

Caractéristiques mécaniques

Tutoriel SectionPro — Section carrée, circulaire évidée & mur en L

BridgeKernel · 2026

Introduction

Les caractéristiques mécaniques d'une section — aire, moments d'inertie, centre de gravité, constante de torsion, aires de cisaillement — sont le point de départ de tout calcul de structure. Cet article montre comment les obtenir avec **SectionPro**, sur trois géométries différentes :

1. **Section carrée** — cas le plus simple, toutes les propriétés sont calculables analytiquement.
2. **Section circulaire évidée** — la torsion et l'inertie restent analytiques, mais les aires de cisaillement nécessitent un calcul numérique.
3. **Mur en L** — seules les propriétés géométriques sont analytiques. La torsion, le cisaillement et le gauchissement sont purement numériques. Cette section illustre le cas d'une géométrie asymétrique ($\alpha \neq 0$).

Propriétés calculées

SectionPro calcule les propriétés suivantes. Les trois premiers groupes sont calculés en section brute, nette (déduction des vides aux emplacements des armatures) et homogénéisée (prise en compte des armatures via le coefficient d'équivalence n) :

Résultats généraux

A — Aire
 (z_G, y_G) — Centre de gravité
 P — Périmètre
 W — Poids linéique

Repère central

I_{zz}, I_{yy} — Moments d'inertie
 v^+, v^- — Fibres extrêmes (y)
 w^+, w^- — Fibres extrêmes (z)

Repère principal

α — Angle de rotation
 I_1, I_2 — Inerties principales
 v^+, v^-, w^+, w^- — Fibres extrêmes

Torsion & cisaillement (FEM)

J — Constante de torsion
 A_{sy}, A_{sz} — Aires de cisaillement
 (y_T, z_T) — Centre de torsion
 Γ — Constante de gauchissement

Les caractéristiques de torsion et de cisaillement nécessitent la résolution d'une équation différentielle via la méthode des éléments finis.

Section carrée

Données

Béton

Côté $a = 2.0$ m

Densité $\rho = 2.5$ t/m³

Aciers

HA25 espacement 200 mm, enrobage 50 mm

1 nappe — coefficient d'équivalence $n = 5$

Saisie et résultats

Data

Solid Square Section

Concrete

Side length (m)

2

Reinforcement

Mode: uniform spacing

Bar spacing (mm)

200

Bar diameter (mm)

25

Concrete cover (mm)

50

Layers (1 or 2)

1

Submit

Infos

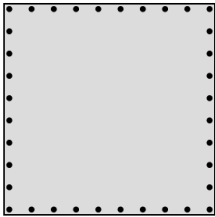


Fig. 1. – Saisie de la section carrée.

Analysis

Mechanical characteristics

Specify the equivalence coefficient $n=Es/Ec$ for homogenized properties and the mesh refinement for torsion and shear computations.

$n = Es/Ec$

5

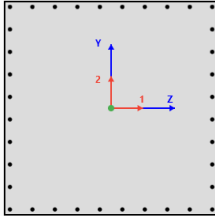
Mesh refinement

Fine

Compute

Export

Section drawing



General results

The area A, perimeter P, weight per linear meter W and the coordinates of the center of gravity (zG, yG) are given below:

Cara	Unit	Raw	Net	Homog.
A	m ²	4.0000	3.9823	4.0707
zG	m	1.000	1.000	1.000
yG	m	1.000	1.000	1.000
P	m	8.0000	—	—
W	T/m	10.0000	—	—

Fig. 2. – Page de résultats des caractéristiques mécaniques.

Par double symétrie, le centre de gravité est au centre du carré, l'angle principal est nul et les deux inerties sont égales.

Résultats généraux

	Unité	Brute	Nette	Hom.
A	m ²	4.0000	3.9823	4.0707
z _G	m	1.0000	1.0000	1.0000
y _G	m	1.0000	1.0000	1.0000
P	m	8.0000	—	—
W	T/m	10.0000	—	—

Flexion

3.2.2.1 Repère central

	Unité	Brute	Nette	Hom.
I_{zz}	m ⁴	1.3333	1.3226	1.3761
I_{yy}	m ⁴	1.3333	1.3226	1.3761
v^+	m	1.0000	1.0000	1.0000
v^-	m	1.0000	1.0000	1.0000
w^+	m	1.0000	1.0000	1.0000
w^-	m	1.0000	1.0000	1.0000

3.2.2.2 Repère principal

	Unité	Brute	Nette	Hom.
I_1	m ⁴	1.3333	1.3226	1.3761
I_2	m ⁴	1.3333	1.3226	1.3761
v^+	m	1.0000	1.0000	1.0000
v^-	m	1.0000	1.0000	1.0000
w^+	m	1.0000	1.0000	1.0000
w^-	m	1.0000	1.0000	1.0000
α	°	0.00	0.00	0.00

Torsion et cisaillement (FEM)

Par double symétrie, le centre de torsion coïncide avec le centre de gravité ($y_T = z_T = y_G = z_G = 1.0$ m). Le gauchissement est quasi nul ($\Gamma \approx 0$). Le rapport $A_{sz}/A = 3.33/4.00 \approx 0.83$, typique d'une section pleine.

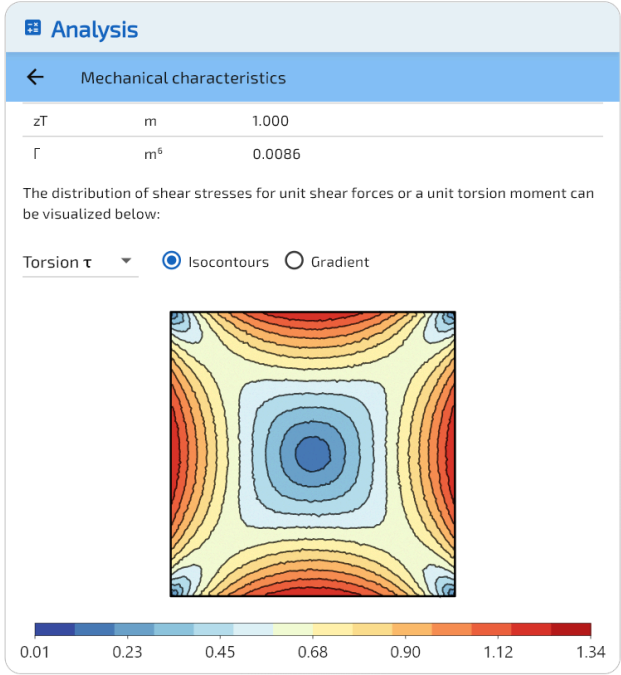


Fig. 3. – Contraintes de torsion τ — maximum au milieu des côtés.

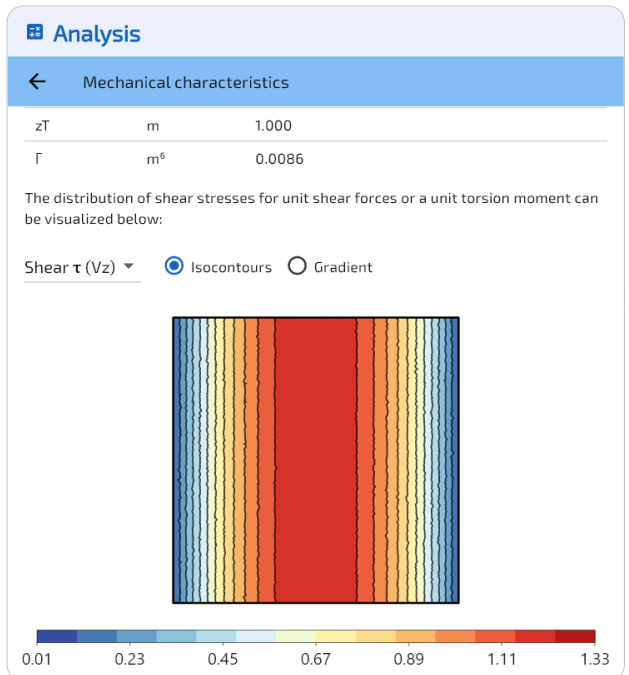


Fig. 4. – Contraintes de cisaillement.

	J	A_{sz}	A_{sy}	y_T	z_T	Γ
Unité	m ⁴	m ²	m ²	m	m	m ⁶
Valeur	2.2492	3.3333	3.3333	1.0000	1.0000	0.0086

Section circulaire évidée

Données

Béton

Diamètre extérieur $D = 2.0$ m
Épaisseur paroi $e = 0.3$ m
Densité $\rho = 2.5$ t/m³

Aciers

24 HA20, enrobage 50 mm
1 nappe — coefficient d'équivalence $n = 5$

Saisie et résultats

Data

Hollow Circular Section

Concrete

Outer diameter (m)
2.0

Wall thickness (m)
0.3

Reinforcement ⓘ

Mode: count

Number of rebars
24

Bar diameter (mm)
20

Concrete cover (mm)
50

Layers (1 or 2)
1

Submit

Infos

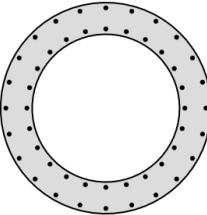


Fig. 5. – Saisie de la section circulaire évidée.

Analysis

Mechanical characteristics

General results

The area A, perimeter P, weight per linear meter W and the coordinates of the center of gravity (zG, yG) are given below:

Cara	Unit	Raw	Net	Homog.
A	m ²	1.6022	1.5871	1.6625
zG	m	1.000	1.000	1.000
yG	m	1.000	1.000	1.000
P	m	6.283	-	-
W	T/m	4.005	-	-

zG and yG are given respectively with respect to the extreme fiber on the left and at the bottom of the section.

Centroidal reference frame

The central reference frame is positioned at the center of gravity of the gross section. The z-axis is horizontal, oriented to the right and the y-axis is vertical, oriented upwards.

The moments of inertia Izz and Iyy, as well as the distances of the extreme fibers at the top (v+), at the bottom (v-), to the right (w+) and to the left (w-) with respect to this reference frame are given below:

Cara	Unit	Raw	Net	Homog.
Izz	m ⁴	0.5968	0.5913	0.6189
Iyy	m ⁴	0.5968	0.5913	0.6189
v+	m	1.000	1.000	1.000
v-	m	1.000	1.000	1.000
w+	m	1.000	1.000	1.000
w-	m	1.000	1.000	1.000

Fig. 6. – Page de résultats des caractéristiques mécaniques.

Par symétrie circulaire, les inerties sont égales et l'angle principal est indéterminé (affiché 0°).

Résultats généraux

	Unité	Brute	Nette	Hom.
A	m ²	1.6022	1.5871	1.6625
z _G	m	1.0000	1.0000	1.0000
y _G	m	1.0000	1.0000	1.0000
P	m	6.2832	—	—
W	T/m	4.0055	—	—

Flexion

4.2.2.1 Repère central

	Unité	Brute	Nette	Hom.
I_{zz}	m ⁴	0.5968	0.5913	0.6189
I_{yy}	m ⁴	0.5968	0.5913	0.6189
v^+	m	1.0000	1.0000	1.0000
v^-	m	1.0000	1.0000	1.0000
w^+	m	1.0000	1.0000	1.0000
w^-	m	1.0000	1.0000	1.0000

4.2.2.2 Repère principal

	Unité	Brute	Nette	Hom.
I_1	m ⁴	0.5968	0.5913	0.6189
I_2	m ⁴	0.5968	0.5913	0.6189
v^+	m	1.0000	1.0000	1.0000
v^-	m	1.0000	1.0000	1.0000
w^+	m	1.0000	1.0000	1.0000
w^-	m	1.0000	1.0000	1.0000
α	°	0.00	0.00	0.00

Torsion et cisaillement (FEM)

Par symétrie de révolution, le centre de torsion coïncide avec le centre de gravité ($y_T = z_T = y_G = z_G = 1.0$ m) et le gauchissement est nul ($\Gamma = 0$). Le rapport $A_{sz}/A = 0.84/1.60 \approx 0.53$: la section évidée est moins efficace en cisaillement qu'une section pleine.

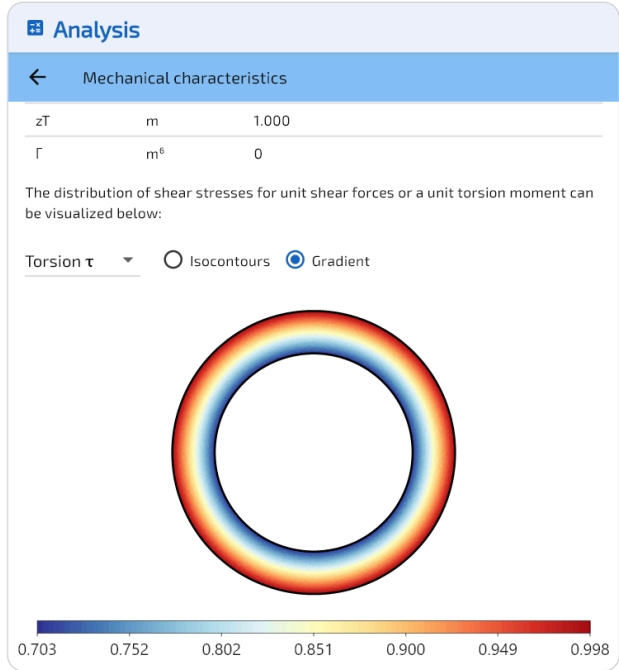


Fig. 7. – Contraintes de torsion τ — maximum sur le contour extérieur.

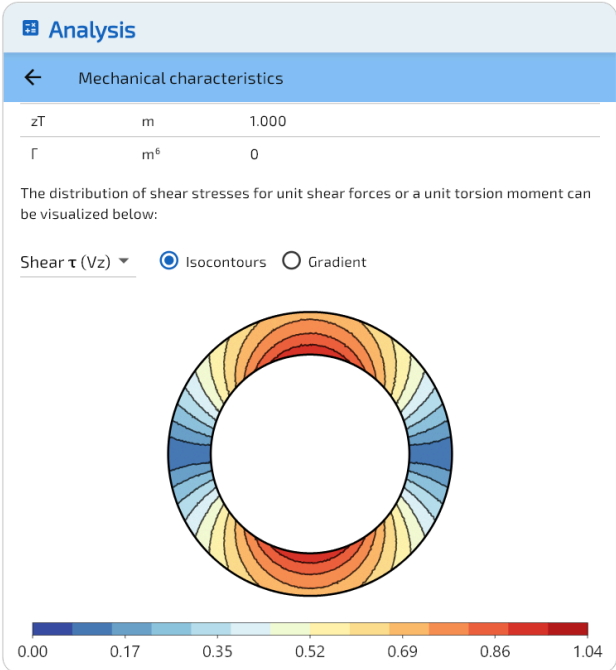


Fig. 8. – Contraintes de cisaillement.

	J	A_{sz}	A_{sy}	y_T	z_T	Γ
Unité	m ⁴	m ²	m ²	m	m	m ⁶
Valeur	1.1936	0.8422	0.8422	1.0000	1.0000	0.0000

Mur en L

Données

Béton

Type L — largeur 2.0 m, hauteur 2.0 m
Épaisseur $t = 0.3$ m
Densité $\rho = 2.5$ t/m³

Aciers

HA20 espacement 200 mm, enrobage 40 mm
1 nappe — coefficient d'équivalence $n = 5$

Saisie et résultats

Data

← Walls

Concrete ⓘ

Type

L

Width (m)

2

Height (m)

2

Thickness (m)

0.3

Reinforcement ⓘ

Bar spacing (mm)

200

Bar diameter (mm)

20

Concrete cover (mm)

40

Submit

↻ 90°

Infos

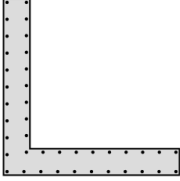
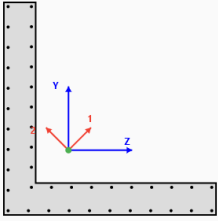


Fig. 9. – Saisie du mur en L.

Analysis

← Mechanical characteristics

Section drawing



General results

The area A, perimeter P, weight per linear meter W and the coordinates of the center of gravity (zG, yG) are given below:

Cara	Unit	Raw	Net	Homog.
A	m ²	1.1100	1.0974	1.1603
zG	m	0.609	0.609	0.610
yG	m	0.609	0.609	0.610
P	m	8.000	-	-
W	T/m	2.775	-	-

zG and yG are given respectively with respect to the extreme fiber on the left and at the bottom of the section.

Centroidal reference frame

The central reference frame is positioned at the center of gravity of the gross section. The z-axis is horizontal, oriented to the right and the y-axis is vertical, oriented upwards.

Fig. 10. – Page de résultats des caractéristiques mécaniques.

Les ailes étant de même longueur, $I_{zz} = I_{yy}$ et l'angle principal est exactement $\alpha = 45^\circ$.

Résultats généraux

	Unité	Brute	Nette	Hom.
A	m ²	1.1100	1.0974	1.1603
z _G	m	0.6095	0.6093	0.6100
y _G	m	0.6095	0.6093	0.6100
P	m	8.0000	—	—
W	T/m	2.7750	—	—

Flexion

5.2.2.1 Repère central

	Unité	Brute	Nette	Hom.
I_{zz}	m ⁴	0.4030	0.3981	0.4225
I_{yy}	m ⁴	0.4030	0.3981	0.4225
v^+	m	1.3905	1.3907	1.3900
v^-	m	0.6095	0.6093	0.6100
w^+	m	1.3905	1.3907	1.3900
w^-	m	0.6095	0.6093	0.6100

5.2.2.2 Repère principal

	Unité	Brute	Nette	Hom.
I_1	m ⁴	0.6373	0.6297	0.6679
I_2	m ⁴	0.1687	0.1666	0.1771
v^+	m	1.4142	1.4142	1.4142
v^-	m	1.4142	1.4142	1.4142
w^+	m	0.7644	0.7644	0.7644
w^-	m	0.8619	0.8619	0.8619
α	°	45.00	45.00	45.00

Torsion et cisaillement (FEM)

Le centre de torsion ($y_T = z_T = 0.16$ m) est décalé vers le coin rentrant, loin du centre de gravité ($y_G = z_G = 0.61$ m). Le gauchissement est significatif ($\Gamma = 0.009$ m⁶). La constante de torsion $J = 0.032$ m⁴ est très faible — typique d'un profil ouvert en paroi mince. Le rapport $A_{sz}/A = 0.50/1.11 \approx 0.45$.

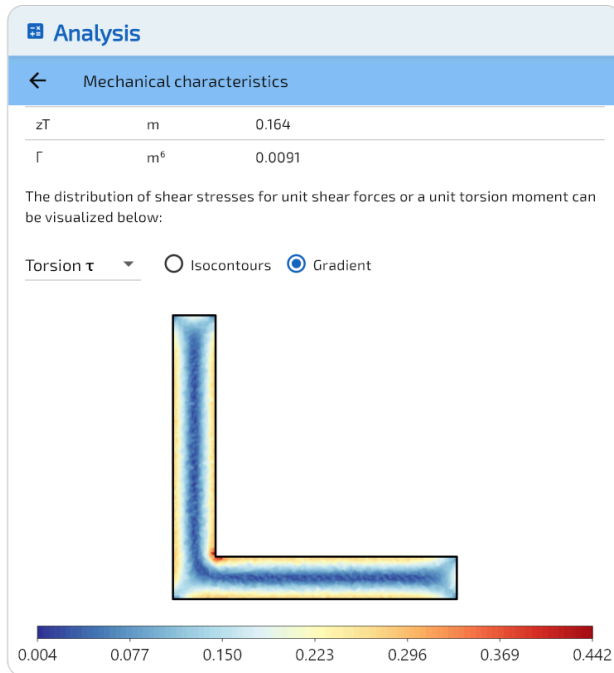


Fig. 11. – Contraintes de torsion τ — singularité au coin rentrant. Centre de cisaillement décalé.

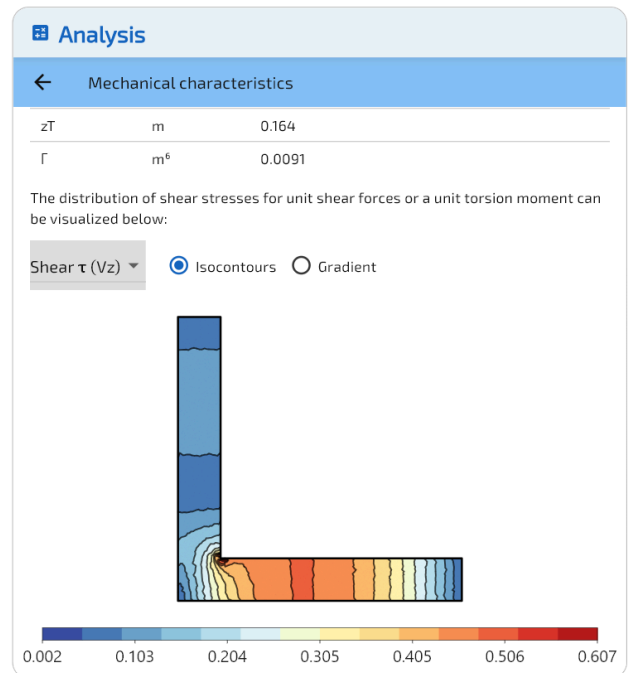


Fig. 12. – Contraintes de cisaillement.

	J	A_{sz}	A_{sy}	y_T	z_T	Γ
Unité	m ⁴	m ²	m ²	m	m	m ⁶
Valeur	0.0322	0.5037	0.5037	0.1637	0.1637	0.0091

Validation des résultats

Les résultats de SectionPro sont validés de deux manières : par comparaison avec les **formules analytiques** (lorsqu'elles existent) et par **comparaison croisée** avec un logiciel de référence utilisant un solveur éléments finis indépendant.

Rappel des formules analytiques

Section carrée ($a = 2.0$ m)

$$A = a^2 = 4.0000 \quad I = \frac{a^4}{12} = 1.3333 \quad J = 0.1406a^4 = 2.2489 \quad A_s = \frac{5}{6}A = 3.3333$$

La constante de torsion est obtenue par les séries de Saint-Venant :

$$J = \frac{a^4}{3} \left[1 - \frac{192}{\pi^5} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{\tanh(n\pi/2)}{n^5} \right]$$

Section circulaire évidée ($R = 1.0$ m, $r = 0.7$ m)

$$A = \pi(R^2 - r^2) = 1.6022 \quad I = \frac{\pi}{4}(R^4 - r^4) = 0.5968 \quad J = \frac{\pi}{2}(R^4 - r^4) = 1.1936$$

Les aires de cisaillement n'admettent pas de formule simple ; l'équation différentielle doit être résolue numériquement.

Mur en L ($L = 2.0$ m, $t = 0.3$ m)

Par décomposition (semelle 2.0×0.3 + âme 0.3×1.7) et théorème de Huygens :

$$A = 1.1100 \quad z_G = y_G = 0.6095 \quad I_{zz} = I_{yy} = 0.4030 \quad \alpha = 45^\circ$$

Il n'existe pas de formule analytique exacte pour la torsion, le cisaillement et le gauchissement. La théorie de Vlasov (profils ouverts en paroi mince) fournit toutefois un ordre de grandeur : $J \approx \frac{1}{3}(2L - t)t^3 = 0.0333 \text{ m}^4$ et le centre de torsion se situe approximativement à l'intersection des lignes moyennes des ailes ($y_T \approx z_T \approx t/2 = 0.15$ m). Ces estimations supposent une épaisseur infiniment petite devant la longueur des ailes ; ici $t/L = 15\%$, et les effets d'épaisseur — notamment la rigidification de la jonction au coin — décalent les valeurs réelles par rapport à ce modèle simplifié.

Sections nette et homogénéisée

Pour une section armée de N barres d'acier de section $A_{s,i}$ aux coordonnées $(z_{s,i}, y_{s,i})$, avec un coefficient d'équivalence n :

$$A_{\text{net}} = A - \sum_{i=1}^N A_{s,i} \quad A_{\text{hom}} = A + (n-1) \sum_{i=1}^N A_{s,i}$$

Le centre de gravité se déplace légèrement (formule analogue pour z_G) :

$$y_{G,\text{net}} = \frac{A \cdot y_G - \sum_i A_{s,i} y_{s,i}}{A_{\text{net}}} \quad y_{G,\text{hom}} = \frac{A \cdot y_G + (n-1) \sum_i A_{s,i} y_{s,i}}{A_{\text{hom}}}$$

L'inertie se déduit par le théorème de Huygens, en tenant compte du décalage Δy_G entre le centre de gravité de la section considérée et celui de la section brute :

$$I_{zz,\text{net}} = I_{zz} + A(\Delta y_G)^2 - \sum_i A_{s,i} (y_{s,i} - y_{G,\text{net}})^2$$

$$I_{zz,\text{hom}} = I_{zz} + A(\Delta y_G)^2 + (n-1) \sum_i A_{s,i} (y_{s,i} - y_{G,\text{hom}})^2$$

Validation — Propriétés de flexion

Les formules analytiques ci-dessus ont été appliquées aux trois sections en utilisant les coordonnées exactes des armatures exportées par SectionPro. Tous les résultats coïncident.

Section	Propriété	Brute	Δ	Nette	Δ	Hom.	Δ
Carrée	$A \text{ (m}^2\text{)}$	4.0000	0.00 %	3.9823	0.00 %	4.0707	0.00 %
	$z_G, y_G \text{ (m)}$	1.0000	0.00 %	1.0000	0.00 %	1.0000	0.00 %
	$I_{zz}, I_{yy} \text{ (m}^4\text{)}$	1.3333	0.00 %	1.3226	0.00 %	1.3761	0.00 %
Circ. évidée	$A \text{ (m}^2\text{)}$	1.6022	0.00 %	1.5871	0.00 %	1.6625	0.00 %
	$z_G, y_G \text{ (m)}$	1.0000	0.00 %	1.0000	0.00 %	1.0000	0.00 %
	$I_{zz}, I_{yy} \text{ (m}^4\text{)}$	0.5968	0.00 %	0.5913	0.00 %	0.6189	0.00 %
Mur en L	$A \text{ (m}^2\text{)}$	1.1100	0.00 %	1.0974	0.00 %	1.1603	0.00 %
	$z_G, y_G \text{ (m)}$	0.6095	0.00 %	0.6093	0.00 %	0.6100	0.00 %
	$I_{zz}, I_{yy} \text{ (m}^4\text{)}$	0.4030	0.00 %	0.3981	0.00 %	0.4225	0.00 %

Validation — Torsion et cisaillement (comparaison croisée)

Les propriétés de torsion et cisaillement, calculées par éléments finis, sont comparées à un logiciel de référence utilisant un solveur indépendant.

Section	Propriété	Analytique	SectionPro	Δ	Réf.	Δ
Carrée	$J \text{ (m}^4\text{)}$	2.2489	2.2492	0.01 %	2.2585	0.41 %
	$A_{sz}, A_{sy} \text{ (m}^2\text{)}$	3.3333	3.3333	0.00 %	3.3355	0.07 %
	$y_T, z_T \text{ (m)}$	1.0000	1.0000	0.00 %	1.0000	0.00 %
Circ. évidée	$J \text{ (m}^4\text{)}$	1.1936	1.1936	0.00 %	1.1920	0.13 %
	$A_{sz}, A_{sy} \text{ (m}^2\text{)}$	—	0.8422	—	0.8418	—
	$y_T, z_T \text{ (m)}$	1.0000	1.0000	0.00 %	1.0000	0.00 %
Mur en L	$J \text{ (m}^4\text{)}$	—	0.0322	—	0.0328	—
	$A_{sz} \text{ (m}^2\text{)}$	—	0.5037	—	0.5054	—
	$A_{sy} \text{ (m}^2\text{)}$	—	0.5037	—	0.5024	—
	$y_T, z_T \text{ (m)}$	—	0.1637	—	0.1639	—

Mur en L — La théorie de Vlasov ($J \approx 0.033 \text{ m}^4$, $y_T \approx 0.15 \text{ m}$) fournit un ordre de grandeur comparable, mais reste une approximation car elle considère des segments sans épaisseur (alors que $t/L = 15\%$).

Conclusion

Section	Validation	Écart flexion	Écart torsion (réf.)
Carrée	Analytique	0.00 %	0.41 %
Circ. évidée	Analytique + référence (A_{sy} , A_{sz})	0.00 %	0.13 %
Mur en L	Analytique + référence (J , A_{sy} , A_{sz} , y_T , z_T)	0.00 %	1.86 %

Les propriétés de flexion (aire, centre de gravité, moments d'inertie) sont reproduites avec une précision parfaite sur les trois géométries, en section brute, nette et homogénéisée (écart 0.00 % par rapport aux formules analytiques).

Les propriétés de torsion et de cisaillement, calculées par éléments finis, dépendent de la finesse du maillage. La comparaison croisée avec un logiciel de référence montre une très bonne concordance entre les deux solveurs. SectionPro affiche toutefois une meilleure convergence, comme en témoigne sa correspondance exacte avec les solutions analytiques de torsion et de cisaillement lorsqu'elles existent.