour les deux types d'ouvertures.

IV.5. Influence du type d'ouverture :

Nous allons montrer dans ce qui suit l'influence du type d'ouvertures sur le comportement des poutres. On compare entre les poutres à ouvertures rectangulaires et les poutres à ouvertures circulaires de portées 6m en augmentant à chaque fois le nombre des ouvertures selon leur positionnement (Fig. IV.5.1), sous l'effet de deux types de charges différents (Fig. IV.5.2).

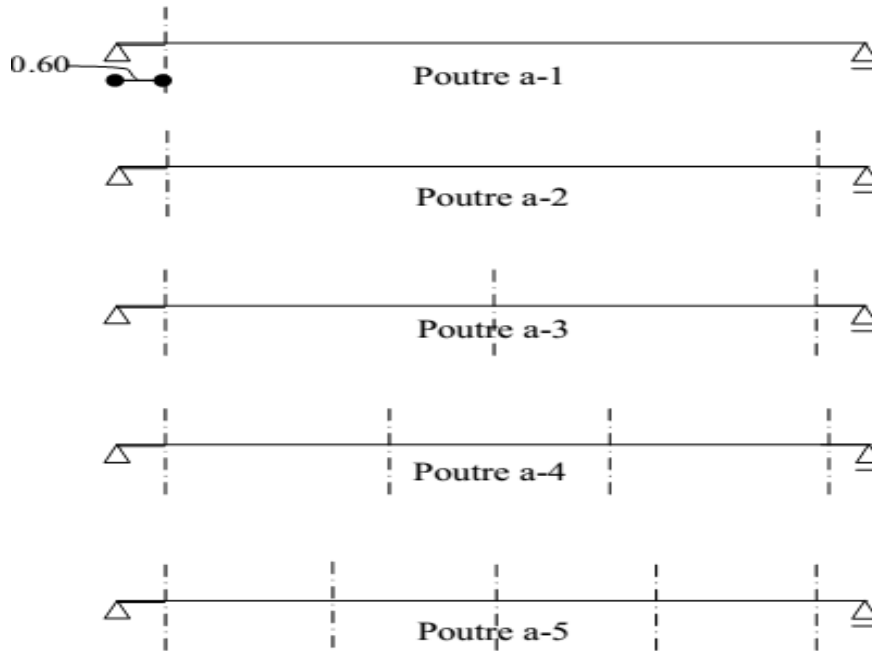
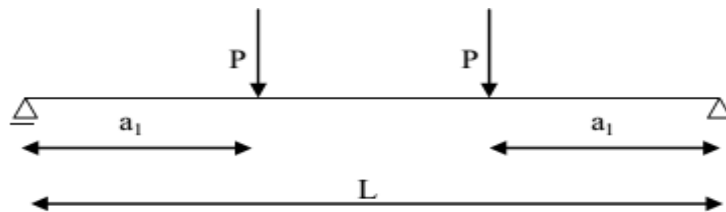


Fig. IV.5.1: positionnement des ouvertures.

Les deux types de charges appliquées dans cette étude sont:

a) deux charges concentrées :



b) charge uniformément répartie :

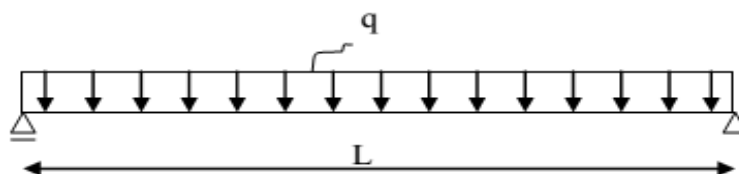


Fig. IV.5.2: type et positionnement de charge.

Le traitement numérique par le programme Castem2000 a été fait sur le calcul de la flèche à mi-portée de la poutre ainsi que sur le calcul de la contrainte normale de la poutre

aux deux niveaux A et B de l'ouverture comme le montre la figure IV.5.3 et la contrainte à mi-portée de la poutre.

Il est à noter que la contrainte normale au niveau A de l'ouverture est la contrainte maximale dans toute la poutre.

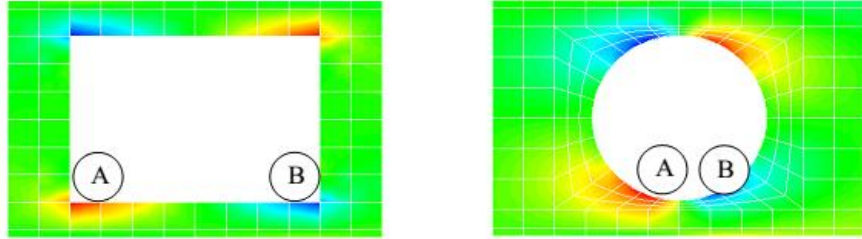


Fig. IV.5.3: les deux niveaux de l'ouverture où les contraintes sont maximales.

Le tableau IV.5.1 présente les caractéristiques géométriques des poutres étudiées

L (m)	d (m)	b _f (m)	t _f (m)	t _w (m)	a ₀ (m)	a ₁ (m)	h ₀ = d ₀ (m)
6.00	0.40	0.18	0.0135	0.0086	0.40	1.2	0.24

Tableau IV.5.1: Caractéristiques géométriques des poutres.

Les résultats obtenus des contraintes sont présentés dans les tableaux (IV.5.2 et IV.5.4) et ceux des déformations sont présentés dans les tableaux (IV.5.3 et IV.5.5).

Pour une meilleure analyse du comportement de la poutre, on présente la variation de la contrainte (Fig. IV.5.4 et Fig. IV.5.6) et la déformation (Fig. IV.5.5 et Fig. IV.5.7) le long de l'élément pour chaque cas de chargement.

*** Cas de deux charges concentrées symétriques de 5 kN chacune:**

Poutre	Contrainte (Mpa)					
	Ouverture rectangulaire			Ouverture circulaire		
	Niveau A	Niveau B	Milieu	Niveau A	Niveau B	Milieu
a-1	+56.3	-51.0	+5.505	+10.9	-8.36	+5.472
a-2	+56.4	-51.0	+5.509	+10.9	-8.36	+5.485
a-3	+56.4	-51.0	+5.633	+10.9	-8.36	+5.267
a-4	+56.4	-51.0	+5.485	+10.9	-8.36	+5.454
a-5	+58.5	-53.0	+5.634	+11.0	-8.40	+5.315

Tableau IV.5.2: résultats des contraintes.



Poutre a-1: variation de la contrainte.



Poutre a-2: variation de la contrainte.



Poutre a-3: variation de la contrainte.



Poutre a-4: variation de la contrainte.



Poutre a-5: variation de la contrainte.

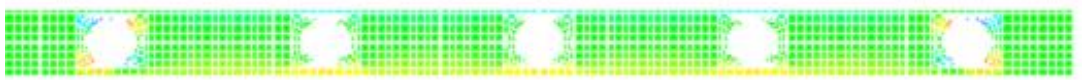
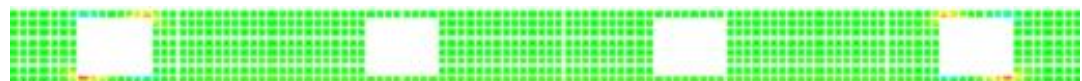


Fig. IV.5.4: Variation de la contrainte sous l'effet des deux charges concentrées.

Déplacement (mm) à mi-portée de la poutre					
Poutre	a-1	a-2	a-3	a-4	a-5
Ouverture rectangulaire	0.652	0.720	0.722	0.726	0.729
Ouverture circulaire	0.589	0.598	0.598	0.599	0.606

Tableau IV.5.3: résultats des déformations à mi-portée des poutres.

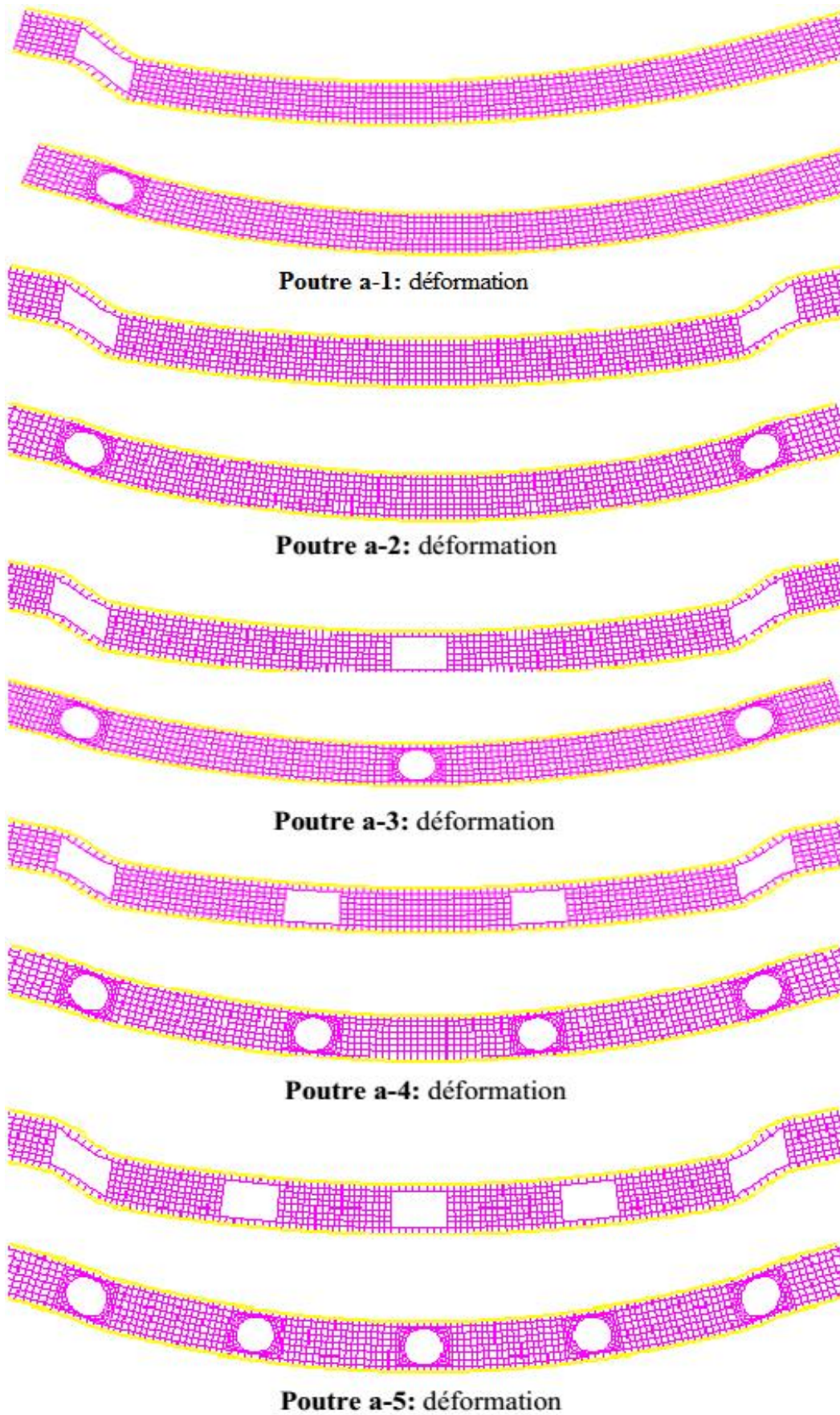


Fig. IV.5.5: Déformation des poutres sous l'effet des deux charges concentrées.

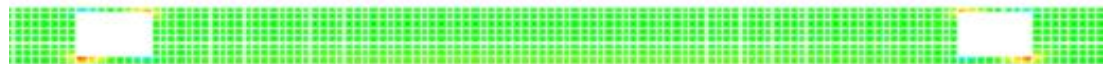
* Cas d'une charge uniformément répartie de 1.333 KN/m:

poutre	Contrainte (Mpa)					
	Ouverture rectangulaire			Ouverture circulaire		
	Niveau A	Niveau B	Milieu	Niveau A	Niveau B	Milieu
a-1	+36.9	-32.1	+5.601	+7.21	-5.31	+5.528
a-2	+37.6	-32.7	+5.664	+7.22	-5.31	+5.500
a-3	+37.3	-32.5	+5.704	+7.19	-5.29	+5.272
a-4	+37.3	-32.3	+5.580	+7.19	-5.29	+5.506
a-5	+36.6	-31.7	+5.626	+7.09	-5.20	+5.228

Tableau IV.5.4: résultats des contraintes.



Poutre a-1: variation de la contrainte



Poutre a-2: variation de la contrainte

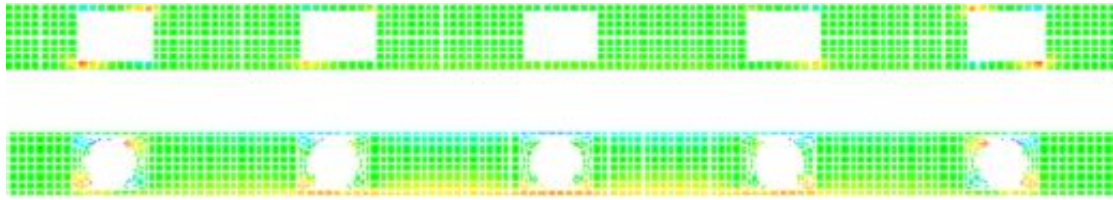


Poutre a-3: variation de la contrainte



Poutre a-4: variation de la contrainte



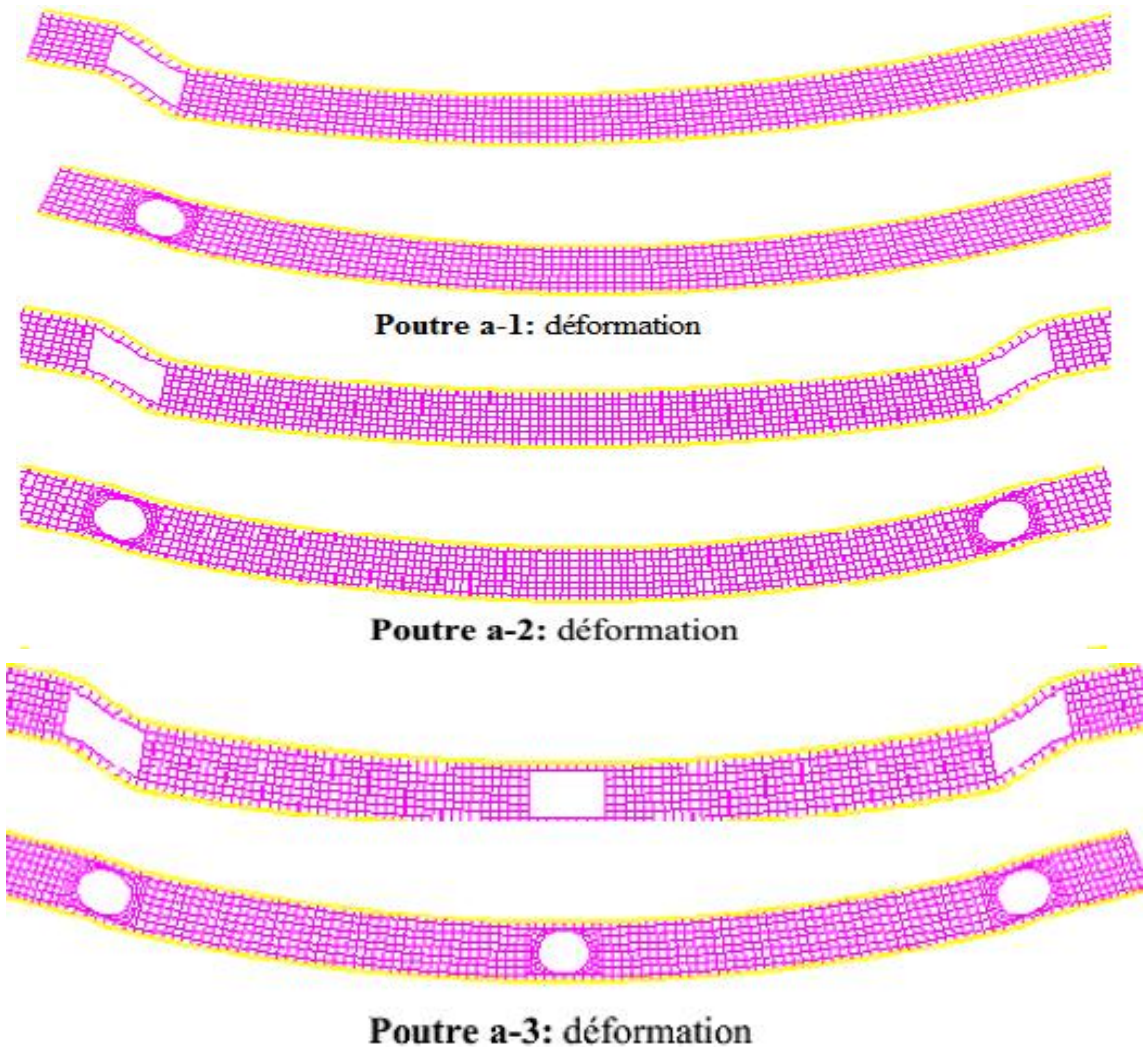


Poutre a-5: variation de la contrainte

Fig. IV.5.6: Variation de la contrainte sous l'effet d'une charge uniformément répartie.

Déplacement (mm) à mi-portée de la poutre					
Poutre	a-1	a-2	a-3	a-4	a-5
Ouverture rectangulaire	0.568	0.619	0.614	0.644	0.650
Ouverture circulaire	0.523	0.527	0.525	0.532	0.527

Tableau IV.5.5: résultats des déformations à mi-portée des poutres.



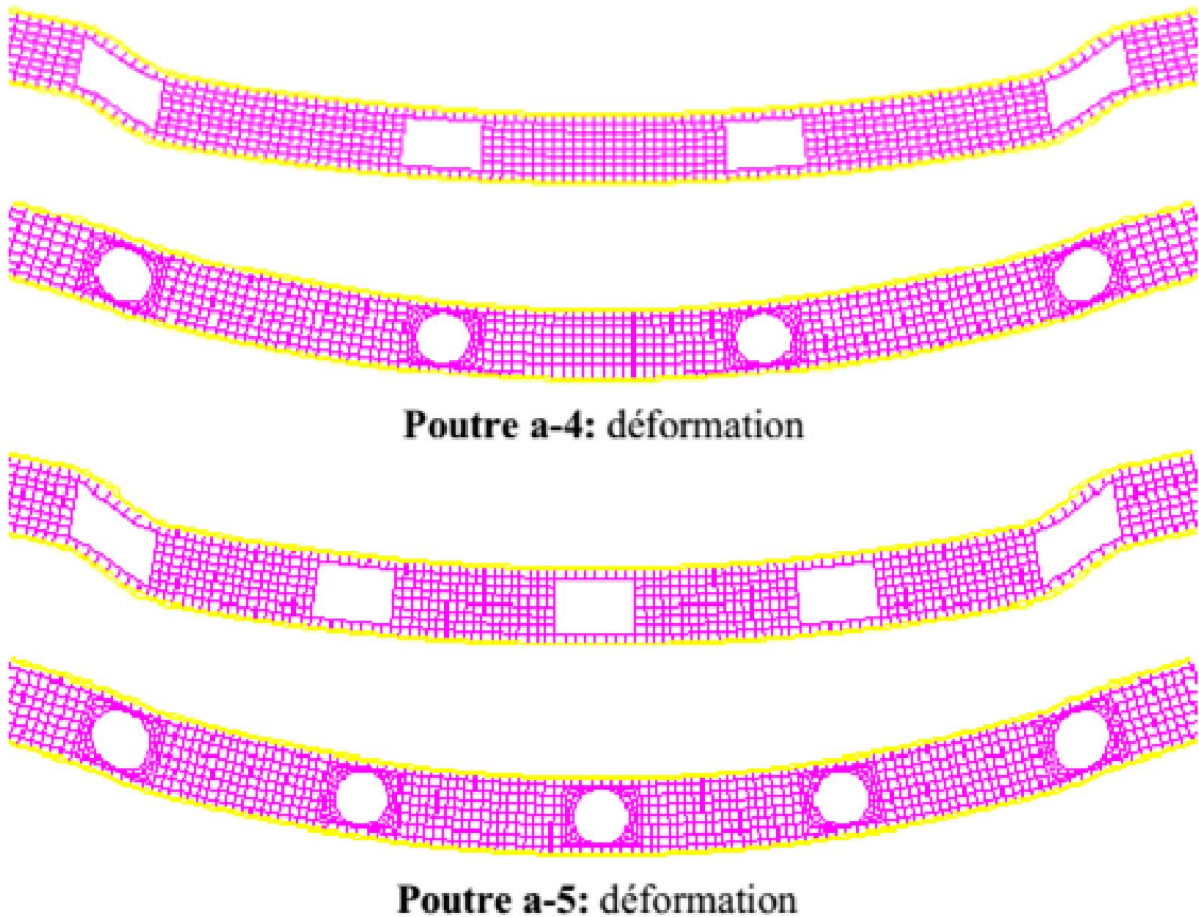


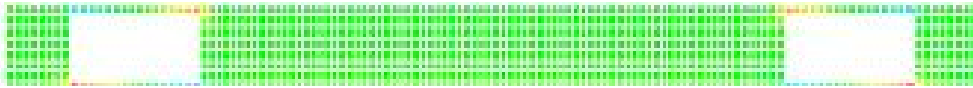
Fig. IV.5.7: Déformation sous l'effet d'une charge uniformément répartie.

D'après les valeurs obtenues de la contrainte et de la flèche pour les deux types d'ouvertures, on remarque que dans le cas des poutres à ouvertures rectangulaires les valeurs des contraintes aux niveaux A (contrainte maximale) et B de l'ouverture (Fig. IV.5.3) ainsi que la valeur de la contrainte et la valeur de la flèche maximale à mi-portée de la poutre sont des valeurs supérieures à celles des poutres à ouvertures circulaires.

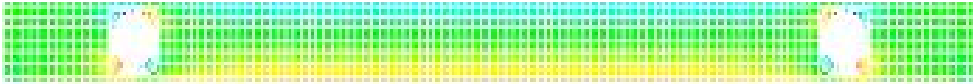
Pour mieux expliquer les résultats obtenus, il nous a paru très utile de justifier la différence d'écart des valeurs de la contrainte et des valeurs de la flèche entre les deux types d'ouvertures (rectangulaire et circulaire).

Pour cela, une étude a été faite sur la variation des contraintes (Fig. IV.5.8) et des déformées (Fig. IV.5.10) en représentant les évolutions contraintes – forces (Fig. IV.5.9) et l'évolution déplacements – forces (Fig. IV.5.11) au niveau de l'ouverture (niveaux A et B) et à mi-portée de trois types de poutres à deux ouvertures (rectangulaires, circulaires) positionnées d'une manière symétrique sous l'effet d'une charge concentrées à mi-portée.

***étude des contraintes :**

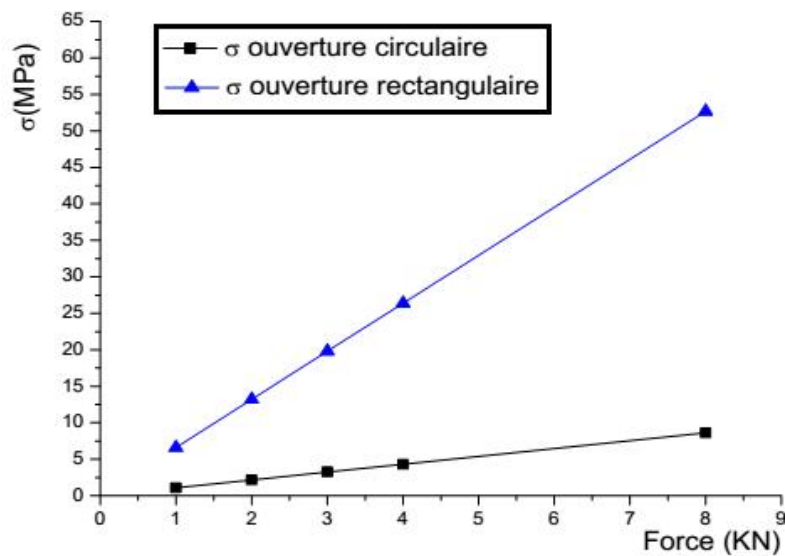


a- Variation des contraintes d'une poutre à ouvertures rectangulaires.

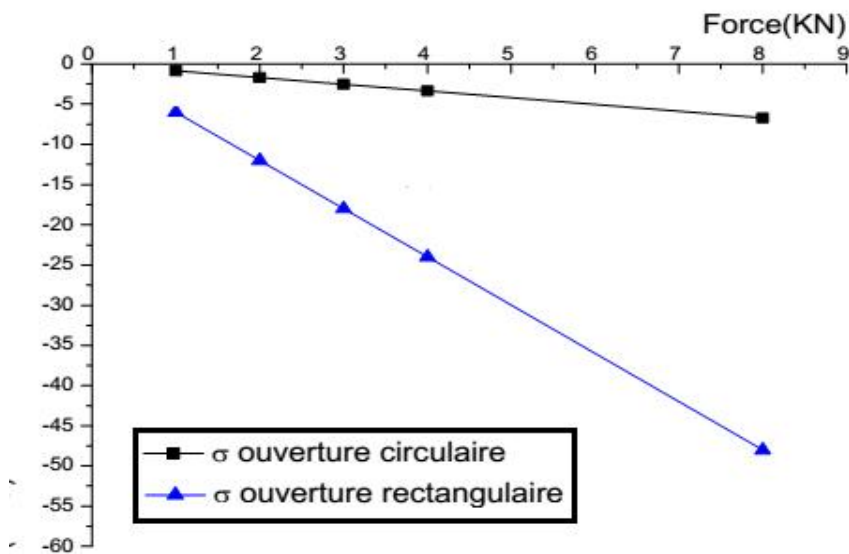


b- Variation des contraintes d'une poutre à ouvertures circulaires.

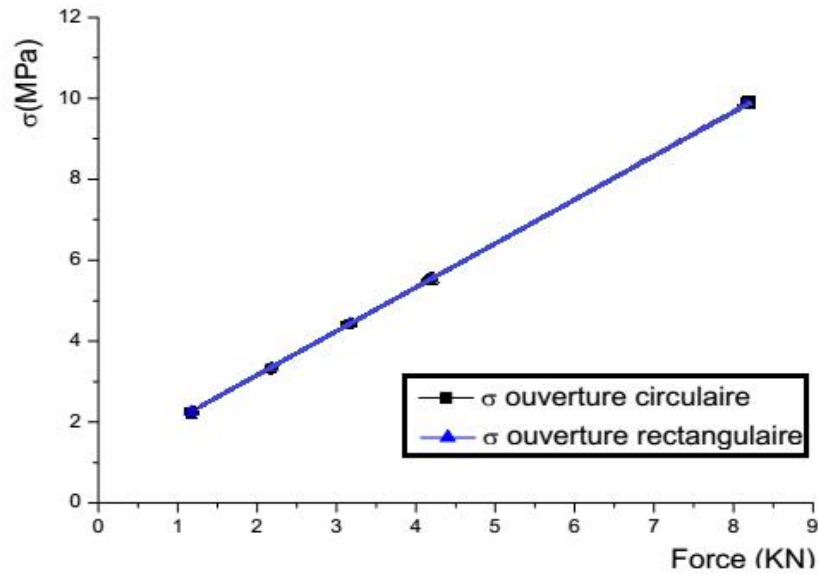
Fig. IV.5.8: Etude de la contrainte.



a: évolution contrainte – force au niveau A de l'ouverture.



b: évolution contrainte – force au niveau B de l'ouverture.



c: évolution contrainte – force a mi-portée de la poutre.

Fig. IV.5.9 : évolution contrainte-force.

Les résultats obtenus des contraintes au niveau de l'ouverture (niveau A et B) et à mi - portée de ces trois types de poutres sont présentés respectivement dans les tableaux IV.5.6.

Force (KN)	Contraintes (Mpa) au niveau A de l'ouverture	
	Ouverture circulaire	Ouverture rectangulaire
1.0	+1.08	+6.59
2.0	+2.15	+13.20
3.0	+3.23	+19.80
4.0	+4.31	+26.40
8.0	+8.61	+52.70

a- Contraintes au niveau A de l'ouverture.

Force (KN)	Contraintes (Mpa) au niveau B de l'ouverture	
	Ouverture circulaire	Ouverture rectangulaire
1.0	-0.83	-6.00
2.0	-1.67	-12.00
3.0	-2.51	-18.00
4.0	-3.34	-24.00
8.0	-6.69	-48.00

b- Contraintes au niveau B de l'ouverture.

Force (KN)	Contraintes (Mpa) à mi-portée de la poutre	
	Ouverture Circulaire	Ouverture rectangulaire
1.0	+1.35	+1.35
2.0	+2.71	+2.71
3.0	+4.07	+4.07
4.0	+5.43	+5.43
8.0	+10.87	+10.87

c- Contraintes à mi-portée de la poutre.

Tableaux IV.5.6: résultats des contraintes.

***étude des déformations :**

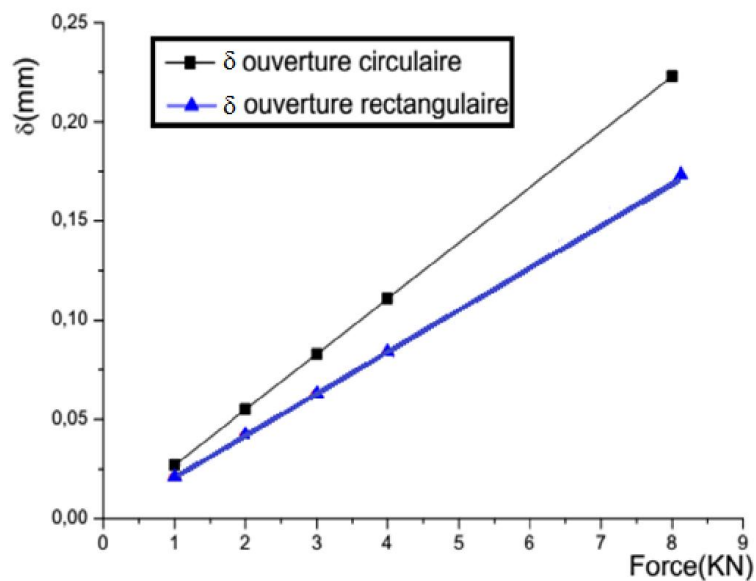


a-Déformation d'une poutre à ouvertures rectangulaires

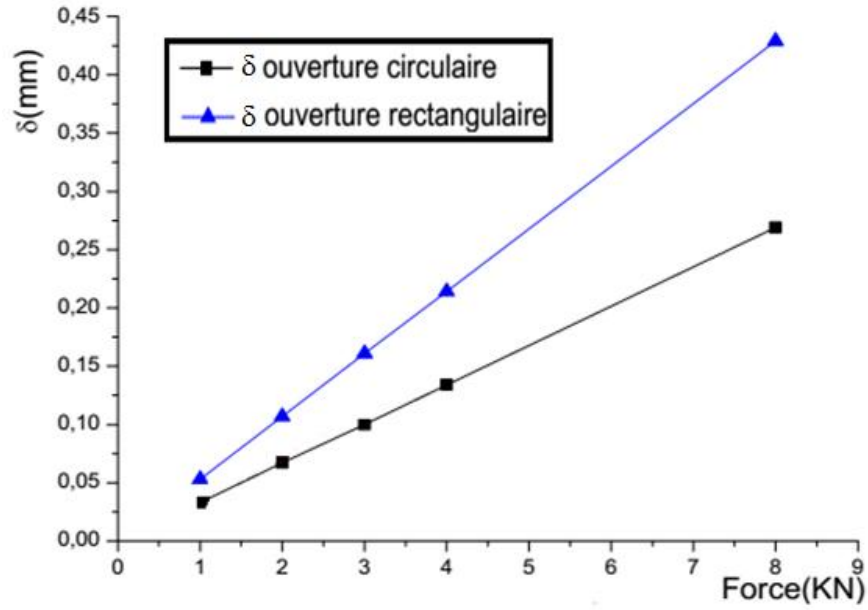


b-Déformation d'une poutre à ouvertures circulaires

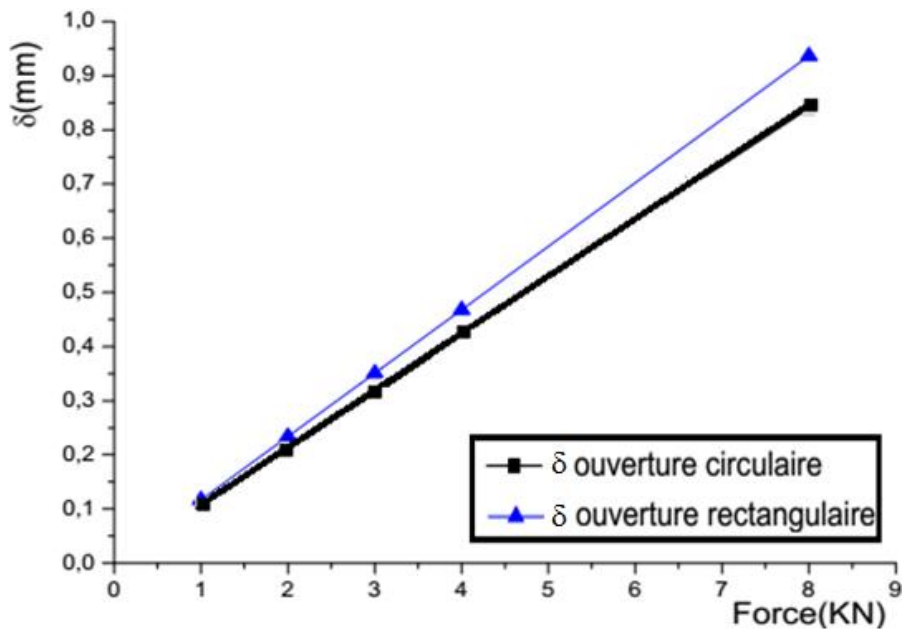
Fig. IV.5.10: Etude de la flèche.



a: évolution déplacement – force au niveau A de l'ouverture.



b: évolution déplacement – force au niveau B de l'ouverture.



c: évolution déplacement – force a mi-portée de la poutre.

Fig. IV.5.11: évolution déplacement – force.

Les résultats obtenus des contraintes au niveau de l'ouverture (niveau A et B) et à mi – portée de ces trois types de poutres sont présentés respectivement dans les tableaux IV.5.7.

Force (KN)	Déplacements (mm) au niveau A de l'ouverture	
	Ouverture Circulaire	Ouverture rectangulaire
1.0	0.027	0.021
2.0	0.055	0.042
3.0	0.083	0.063
4.0	0.110	0.084
8.0	0.221	0.178

a- Déplacements au niveau A de l'ouverture.

Force (KN)	Déplacements (mm) au niveau B de l'ouverture	
	Ouverture Circulaire	Ouverture rectangulaire
1.0	0.033	0.053
2.0	0.067	0.107
3.0	0.100	0.161
4.0	0.134	0.214
8.0	0.269	0.429

b- Déplacements au niveau B de l'ouverture.

Force (KN)	Déplacements (mm) à mi-portée de la poutre	
	Ouverture Circulaire	Ouverture rectangulaire
1.0	0.105	0.117
2.0	0.210	0.234
3.0	0.315	0.351
4.0	0.420	0.468
8.0	0.840	0.937

c- Déplacements à mi-portée de la poutre.

Tableaux IV.5.7: résultats des déplacements.

On remarque que les valeurs de la contrainte au niveau A et B des ouvertures circulaires sont plus petites que les valeurs d'autre type (rectangulaire). A mi-portée des poutres on a une égalité de contrainte entre les deux types des poutres par ce qu'elles ont de la même géométrie.

Les valeurs de la flèche aux niveaux A, B et à mi-portée pour le cas des ouvertures circulaires sont inférieurs par rapport à l'autre cas du type d'ouvertures.

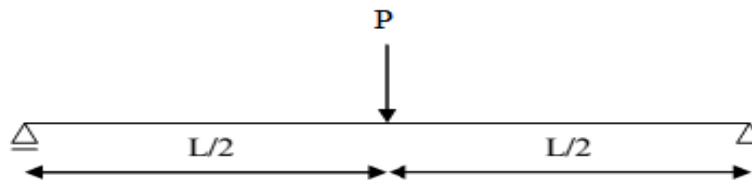
La remarque générale à souligner pour les deux autres types d'ouvertures est que les poutres métalliques avec des ouvertures circulaires sont plus résistantes que les poutres avec des ouvertures rectangulaires; et comme ces derniers sont plus généralement utilisées dans la pratique, alors on prévoit des ouvertures rectangulaires arrondies aux coins afin d'éviter les déformations additionnelles significatives dans la poutre au niveau des ouvertures.

IV.6. Influence de la dimension des ouvertures :

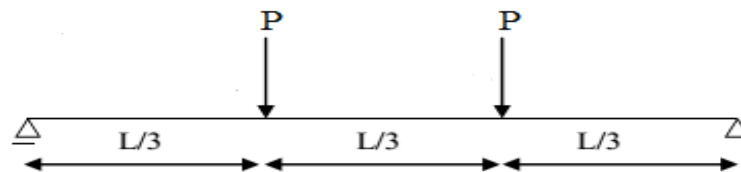
Nous allons maintenant étudier l'influence de la hauteur d'une part et du diamètre d'autre part de l'ouverture rectangulaire et circulaire respectivement sur la flèche maximale à mi-portée de la poutre.

La poutre étudiée c'est une poutre symétrique à deux ouvertures de portée 5m sous chaque type et positionnement de charge représenté dans la figure IV.6.1.

a) charge concentrée à mi-portée :



b) deux charges concentrées :



c) charge uniformément répartie :

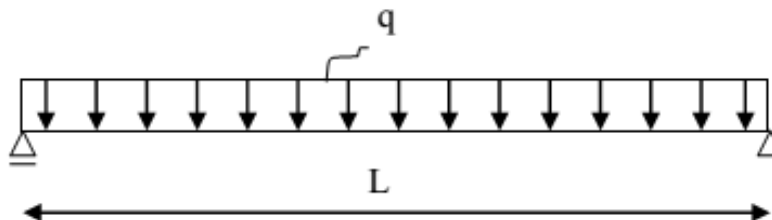


Fig. IV.6.1: type et positionnement de charge.

Les caractéristiques géométriques des poutres étudiées sont présentées dans le tableau IV.6.1

L (m)	d(m)	b _f (m)	t _f (m)	t _w (m)
5.00	0.40	0.18	0.0135	0.0086

Tableau IV.6.1: Caractéristiques géométriques de la poutre.

Les valeurs obtenues de la flèche maximale à mi-portée de la poutre sous chaque type de chargement représentées dans la figure IV.6.1 sont données dans le tableau IV.6.2.

t _w =0.0086m	flèche maximale (mm)					
h ₀ (m)	Une charge Concentrée de 60 KN		Deux charges Concentrées de 35.2KN chacune		Une charge répartie de 19.2KN/m	
	Ouverture Cercle	Ouverture Rectangle	Ouverture Cercle	Ouverture Rectangle	Ouverture Cercle	Ouverture Rectangle
0.3 d	2.33	4.06	2.47	4.10	2.83	4.08
0.5 d	2.40	4.64	2.56	4.74	2.92	4.65
0.7 d	2.61	6.95	2.79	7.40	3.18	6.96
0.8 d	3.44	12.03	3.72	13.20	4.19	12.01

Tableau IV.6.2: valeurs de la flèche maximale.

A partir du tableau IV.6.2, on note que la flèche augmente lorsque la hauteur de l'ouverture augmente, ceci revient à dire que plus cette hauteur augmente plus la rigidité de la poutre diminue, et par suite la flèche augmente et devient plus importante. Ainsi il est bien remarqué que la flèche est plus significative pour le cas des ouvertures rectangulaires que celle des ouvertures circulaires.

IV.7. Influence de l'épaisseur d'âme :

Afin de montrer l'influence de l'épaisseur d'âme sur l'effet de la forme de l'ouverture tout en respectant les deux conditions de dimensions de l'ouverture ($h_0 \leq 0.7d$ et $a_0 \leq 2.0d$), une étude a été faite sur la flèche, à cet effet, on a fait varier à chaque fois l'épaisseur d'âme de la même poutre étudié précédemment jusqu'à une épaisseur de 3mm et voir son influence sur l'effet de la forme de l'ouverture.

Les valeurs de la flèche maximale obtenues par castem2000 selon deux différentes épaisseurs d'âme sont présentées dans le tableau IV.7.1.

$d_0 \leq 0.7d$ $h_0 \leq 0.7d$ $a_0 \leq 2.0d$	Une charge Concentrée de 60 KN		Deux charges Concentrées de 35.2KN chacune		Une charge répartie de 19.2KN/m	
	Ouv. Circulaire	Ouv. Rectangulaire	Ouv. Circulaire	Ouv. Rectangulaire	Ouv. Circulaire	Ouv. Rectangulaire
t_w (mm)						
0.0086	2.610	6.950	2.790	7.400	3.180	6.960
0.003	2.616	6.950	2.800	7.372	3.188	6.933
0.004	2.612	6.942	2.796	7.370	3.183	6.921

Tableau IV.7.1: valeurs de la flèche maximale.

Bien que, on a fait varier l'épaisseur de l'âme tout en respectant la condition de géométrie de l'ouverture mentionnée dans les critères de la littérature ($d_0=h_0 \leq 0.7d$ et $a_0 \leq 2.0d$), les valeurs de la flèche maximales n'ont pas été influencé comme le confirme le tableau IV.5.1. C'est-à-dire, la variation de l'épaisseur d'âme n'a pas d'influence sur l'effet de la forme de l'ouverture.

IV.8. Evolution force - déplacements :

Une comparaison entre les courbes d'évolution force – déplacements obtenues par castem2000 a été faite, en appliquant le chargement en fonction des déplacements relatifs au milieu de l'ouverture (δ_o) et à mi-portée (δ_c) sur trois types de poutres à deux ouvertures repositionnées d'une façon symétrique par rapport à l'axe vertical à mi-portée de la poutre sous l'effet de charge et positionnement différents.

Les caractéristiques géométriques des poutres étudiées sont présentées dans le tableau IV.8.1.

L_p (mm)	d (mm)	b_f (mm)	t_f (mm)	t_w (mm)	a_0 (mm)	h_0 (mm)
2400	201.30	134.01	7.88	5.89	180.00	60.00

Tableau IV.8.1: Caractéristiques géométriques des poutres.

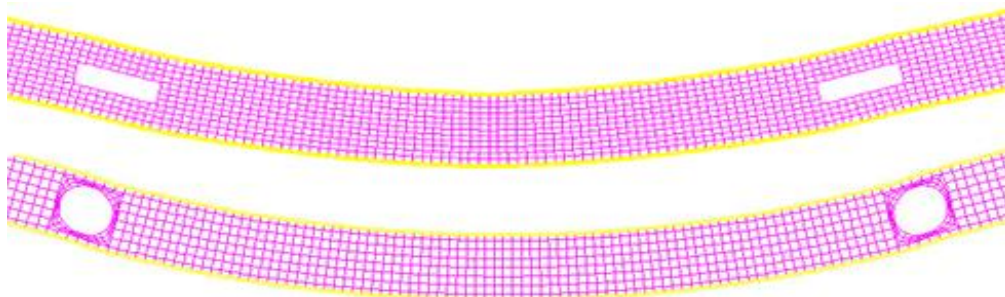


Fig. IV.8.1: déformation de la poutre.

Les résultats obtenus des valeurs de la flèche (δ_o) et (δ_c) sont présentés dans les tableaux IV.8.2 à IV.8.4, ainsi leurs représentations graphiques sont données dans les figures IV.8.2, IV.8.3 et IV.8.4.

IV.8. 1. Poutre sous une charge concentrée à mi-portée :

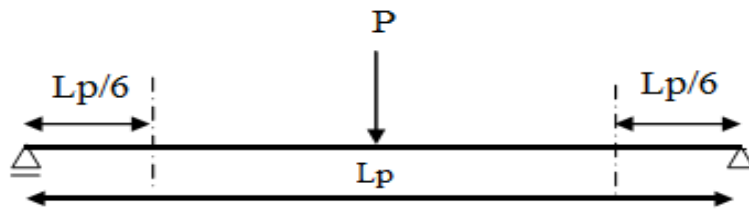
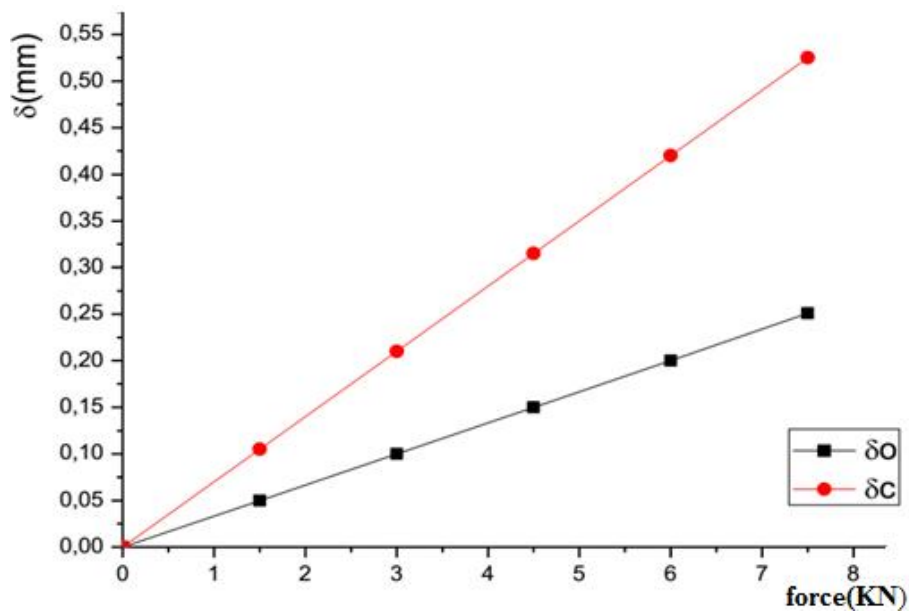


Fig. IV.8.a: Poutre sous une charge concentrée à mi- portée.

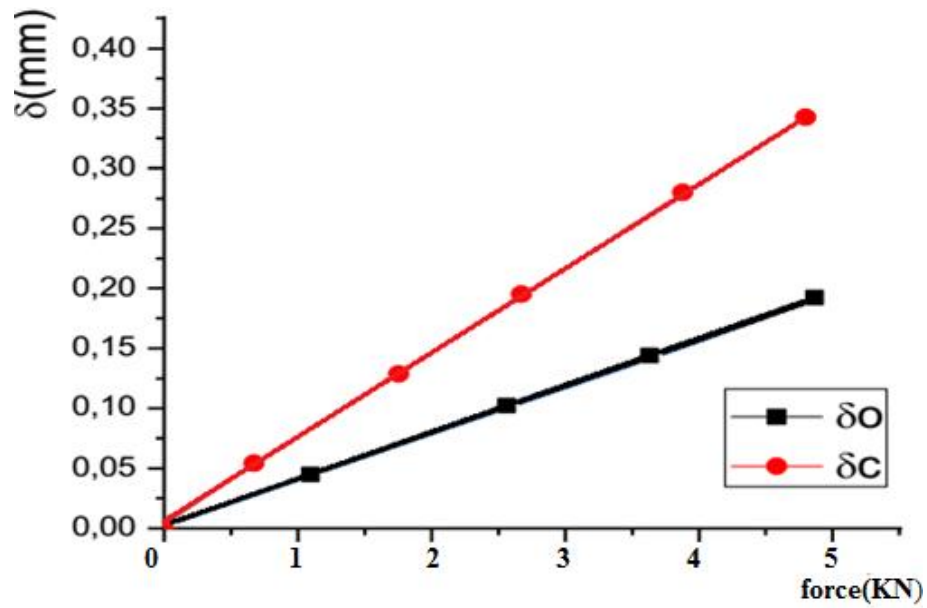
Charge (KN)	δ_o (mm)		δ_c (mm)		Ecart %	
	Ouverture Cercle	Ouverture Rectangle	Ouverture Cercle	Ouverture Rectangle	Ouverture Cercle	Ouverture Rectangle
1.5	0.026	0.050	0.057	0.105	53	52.21
3.0	0.053	0.100	0.114	0.210	53	52.21
4.5	0.080	0.150	0.171	0.315	53	52.21
6.0	0.107	0.200	0.228	0.420	53	52.21
7.5	0.134	0.251	0.285	0.525	53	52.21

Tableau IV.8.2: valeurs de la flèche.

Les valeurs du tableau (IV.8.2) sont illustrées par un graphe représente l'évolution du déplacement en fonction de la charge (Fig. IV.8.2).



a: évolution déplacement: de l'ouverture rectangulaire.



b: évolution déplacement: de l'ouverture circulaire.

Fig. IV.8.2: évolution force - déplacement.

IV.8. 2. Poutre sous une charge uniformément répartie :

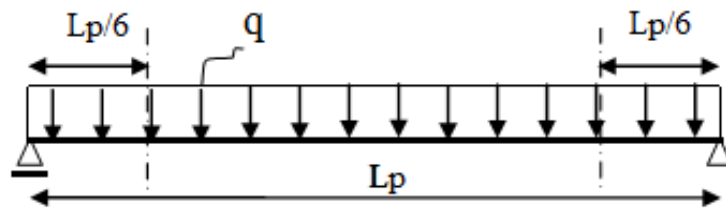
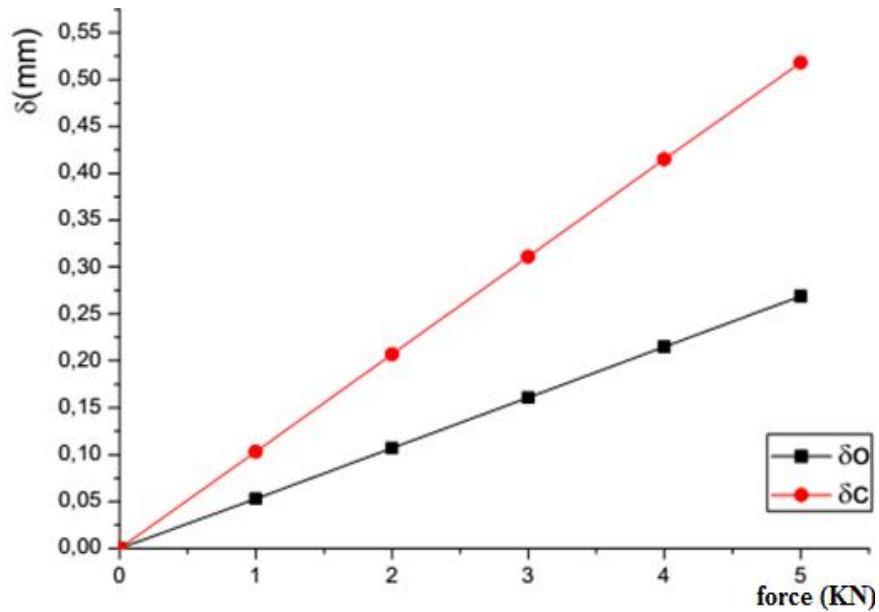


Fig. IV.8.b: Poutre sous une charge uniformément répartie.

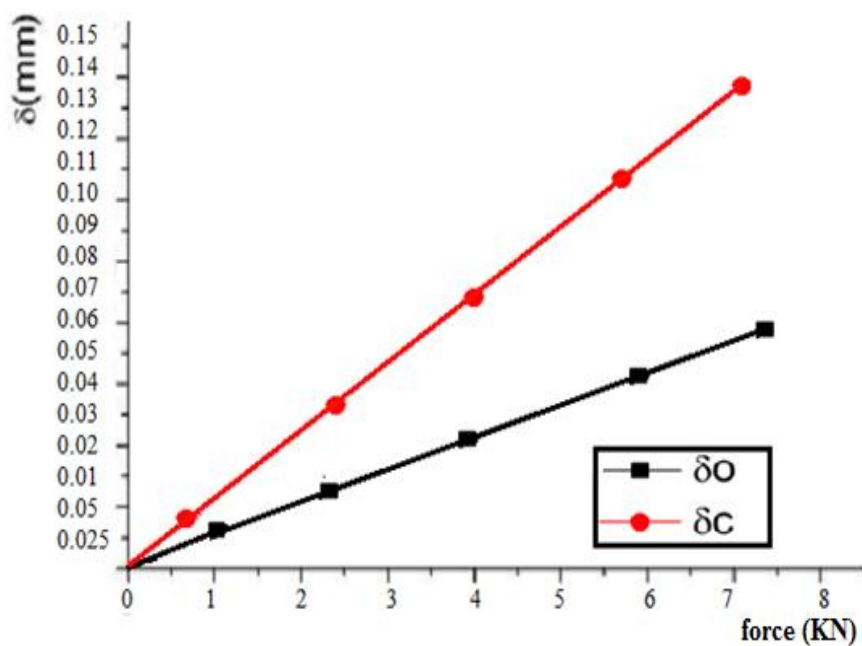
Charge (KN)	δ_o (mm)		δ_c (mm)		Ecart %	
	Ouverture Cercle	Ouverture Rectangle	Ouverture Cercle	Ouverture Rectangle	Ouverture Cercle	Ouverture Rectangle
1.0	0.026	0.053	0.050	0.103	48	48.10
2.0	0.052	0.107	0.100	0.207	48	48.10
3.0	0.078	0.161	0.150	0.311	48	48.10
4.0	0.104	0.215	0.200	0.415	48	48.10
5.0	0.131	0.269	0.250	0.518	48	48.10

Tableau IV.8.3: valeurs de la flèche.

Les valeurs du tableau (IV.8.3) sont illustrées par un graphe représente l'évolution du déplacement en fonction de la charge uniformément répartie (Fig. IV.8.3).



a: évolution déplacement: de l'ouverture rectangulaire.



b: évolution déplacement: de l'ouverture circulaire.

Fig. IV.8.3: évolution force - déplacement.

IV.8. 3. Poutre sous deux charges concentrées :

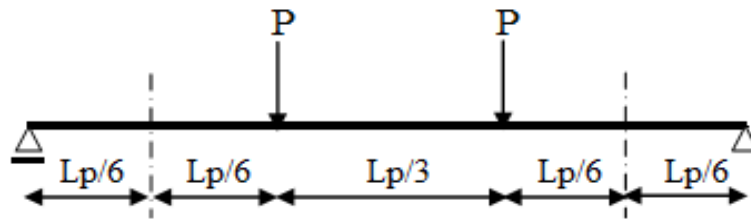
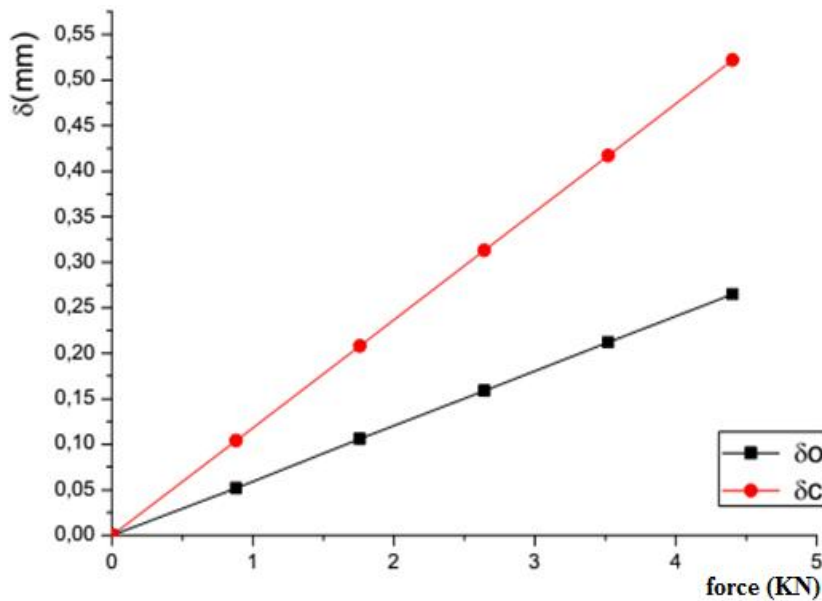


Fig. IV.8.c: Poutre sous deux charges concentrées.

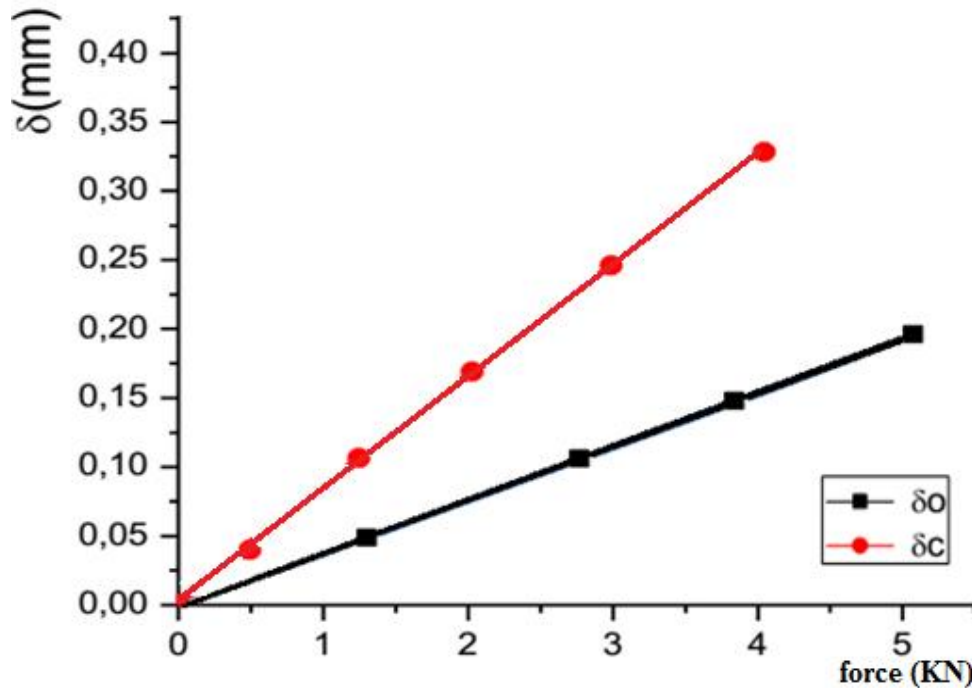
Charge (KN)	δ_o (mm)		δ_c (mm)		Ecart %	
	Ouverture Cercle	Ouverture Rectangle	Ouverture Cercle	Ouverture Rectangle	Ouverture Cercle	Ouverture Rectangle
0.880	0.028	0.052	0.054	0.104	50	49.25
1.760	0.056	0.106	0.112	0.208	50	49.25
2.641	0.084	0.159	0.169	0.313	50	49.25
3.521	0.115	0.212	0.225	0.417	50	49.25
4.402	0.139	0.265	0.282	0.522	50	49.25

Tableau IV.8.4: valeurs de la flèche.

Les valeurs du tableau (IV.8.4) sont illustrées par un graphe représente l'évolution du déplacement en fonction de la charge (Fig. IV.8.4).



a: évolution déplacement: de l'ouverture rectangulaire.



b: évolution déplacement: de l'ouverture circulaire.

Fig. IV.8.4: évolution force - déplacement.

A partir des figures IV.8.2, IV.8.3 et IV.8.4 on remarque que la flèche à mi-portée δ_c est plus grande que la flèche relative à l'ouverture δ_o pour les trois premiers types de positionnement d'ouvertures (poutres a-b-c) suivant le type de charge exercé c'est-à-dire que plus la charge augmente plus les deux flèches augmentent. En particulier celle à mi-portée est toujours plus grande que celle au niveau de l'ouverture avec un certain écart d'ordre 50% d'après les tableaux IV.8.2, IV.8.3 et IV.8.4.

IV.9. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étudié le comportement des poutres comportant différents types d'ouvertures (ouvertures rectangulaires et ouvertures circulaires) au travers l'effet de la forme de ces derniers tous en testant le code de calcul Castem2000 dans le cas de divers exemples. Il s'agit de poutres métalliques à une seule travée comportant des évidements d'âme, avec des conditions aux limites et des sollicitations représentatives des cas envisageables.

Les poutres étudiées se sont des poutres métalliques à âmes évidées, chargées soit par une ou deux forces ponctuelles, soit par une charge répartie. Les différentes configurations ont été illustrées.

L'utilisation du logiciel nécessite l'élaboration des programmes à base d'éléments finis pour chaque type de calcul sur le comportement des poutres et des sections sous l'effet des charges appliquées.

Concernant les résultats trouvés suite à une étude menée sur l'influence de la forme de l'ouverture, nous avons présenté ceux relatifs aux comportements des poutres métalliques de sections en I comportant des évidements d'âme sollicitées en flexion simple à l'état élastique.

Grâce à la modélisation adoptée dans le chapitre précédent (chap.III), dont l'élément choisit est un élément quadratique à 8 nœuds, ces résultats obtenus à partir des programmes élaborés donnent une bonne concordance sur le traitement des problèmes mécaniques tel que le comportement de ce type de poutres sur l'étude de l'effet de la forme géométrique des ouvertures en élasticité linéaire.