



FORMATION AVANCEE Béton Avancé

Toutes les informations contenues dans ce document sont sujettes à modification sans préavis. Aucune partie de ce manuel ne peut être reproduite, stockée dans une base de données ou un système d'extraction ou publiée, sous quelque forme ou de quelque manière que ce soit, électroniquement, mécaniquement, par impression, impression photo, microfilm ou tout autre moyen sans l'autorisation écrite préalable de l'éditeur. SCIA n'est pas responsable des dommages directs ou indirects dus à des imperfections de la documentation et / ou du logiciel.

© Copyright 2023 SCIA nv. Tous les droits sont réservés.

Sommaire

Sommaire			
Chapitre 1:	Introc	duction5	
Chapitre 2:	Matér	riaux7	
2.1 V	/érificat	tion par la méthode des coefficients partiels	7
2.2 E	Béton		8
2.	.2.1.	Résistance (art 3.1.2)	8
2.	.2.2.	Résistance de calcul en compression et résistance de calcul en traction (art 3.1.6)	. 12
2.	.2.3.	Déformation élastique (art 3.1.3)	. 13
2.	.2.4.	Fluage et retrait (art 3.1.4)	. 14
2.	.2.5.	Relations contrainte-déformation pour le calcul de sections (art 3.1.7)	. 17
2.3 A	Acier de	e ferraillage	. 19
2.	.3.1.	Propriétés (art 3.2.2)	. 19
2.	.3.2. Hy	pothèses de calcul (art. 3.2.7)	. 21
2.4 C	Durabili	té et enrobage	. 22
2.	.4.1.	Conditions environnementales (art 4.2)	. 22
2.	.4.2.	Méthodes de vérification (art. 4.4)	. 24
Chapitre 3:	Calcu	Il et contrôle31	
3.1.	Modè	les d'analyse	. 31
3.	.1.1.	Eurocode	. 31
3.	.1.2.	SCIA Engineer	. 32
3.	.1.3.	Exemple	. 34
3.2.	Calcu	Il de poutre	. 36
3.	.2.1.	Description de l'exemple utilisé	. 36
3.	.2.2.	Efforts internes recalculés	. 37
3.	.2.3	Ferraillage théorique	. 46
3.	.2.4.	Ferraillage pratique	. 59
3.	.2.5.	Conversion du ferraillage théorique en ferraillage pratique	. 65
3.	.2.6.	Contrôles	. 68
3.3.	Calcu	Il de poteau	104
3.	.3.1.	Méthodes de calcul de ferraillage	104
3.	.3.2.	Calcul des efforts internes	126
3.4.	Calcu	Il de plaque	141
3.	.4.1.	Définition de l'exemple	141
3.	.4.2.	Résultats du calcul linéaire	148
3.	.4.3.	Configurations de béton	157
3.	.4.4.	Calcul ELU	160

3.	4.5.	Calcul ELS des éléments 2D - Ouverture de fissures et limitation de contraintes	176
3.	4.6.	Contrôle de la fissuration	182
3.5.	Poing	connement	186
3.	5.1.	Rappels théoriques	186
3.	5.2.	Vérification au poinçonnement	194
3.6.	Flèch	e (CDD)	204
3.	6.1.	Introduction	204
3.	6.2.	Types de combinaisons pour la CDD	205
3.	6.3.	Type de ferraillage	208
3.	6.4.	Calcul de la rigidité pour les éléments 1D	208
3.	6.5.	Calcul de la rigidité pour les éléments 2D	213
3.	6.6.	Paramètres pour le calcul de la déformation de retrait	217
3.	6.7.	Calcul de la flèche	218
Chapitre 4:	Modi	fication de résultats221	
4.1.	Posit	ion	221
4.	1.1.	Aux nœuds, pas de moyenne	221
4.	1.2.	Aux centres	221
4.	1.3.	Aux nœuds, moyenne	222
4.	1.4.	Aux nœuds, moyenne sur macro	222
4.	1.5.	Précision des résultats	223
4.2.	Band	e de lissage	223
4.3.	Nervu	Jre	227
4.	3.1.	Résultats dans les nervures	228
4. 4.	3.1. 3.2.	Résultats dans les nervures Rigidité des nervures dans le calcul de la CDD	228 239

Chapitre 1: Introduction

Ce support vient en complément du support fondamentaux. Il apporte davantage de notions et des connaissances plus approfondies dans l'utilisation du module « Béton » de SCIA Engineer.

Ce tutoriel se compose de trois grandes parties.

La première partie, la plus petite, est un rappel de la norme en ce qui concerne les matériaux.

La deuxième partie est celle qui compose en majorité ce tutoriel. Il s'agit de la description des différents calculs et contrôles béton armé effectués dans le logiciel, à savoir les efforts internes utilisés, le ferraillage théorique et réel, les contrôles en capacité, la vérification au poinçonnement et de la flèche ... Et ceci pour chaque type d'élément : poutre, poteau, plaque/voile.

Enfin, la dernière partie étudie les différentes possibilités de modification de résultats : la gestion des éléments finis et du maillage, les bandes de lissage pour comme son nom l'indique lisser les résultats lors d'apparition de pics (de contraintes et donc de ferraillage), le calcul de nervures (poutre en Té), ou encore l'utilisation d'une orthotropie.

Chapitre 2: Matériaux

2.1 Vérification par la méthode des coefficients partiels

Cf art 2.4.2.4.

Le coefficients partiels des matériaux pour les états limites ultimes, y c et y s doivent être utilisés.

Les valeurs recommandées de γ_c et γ_s pour les situations de calcul « permanentes et transitoires » et « accidentelles », sont données dans le tableau suivant. Cela n'est pas valide pour le calcul au feu pour lequel la référence est l'EN 1992-1-2.

Pour la vérification à la fatigue, les coefficients partiels pour les situations de calcul permanentes donnés dans ce tableau sont recommandés pour les valeurs de $\gamma_{c,fat}$ et $\gamma_{s,fat}$.

Situations de calcul	γ _c pour le béton	γ_S pour le ferraillage	γ _s pour les armatures précontraintes
Permanent & transitoire	1,50	1,15	1,15
Accidentel	1,20	1,00	1,00

Ces valeurs se trouvent également dans la configuration béton de l'Annexe Nationale :

Type des valeurs	AN française NF-EN	Nom AN française NF-EN						
AN bâtiment 🧹	E- Béton	4 Béton						
Type de fonctionnalité	Béton	4 Général						
Poutres alvéolées 🛃	- Armature non précontrainte	4 Béton						
Précontrainte 🗹	Durabilité et enrobage	Annexe nationale						
	- ELU	4 EN_1992_1_1						
	- Général Poinconnement	YSH-coefficient partiel pour l'effet du retrait						
	ELS	Valeur [-] 1.00						
	Général	* Y _C - coefficient partiel pour les valeurs de calcul pour						
	Dispositions constructives communications constructives	Valeur [-] 1.50 / 1.20						
	- Structures 2D et dalles Poinçonnement	f _{ok,max} - valeur maximale de la résistance caractéris						
		Valeur [MPa] 90.00						
		⁴ a _{cc} - coefficient pour la prise en compte des effets à la						
		Valeur [-] 1.00						
		⁴ a _{ct} - coefficient pour la prise en compte des effets à la						
		Valeur [-] 1.00						
		* k _{1,red} - coefficient pour le calcul du rapport de distrib						
		Valeur [-] 0.44						
		4 k _{2,red} - coefficient pour le calcul du rapport de distrit						
		Formule Formule						
			k _{3,red} - coefficient pour le calcul du rapport de distrit					
		Valeur [-] 0.54						
		4 k _{4,red} - coefficient pour le calcul du rapport de distrit						
		Formule Formule						
	< >	<						

Type des valeurs	AN française NF-EN	Nom AN française NF-EN				
AN bâtiment 🗹	- Beton - Général	4 Béton				
Type de fonctionnalité	Béton	 Général 				
Poutres alvéolées 🔽	Armature non précontrainte Armature précontrainte	4 Béton				
Précontrainte 🗹	Durabilité et enrobage	Annexe nationale				
	ELU .	▶ EN_1992_1_1				
	Poinconnement	Armature non précontrainte				
	e- ELS	Annexe nationale				
	Général Dispositions constructives	4 EN_1992_1_1				
	- Dispositions constructives commu	Y _S - coefficient partiel pour les valeurs de calcul de ré				
		Valeur [-] 1.15 / 1.00				
	Politonnement	4 s _{ud} /s _{uk} - eps_ud/eps_uk - rapport des valeurs de calc				
		Valeur [-] 0.30				
		⁴ Tyk,up				
		Armature précontrainte				
		Durabilité et enrohage				
		▶ ELU				
		▶ ELS				
		Dispositions constructives				

Tous les coefficients liés à la norme sont affichés en vert ci-dessus. Par défaut, les valeurs de la norme choisie sont prises en compte.

Les valeurs des coefficients partiels pour les matériaux pour la vérification à l'ELS doivent être pris égales à celles données dans les clauses particulières de cet Eurocode.

La valeur recommandée de γ_C et γ_S pour les situations à l'ELS non couvertes par les clauses particulières de cet Eurocode est de 1.

Des valeurs plus basses de γ_c et γ_s pourraient être utilisées si cela est justifié par des mesures réduisant la résistance calculée.

2.2 Béton

Les clauses suivantes donnent les principes et règles pour le béton normal et à haute résistance.

2.2.1. Résistance (art 3.1.2)

La résistance en compression du béton est désignée par des classes de résistance liées à la résistance caractéristique (fractile 5 %) mesurée sur cylindre f_{ck} ou sur cube $f_{ck,cube}$.

Les classes de résistance de la norme sont basées sur la résistance caractéristique mesurée sur cylindre, f_{ck} , déterminée à 28 jours, compatible avec une valeur maximale C_{max} .

La valeur recommandée de C_{max} est C90/105.

	Configuration béton			Х					
*	Type des valeurs	AN française NF-EN	Nom AN française NF-EN	^					
	AN bâtiment 🗹	🚊 Général	4 Béton						
1	Type de fonctionnalité	Béton	4 Général						
	Poutres alvéolées	Armature non précontrainte	4 Béton						
	Précontrainte 🗹	Durabilité et enrobage	Annexe nationale						
		ELU	4 EN_1992_1_1						
		Général	YSH ⁻ coefficient partiel pour l'effet du retrait						
		⊡- ELS	Valeur [-] 1.00						
		Général ➡ Dispositions constructives ■ Dispositions constructives commun ■ Structures 2D et dailes ■ Poinconnement	✓ Y _C - coefficient partiel pour les valeurs de calcul pour						
			Valeur [-] 1.50 / 1.20						
			✓ f _{ck,max} - valeur maximale de la résistance caractéris						
			Valeur [MPa] 90.00						
			▲ a _{cc} - coefficient pour la prise en compte des effets à la						
			Valeur [-] 1.00						
			a _{ct} - coefficient pour la prise en compte des effets à la						
			Valeur [-] 1.00						
			k _{1 red} - coefficient pour le calcul du rapport de distrib						
			Valeur [-] 0.44						
			k _{2 red} - coefficient pour le calcul du rapport de distrit						
			Formule Formule						
			4 kaund - coefficient pour le calcul du rapport de distrit						
			Valeur [-] 0.54						
			4 ka coefficient pour le calcul du rapport de distrit						
			Formule Formule						
		< >	kr coefficient pour le calcul du rapport de distrit	~					
-			5.jeg						
	Tout Rien	Régénérer	Charger défauts selon AN OK A	nnuler					

Dans certains cas (précontrainte, par exemple), il peut être indiqué d'établir la résistance en compression du béton avant ou après 28 jours, à partir d'éprouvettes conservées dans des conditions différentes de celles prescrites dans l'EN 12390.

Toutes les valeurs peuvent se trouver dans la bibliothèque de matériaux de SCIA Engineer :





Il peut être nécessaire de spécifier la résistance en compression du béton, $f_{ck}(t)$, à l'instant t, pour un certain nombre de phases (décoffrage, transfert de précontrainte par exemple), où :

$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8 \text{ (MPa)}$	pour 3 < t < 28 jours
$f_{ck}(t) = f_{ck}$	pour t ≥ 28 jours.

La résistance en compression du béton à l'âge t dépend du type de ciment, de la température et des conditions de cure. Pour une température moyenne de 20 °C et une cure conforme à l'EN 12390, la résistance en compression du béton à différents âges t, $f_{cm}(t)$, peut être estimée à l'aide des expressions suivantes :

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) * f_{cm}$$

avec :

$$\beta_{cc}(t) = e^{\left\{s \cdot \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)\right]^{\frac{1}{2}}\right\}}$$

où :

 $f_{cm}(t)$ est la résistance moyenne en compression du béton à l'âge de t jours f_{cm} est la résistance moyenne en compression du béton à 28 jours, conformément au Tableau 3.1 $\beta_{cc}(t)$ est un coefficient qui dépend de l'âge t du béton

t est l'âge du béton, en jours

s est un coefficient qui dépend du type de ciment :

= 0,20 pour les ciments de classe de résistance CEM 42,5 R, CEM 52,5 N et CEM 52,5 R (Classe R)

= 0,25 pour les ciments de classe de résistance CEM 32,5 R, CEM 42,5 N (Classe N)

= 0,38 pour les ciments de classe de résistance CEM 32,5 N (Classe S)

(3.1)

(3.2)

🗾 Matériaux		×
et -1 🖸 🖬 🕪 🛢	🕽 🐟 🕫 😤 🖸 Tout 🔹 🔻	
C12/15	Nom C30/37	
C16/20	· Général	
C20/25	Tupe de matériau Béton	
C25/30	Distation therminus Testanki 0.01e-003	
C30/37	Dilatadon diermique [m/mk] 0.04000	
035/45	Masse volumique [kg/m^3] 2500.00	
40/50	Masse volumique béton frais [kg/m^3] 2600.00	
45/55	Module E [MPa] 3.2800e+04	
50/60	Coeff. de Poisson 0.2	
55/67	Module G indépendant	
60/75	Module G [MPa] 1.3667e+04	
270/85	Décrément log, (nour amort, non uniforme), 9-2	
80/95	Carding Control of Carding	
290/105		
.6/8 (British BS-E	Chateur specifique [J/gK] 6.00006-01	
Capital (British B3-E	Conductivité thermique [W/mK] 4.5000e+01	
28/35 (British B5	Ordre dans la norme 5	
20/35 (IFISH 1.3-E	Prix par unité [€/m^3] 1.00	
32/40 (Brifish BS	- EN 1992-1-1	
100/115 (Germa	Résistance caractéristique à la compression sur cylindre fck(; 30.00	
C12/15(EN1992-2)	Valeurs dépendantes calculées 🛃	
(16/20(EN1992-2)	Résistance movenne à la compression frm(28) [MPa1 38:00	
20/25(EN1992-2)	fem/281 - fe//281 [MPa1 8.00	
25/30(EN1992-2)	REFLECT TO A CONTRACT OF A CONTRACT.	
C30/37(EN1992-2)	Resistance moyenne a la traction fctm(28) [MPa]	
C35/45(EN1992-2)	fctk 0,05(28) [MPa] 2.00	
C40/50(EN1992-2)	fctk 0,95(28) [MPa] 3.80	
45/55(EN1992-2)	Résistance de calcul à la compression - persistant (fcd = fck / 20.00	
(50/60(EN1992-2)	Résistance de calcul à la compression - accidentel (fcd = fck / 25.00	
(55/67(EN1992-2)	Déformation lors de l'atteinte de la résistance maximum eps 20.0	
C60/75(EN1992-2)	Déformation maximum eos cu2 [1e-4] 35.0	
C70/85(EN1992-2)	Déformation lors de l'atteinte de la résistance maximum ens. 17.5	
C80/95(EN1992-2)	Differentian maximum are sub to at 35.0	
C90/105(EN1992-2)	Deformation maximum eps cus [1e4] 0510	
3 400A	Diametre des granulats (dg) [mm] 34	
3 500A	Classe de ciment N (prise normale - CEM 32,5 R, CEM	42,5 N) ^
8 600A	Type de ciment S (prise lente - CEM 32,5 N)	AD F NV
8 400B	Type d'agrégat R (prise rapide - CEM 32,5 R, CEM 5	2.5 N. CEM 52.5 R)
8 500B	Valeurs mesurées	and a series of a second
5 6008	Valaure manurées de la résistance mouenne à la compressie	

La résistance en traction fait référence à la contrainte la plus élevée atteinte sous une charge de traction concentrique.

Les résistances caractéristiques pour f_{ck} et les caractéristiques mécaniques correspondantes nécessaires pour le calcul, sont données pour le tableau 3.1 :

			Tab	leau 3.1	: Cara	ctéris	tiques	de rés	istance e	t de défot	rmation o	lu béto	'n	
Expression analytique Commentaires			$f_{\rm cm} = f_{\rm ck} + 8 ({\rm MPa})$	$ \begin{aligned} f_{chn}^{a} &= 0.30 \times f_{ck}^{a,0/3]} \leq C50/60 \\ f_{chn}^{a} &= 2.12 \cdot \ln(1 + (f_{cn}/^{1}0)) \\ &> C50/60 \end{aligned} $	fak.0.05 = 0.7 × fam fractile 5 %	$f_{cdk,0,95} = 1,3 \times f_{cdm}$ fractile 95 %	$E_{\rm cm} = 22[(f_{\rm cm})'10]^{0.3}$ $(f_{\rm cm} {\rm en} {\rm MPa})$	Voir figure 3.2 \mathcal{E}_{c1} (%) = 0,7 $f_{cm}^{0,31} < 2,8$	Voir figure 3.2 pour $f_{dx} \ge 50 \text{ MPa}$ pour $f_{dx} \ge 50 \text{ MPa}$ $\mathbb{E}_{curt}(N_{ex}) = 2.8 + 27[(98 - f_{cm})/100]^4$	$ \begin{array}{l} \mbox{Voir Figure 3.3} \\ \mbox{Pour } f_{dx} \geq 50 \ \mbox{MPa} \\ \mbox{Pc}_{c2}(\mbox{Mp}) \equiv 2.0 + 0.085 (f_{dx} - 50)^{0.53} \end{array} $	Volr Figure 3.3 pour f ₅₄ ≥ 50 MPa £ _{cu2} (‰) = 2.6 + 35[(90 – f ₅₄)/100] ⁴	$pour f_{ck} \ge 50 \text{ MPa}$ $n = 1, 4 + 23, 4[(90 - f_{ck})'100]^4$	$\label{eq:constraint} \begin{array}{l} \mbox{Volr Figure 3.4} \\ \mbox{pour } f_{ck} \geq 50 \mbox{ MPa} \\ \mbox{pour } f_{ck} \geq 0.55[(f_{ck}-50)40] \end{array}$	$\begin{array}{l} \mbox{Voir Figure 3.4} \\ \mbox{pour f}_{q_x} \geq 50 \mbox{ MPa} \\ \mbox{B}_{cud}(\%) = 2.6 + 35[(90-f_{q_x})'100]^4 \end{array}$
8s	8	105	8	5,0	3,5	6,6	44	2,8	2.8	2.6	2,6	4.	2,3	2,6
2 2	80	95	88	4,8	3,4	6,3	42	2,8	2,8	2,5	2,6	4.	2,2	2,6
	70	85	78	4,6	3,2	6,0	41	2.7	2,8	2,4	2.7	1,45	2,0	2.7
1	60	75	68	4,4	3,1	5,7	39	2,6	3,0	2,3	2,9	1,6	1,9	2,9
E	55	67	63	4,2	3.0	5,5	38	2,5	3,2	2,2	3,1	1,75	1,8	3,1
u béto	50	60	58	. .	2,9	5,3	37	2,45)(
nce di	45	55	53	3,8	2.7	4,9	36	2.4						
sistar	40	50	48	3.5	2,5	4,6	35	2.3						
de ré	35	45	43	3,2	2.2	4,2	34	2,25					12	
8308	30	37	38	2,9	2,0	3,8	33	2.2	3,5	2.0	3,5	2,0	1,75	3,5
Cla	25	30	33	2,6	1,8	3,3	31	21						
	20	25	28	2,2	1,5	2,9	30	2.0						
	46	20	24	1,9	. .	2,5	29	1.9						
	12	15	20	1.6	11	2,0	27	1,8					a	
	fox (MPa)	fck.cube (MPa)	f _{cm} (MPa)	fam (MPa)	fak.0.05 (MPa)	f _{ak,0,95} (MPa)	E _{cm} (GPa)	(%)	6art (%)	22 22 20 20	(m)	и	දිස (ශ්)	6au3 (%e)

2.2.2. Résistance de calcul en compression et résistance de calcul en traction (art 3.1.6)

La résistance de calcul en compression est définie comme :

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

où :

 γ_{C} est le coefficient partiel de sécurité relatif au béton. A_{cc} est un coefficient tenant compte des effets à long terme sur la résistance en compression et des effets défavorables résultant de la manière dont la charge est appliquée.

La valeur de α_{cc} doit être comprise entre 0,8 et 1,0. La valeur recommandée est 1,0. Remarque : l'annexe nationale belge recommande d'utiliser la valeur de 0,85.

La résistance de calcul en traction est définie comme :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_{C}}$$

(3.15)

où :

 γ_c est le coefficient partiel de sécurité relatif au béton. α_{ct} est un coefficient tenant compte des effets à long terme sur la résistance en traction et des effets défavorables résultant de la manière dont la charge est appliquée.

La valeur recommandée de α_{ct} est de 1,0.

Les valeurs des coefficients tenant compte des effets à long terme peuvent être trouvées dans la « Configuration béton » de l'annexe nationale :



Si la résistance du béton est déterminée à un âge t > 28 jours, alors les valeurs de α_{cc} et de α_{ct} devront être réduites par un facteur k_t.

La valeur recommandée de k_t est de 0,85.

2.2.3. Déformation élastique (art 3.1.3)

Les déformations élastiques du béton dépendent largement de la composition de celui-ci (notamment des granulats). Il convient de considérer les valeurs données dans la norme comme des valeurs indicatives, valables pour des applications générales. Il convient cependant de les déterminer de manière explicite si la structure est considérée comme sensible aux écarts éventuels par rapport à ces valeurs générales.

Le module d'élasticité du béton dépend du module d'élasticité de ses constituants. Des valeurs approchées de E_{cm} , module sécant entre σ_c = 0 et 0,4.f_{cm}, sont données dans le Tableau 3.1 pour des bétons contenant des granulats de quartzite.

Pour des granulats calcaires et des granulats issus de grès, il convient de réduire la valeur de 10 % et 30 % respectivement tandis qu'il convient de l'augmenter de 20 % pour des granulats issus de basalte.



L'évolution du module d'élasticité avec le temps peut être estimée par :

$$E_{cm}(t) = \left(\frac{f_{cm}(t)}{f_{cm}}\right)^{0.3} \cdot E_{cm}$$
(3.5)

expression dans laquelle $E_{cm}(t)$ et $f_{cm}(t)$ sont les valeurs à l'âge t (jours) et E_{cm} et f_{cm} les valeurs déterminées à 28 jours. La relation entre $f_{cm}(t)$ et f_{cm} est donnée par l'Expression (3.1).

Le coefficient de Poisson peut être pris égal à 0,2 pour le béton non fissuré et à 0 pour le béton fissuré.

2.2.4. Fluage et retrait (art 3.1.4)

Le fluage et le retrait du béton dépendent de l'humidité ambiante, des dimensions de l'élément et de la composition du béton. Le fluage dépend également de la maturité du béton lors du premier chargement ainsi que de la durée et de l'intensité de la charge.

La valeur du coefficient de fluage peut être définie dans la « Configuration béton » (en utilisant la vue « Paramètres basé sur la norme » ou bien « Configuration complète ») ou dans les données d'élément 1D. Si le type de saisie du coefficient de fluage est « Auto », le coefficient sera calculé en saisissant l'âge du béton et l'humidité relative (cf annexe B.1. de l'EN 1992-1-1).

S le type de saisie du coefficient de fluage est « utilisateur », le coefficient de fluage peut être saisi directement par l'utilisateur.

es : 🛛 Paramètres basés sur la nor 👻 🛛 Paramètres d'affich 💌	Reprei	Chercher				Annexe Nationale:		
Description	Symbole	Valeur	Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Struct	Type de
tous>	<tous> \</tous>	<tous></tous>	<tou)<="" td=""><td></td><td><tous>)/</tous></td><td>EN 1992· ×</td><td><to)<="" td=""><td>Option X</td></to></td></tou>		<tous>)/</tous>	EN 1992· ×	<to)<="" td=""><td>Option X</td></to>	Option X
3. Matériaux								
▲ 3.1 Béton			_	_				
 3.1.4 Fluage et retrait 					105			
Age du béton à l'instant considéré	t	18250.00	18250.00	Jour	3.1.4.B.1-2	EN 1992-1-1	Tout (P	Option d
Humidité relative	RH	50	50	96	3.1.4.B.1-2	EN 1992-1-1	Tout (P	Option d
Type de saisie du coefficient de fluage	Type $\phi(t,t$	Auto	Auto		3.1.4(2)	EN 1992-1-1	Tout (P	Option d
Age du béton à la mise en charge	t ₀	28.00	28.00	jour	3.1.4(2),B1	EN 1992-1-1	Tout (P	Option d
Tenir compte du séchage et du retrait autogène	Type s _{cs} (t,t	Auto	Auto		3.1.4(6)	EN 1992-1-1	Tout (P	Option d
Age du béton au début du retrait de séchage	ts	7.00	7.00	jour	3.1.4(6),B2	EN 1992-1-1	Tout (P	Option d
5. Analyse structurale								
5.2 Imperfections géométriques								
∡ 5.3 Structure idéalisée)	· · · · · ·
5.3.2 Données géométriques								
Réduction du moment sur les appuis					5.3.2.2 (4)	EN 1992-1-1	Poutre	Option d
▷ 5.8 Analyse des effets de second ordre avec charge								
6. États limites ultimes (ELU)							-	
▷ 6.1 Flexion avec ou sans effort normal								
▲ 6.2 Effort tranchant								
4.6.2.1 Procédure générale de vérification								

		BARRE	(1) >	DONNEES	BETON D'ELEMENT 1D (1)	1
₽	ø	I]	P			
	-			Nom	CMD1D	
				Elément	81	
			Туре	d'élément	Poteau	~
▶ P	ARAM	ÈTRES	DE CO	NCEPTION	PAR DÉFAUT	
* 0	GENE	DU SO	DLVEU	R		
Coeff	ficient	pour le	calcu	l de la h	0.9	
Coef	ficient	pour le	calcu	du bra	0.9	
Coef	ficient	pour le	calcu	de l'eff	0.1	
	FLI	JAGE E	T RET	RAIT		
Age d	lu béto	in à l'in	stant	considér	18250.00	
		Hum	idité n	elative [%]	50	
Type	de sais	sie du c	oeffici	ent de fi	Auto	~
Age o	du béte	on à la	mise e	n charg	28.00	
Tenir	comp	ite du s	échag	e et du r	Auto	~
Age d	lu béto	n au d	ébut d	u retrait	7.00	
	EL	s				
Utilis	er le n	nodule	effecti	f du béton	0	
1	EFFO	RISIN	FLA	S ment isolà		
Imne	efectio	n séon	netrio	ue dans		_
Impe	rfectio	n sion	nétrice	ue dans	00	
2		Excer	tricité	minimale	Dans exc. de premier ordre	
	Excel	ntricité	de ser	ond ordre		
Ĩ,	MO	DIFICA	TION	DES EFFORT	IS INTERNES	
	1			Туре	Auto	4
		Eff	fort no	rmal (N _{sa})	1930	
t de f	lexion	autour	de l'a	ixe Y (M _{bib})	(
t de f	lexion	autour	de l'a	ove Z (Mon)		
	1	Momen	t de te	orsion (T _{tal})	-	
Effor	t trans	chant d	laris l'a	axe Y (V _{edy})	(
Effor	t tranc	chant d	lans l'a	axe Z (V _{int})		
4	CTION	15 30				
	Chare	for lass	aleurs	de la confi	guration	

(1) Le coefficient de fluage $\varphi(t,t_0)$ peut être calculé à partir de : $\varphi(t,t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_0(t,t_0) \qquad ... (B.1)$ où :

ø0 est le coefficient de fluage conventionnel et peut être estimé par :

$$\varphi_0 = \varphi_{\mathsf{RH}} \cdot \beta(f_{\mathsf{cm}}) \cdot \beta(t_0) \qquad \dots (\mathsf{B.2})$$

PRH est un facteur tenant compte de l'influence de l'humidité relative sur le coefficient de fluage conventionnel :

$$\varphi_{\rm RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0}}$$
 pour $f_{\rm cm} \le 35 \,\rm MPa$ (B.3a)

$$\varphi_{\mathsf{RH}} = \left[1 + \frac{1 - RH/100}{0, 1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot a_1\right] \cdot a_2 \quad \text{pour} \quad f_{\mathsf{cm}} > 35 \text{ MPa} \qquad \dots (\mathsf{B}.3\mathsf{b})$$

RH est l'humidité relative de l'environnement ambiant en %

 $\beta(t_{cm})$ est un facteur tenant compte de l'influence de la résistance du béton sur le coefficient de fluage conventionnel :

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}}$$
...(B.4)

fom est la résistance moyenne en compression du béton à 28 jours, en MPa

β(t₀) est un facteur tenant compte de l'influence de l'âge du bêton au moment du chargement sur le coefficient de fluage conventionnel ;

$$\beta(t_0) = \frac{1}{(0, 1 + t_0^{0.20})} \dots (B.5)$$

ho est le rayon moyen de l'élément, en mm :

$$h_0 = \frac{2A_0}{u}$$
 ... (B.6)

Ac est l'aire de la section droite

u est le périmètre de l'élément en contact avec l'atmosphère

β_c(*t*,*t*₀)est un coefficient qui rend compte du développement du fluage avec le temps après chargement, et peut être estimé par l'expression suivante :

$$\beta_{\rm e}(t,t_0) = \left[\frac{(t-t_0)}{(\beta_{\rm H}+t-t_0)}\right]^{0.3} \dots ({\rm B}.7)$$

t est l'âge du béton à l'instant considéré, en jours

to est l'âge du béton au moment du chargement, en jours

20

t - to est la durée non ajustée du chargement, en jours

β_H est un coefficient dépendant de l'humidité relative (*RH* en %) et du rayon moyen de l'élément (h₀ en mm). Il peut être estimé par :

$\beta_{\rm H} = 1.5 \left[1 + (0.012 RH)^{16}\right] h_0 + 250 \le 1500$	pour f _{cm} ≤ 35	(B.8a)
$\beta_{\rm H}$ =1,5 [1 + (0,012 RH) ¹⁸] h_0 + 250 $a_3 \leq$ 1 500 a_3	pour fom ≥ 35	(B.8b)
and the first of the second star in the second state and second states and second states and second states and		

a1/2/3 sont des coefficients tenant compte de l'influence de la résistance du béton :

$$a_1 = \begin{bmatrix} \frac{35}{f_{cm}} \end{bmatrix}^{0,7}$$
 $a_2 = \begin{bmatrix} \frac{35}{f_{cm}} \end{bmatrix}^{0,2}$ $a_3 = \begin{bmatrix} \frac{35}{f_{cm}} \end{bmatrix}^{0,5}$... (B.8c)

Si une grande précision n'est pas nécessaire, une valeur trouvée à partir de la figure 3.1 peut être considérée comme le coefficient de fluage, sous réserve que le béton ne soit pas soumis à une contrainte de compression plus grande que 0,45.f_{ck} (t₀) à un âge t₀, l'âge du béton au temps de chargement.



2.2.5. Relations contrainte-déformation pour le calcul de sections (art 3.1.7)

Pour le calcul des sections, le diagramme contrainte-déformation suivant peut être utilisé :



- ϵ_{c2} est la déformation lorsqu'est atteinte la résistance maximum dans le diagramme parabole-rectangle.
- ϵ_{cu2} est la déformation ultime dans le diagramme parabole-rectangle.
- ϵ_{c3} est la déformation lorsqu'est atteinte la résistance maximum dans le diagramme bilinéaire.
- ϵ_{cu3} est la déformation ultime dans le diagramme bilinéaire.

L'utilisateur peut choisir dans la bibliothèque de matériaux quel diagramme à utiliser pour le calcul :

a.	Diagramme contrainte-déformation			
	Type de diagramme	Diagramme contrainte-déformation bi-linéaire	~	
	Dessin du diagramme contrainte-déformation	Diagramme contrainte-déformation bi-linéaire		
	0	Diagramme contrainte-déformation parabole-rectangle		



2.3 Acier de ferraillage

Les clauses suivantes donnent les principes et les règles pour les armatures sous formes de barres, de fils redressés, de treillis soudés et de poutres-treillis. Elles ne s'appliquent pas aux barres à revêtement spécial.

2.3.1. Propriétés (art 3.2.2)

Le comportement des aciers de ferraillage est défini par les propriétés suivantes :

- Limite d'élasticité (f_{yk} ou f_{0,2k})
- Limite supérieure réelle d'élasticité (f_{y,max})
- Résistance à la traction (ft)
- Ductilité (ε_{uk} et f_t/f_{yk})
- Aptitude au pliage
- Caractéristiques d'adhérence (f_R : cf annexe C)
- Dimensions de la section et tolérances
- Résistance de fatigue
- Soudabilité
- Résistance au cisaillement et résistance des soudures dans le cas des treillis soudés et poutres-treillis.

Les propriétés des armatures se trouvent dans la bibliothèque de matériaux :

Matériaux		×
e -: 🖸 🖬 📴	🔦 🛷 🔲 😤 📄 🕗 Acier de ferraillage	• T
B 400A	Nom	B 500B
B 500A	4 Général	
B 600A	Type de matériau	Acier de ferraillage
B 400B	Dilatation thermique [m/mK]	0.01e-003
B 500B	Masse volumique [kg/m^3]	7850.00
B 600B	Module E IMPa	2.0000e+05
B 500C	Coeff de Poisson	0.2
B 600C	Madula G indénendant	
B 420B (Austrian ONO	Module G IMPal	8 3333e+04
B 550A (Austrian ONO		0.2
B 550B (Austrian ONO	Decrement log. (pour amort, non uniforme)	0.2
	Couleur	
	Chaleur spécifique [J/gK]	6.0000e-01
	Conductivité thermique [W/mK]	4.5000e+01
	Etat de surface	Nervurée Y
	Ordre dans la norme	5
	Prix par unité [€/kg]	1.00

		- EN	1992-1-1		
			Limite élastique caractéristique fyk [MPa]	500.0	
			Valeurs dépendantes calculées		
		Résis	tance caractéristique max à la traction ft	540.0	
			Coefficient k = ftk / fyk [-]	1.08	
		Limi	te élastique de calcul - persistant (fyd = fyk	434.8	
		Limi	te élastique de calcul - accidentel (fyd = fyl	500.0	
			Allongement maximum eps uk [1e-4]	500.0	
			Classe	В	
			Type de ferraillage	Barres	*
			Fabrication	Laminé	*
		⊿ Di	agramme contrainte-déformation		
			Type de diagramme	Bi-linéaire avec branche supérieure	inclir 🗸
		Des	sin du diagramme contrainte-déformation		
Nouveau	Insérer	Modifier	Supprimer		Fermer

La valeur moyenne de densité peut être prise égale à 7850kg/m³. La valeur de calcul du module d'élasticité E_s peut être pris égal à 200GPa.

Cette Eurocode s'applique au ferraillage soudé et nervuré, y compris les treillis.

Les règles d'application pour le calcul et les dispositions dans cette Eurocode sont valides pour un intervalle de limite élastique défini f_{yk} = 400 à 600MPa.

Le tableau C.1 donne les propriétés de ferraillage adapté à l'utilisation de cet Eurocode :

Forme du p	Barres et fils redressés			Т	eillis sou	Exigence ou valeur du fractile (%)		
Classe	A	в	с	A	в	с		
Limite caractéristique ou f _{0,2k} (MPa)	400 à 600						5,0	
Valeur <mark>minimale</mark> de k	≥ 1,05	≥ 1,08	≥ 1,15 < 1,35	≥ 1,05	≥ 1,08	≥ 1,15 < 1,35	10,0	
Valeur caractéristique de la déformation rela sous charge maximale	≥2,5	≥5,0	≥7,5	≥2,5	≥5,0	≥7,5	10,0	
Aptitude au pliage		Essai de pliage/dépliage				<u>(47</u>)		
Résistance au cisaille	ment	12			0,3 A fyk (A est l'aire du fil)			Minimum
Tolérance maximale vis-à-vis de la masse nominale (barre ou fil individuel) (%)	Dimension nominale de la barre (mm) ≤ 8 > 8			±	6,0 4,5			5,0

Tableau C.1 :	Propriétés	des armatures
---------------	------------	---------------

2.3.2. Hypothèses de calcul (art. 3.2.7)

Pour un calcul courant, l'une ou l'autre des hypothèses suivantes peut être faite:

B1) branche supérieure inclinée, avec une limite de déformation égale à ϵ_{ud} , et une contrainte maximale de k. f_{yk}/γ_s pour ϵ_{uk} , avec k = (ft /fy)k.

B2) branche supérieure horizontale, sans nécessité de vérifier la limite de déformation.

La valeur recommandée de ϵ_{ud} est de 0,9. $\epsilon_{uk}.$ La valeur de (ft /fy)k est donnée dans le tableau C.1.



Dans la bibliothèque de matériaux, l'utilisateur peut choisir entre les deux hypothèses :



2.4 Durabilité et enrobage

2.4.1. Conditions environnementales (art 4.2)

Les conditions d'exposition sont les conditions physiques et chimiques auxquelles la structure est exposée, en plus des actions mécaniques.

Les conditions d'environnement sont classées conformément au Tableau 4.1, basé sur l'EN 206-1.

Dé	signation	Description de l'environnement :	Exemples informatifs illustrant le choix
de	la classe		des classes d'exposition
1	Aucun	risque de corrosion ni d'attaque	
	xo	Béton non armé et sans plèces métalliques noyées : toutes expositions sauf en cas de gelidègel, d'abrasion et d'attaque chimique Béton armé ou avec des plèces métailiques noyées : très sec	Béton a l'Intérieur de bâtiments où le taux d'humidité de l'air ambiant est très faible
2	Corrosio	on Induite par carbonatation	
	XC1	Sec ou humide en permanence	Béton à l'intérieur de bâtiments où le taux d'humidité de l'air ambiant est faibi Béton submergé en permanence dans de l'eau
	XC2	Humide, rarement sec	Surfaces de béton soumises au contact à long terme de l'eau Un grand nombre de fondations
	XC3	Humidité modérée	Beton à l'interieur de bâtiments où le taux d'humidite de l'air ambiant est moyen ou élevé
			Béton extérieur abrité de la pluie
	XC4	Alternativement humide et sec	Surfaces de béton soumises au contact de l'eau, mais n'entrant pas dans la classe d'exposition XC2
3	Corrosie	on Indulte par les chlorures	
	XD1	Humidité modérée	Surfaces de béton exposées à des chlorures transportés par vole aérienne
	XD2	Humide, rarement sec	Piscines Éléments en béton exposés à des eaux industrielles contenant des chlorure
	XD3	Alternativement humide et sec	Éléments de ponts exposés a des projections contenant des chiorures Chaussées Dalles de parcs de stationnement de véhicules
4	Corrosio	on Indulte par les chlorures présents dans l'eau de	mer
	XS1	Exposé à l'air véhiculant du sei marin mais pas en contact direct avec l'eau de mer	Structures sur ou à proximité d'une côte
	XS2	Immergé en permanence	Éléments de structures marines
	XS3	Zones de marnage, zones soumises à des projections ou à des embruns	Éléments de structures marines
5	Attaque	gel/dégel	
	XF1	Saturation modérée en eau, sans agent de déverglaçage	Surfaces verticales de béton exposées à la pluie et au gel
	XF2	Saturation modérée en eau, avec agents de déverglaçage	Surfaces verticales de béton des ouvrages routiers exposés au gel et à l'ail véhiculant des agents de déverglaçage
	XF3	Forte saturation en eau, sans agents de déverglaçage	Surfaces horizontales de bêton exposées à la pluie et au gel
	XF4	Forte saturation en eau, avec agents de déverglaçage ou eau de mer	Routes et tabliers de pont exposés aux agents de déverglaçage. Surfaces de béton verticales directement exposées aux projections d'agent de déverglaçage et au gel.
6	Attaque	a chimiques	correo des outovaries marmes sournises aux projections et exposées au ge
	XA1	Environnement à faible agressivité chimique selon /EN 206-1. Tableau 2	Sois natureis et eau dans le soi
	XA2	Environnement d'agressivité chimique modérée selon l'EN 206-1, Tableau 2	Sols naturels et eau dans le sol
_	ХАЗ	Environnement à forte agressivité chimique seion l'EN 206-1, Tableau 2	Sols naturels et eau dans le sol

Tableau 4.1 : Classes d'exposition en fonction des conditions d'environnement, conformément à l'EN 206-1

Dans la « Configuration béton », dans la vue des « Paramètres de conception par défaut », l'utilisateur peut choisir la classe d'exposition souhaitée. Tous les éléments avec un fond bleu peuvent être redéfinis dans les données d'éléments 1D.

B. CONTRACTOR CONTRACTOR					D// 1		a a			
Description	0	Symbole	Va	leur	Defaut	Unite	Chapitre	Norme	Structure	Type de
us>	Q	<tous></tous>	μ	ous>	₽ <tous></tous>	J < J	<tous> D</tous>	<tous> $>$</tous>	<tou)<="" th=""><th>Paramé X</th></tou>	Paramé X
Paramètres de conception par défaut			_							
Armature			_		_	-				
Enrobage minimum					_					
Durée de vie de projet			50.	00	50.00	année	4.4.1.2(5), t	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Risque de corrosion			-							
Corrosion induite par la carbonatation			XC	3	XC3		4.4.1.2(5)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Corrosion induites par les chlorures			Au	un	Aucun		4.4.1.2(5)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Corrosion induite par les chlorures de l'eau	ı de mer		Au	un	Aucun		4.4.1.2(5)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Attaque gel-dégel			Au	un	Aucun		4.4.1.2(12)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Attaque chimique			Au	un	Aucun		4.4.1.2(12)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Risque d'abrasion			Au	un	Aucun		4.4.1.2(13)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
 Possibilité de contrôle spécial 										
Contrôle géométrique spécial							4.4.1.3(3)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Contrôle spécial de la qualité du béton							4.4.1.2(5)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Risque de bétonnage sur surface atypique			Sta	ndard	Standar	d	4.4.1.3(4)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Caractéristiques du béton										

2.4.2. Méthodes de vérification (art. 4.4)

Enrobage : article 4.4.1

\rm Généralités (art 4.4.1.1)

L'enrobage est la distance entre la surface de l'armature (épingles, étriers et cadres compris, ainsi que armatures de peau, le cas échéant) la plus proche de la surface du béton et cette dernière.

L'enrobage nominal doit être spécifié sur les plans. Il est défini comme l'enrobage minimal C_{min} plus une marge de calcul pour tolérances d'exécution ΔC_{dev} :

$$C_{\text{nom}} = C_{\text{min}} + \Delta C_{\text{dev}} \tag{4.1}$$

Enrobage minimal, C_{min} (art 4.4.1.2)

Un enrobage minimal C_{min} doit être assuré afin de garantir :

- la bonne transmission des forces d'adhérence
- la protection de l'acier contre la corrosion (durabilité)
- une résistance au feu convenable

La valeur à utiliser est la plus grande valeur de C_{min} satisfaisant aux exigences à la fois en ce qui concerne l'adhérence et les conditions d'environnement.

$$C_{\min} = \max \begin{cases} C_{\min,b} \\ C_{\min,dur} + \Delta C_{dur,\gamma} - \Delta C_{dur,st} - \Delta C_{dur,add} \\ 10 \text{ mm} \end{cases}$$

(4.2)

Avec :

C _{min,b} :	enrobage minimal vis-à-vis des exigences d'adhérence
Cmin,dur:	enrobage minimal vis-à-vis des conditions d'environnement
$\Delta C_{dur,\gamma}$:	marge de sécurité
$\Delta C_{dur,st}$:	réduction de l'enrobage minimal dans le cas d'acier inoxydable
$\Delta C_{dur,add}$:	réduction de l'enrobage minimal dans le cas de protection supplémentaire

La valeur recommandée de $\Delta C_{dur,y}$, $\Delta C_{dur,st}$, $\Delta C_{dur,add}$, sans davantage de spécification, est 0mm.

Pour assurer à la fois une transmission sans risque des forces d'adhérence et un béton suffisamment compact, il convient que l'enrobage minimal ne soit pas inférieur à C_{min,b} donné dans le Tableau 4.2.

Exige	nces vis-à-vis de l'adhérence
Disposition des armatures	Enrobage minimal c _{min,b} ")
Amature individuelle	Diamètre de la barre
Paquet	Diamètre équivalent (øh) (voir 8.9.1)

L'enrobage minimal des armatures de béton armé et des armatures de précontrainte dans un béton de masse volumique normale, qui tient compte des classes d'exposition et des classes structurales, est donné par C_{min.dur}.

La classe structurelle recommandée (pour une durée de vie de 50 ans) est S4 pour les résistances de béton indicatives (données dans l'annexe E de l'EN 1992-1-1). La classe structurelle minimale recommandée est S1.

Les modifications recommandées de la classe structurelle sont données dans le tableau 4.3N :

	Tableau	4.3N : Class	sification str	ucturale rec	ommandée		
			Classe structu	rale			
e			Classe d'ex	position selon	Tableau 4.1		
Critère	XD	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
Durée d'utilisation de projet de 100 ans	majoration de 2 classes						
Classe de résistance 1) 2)	≥ C30/37 minoration de 1 classe	≥ C30/37 minoration de 1 classe	≥ C35/45 minoration de 1 classe	≥ C40/50 minoration de 1 classe	≥ C40/50 minoration de 1 classe	≥ C40/50 minoration de 1 classe	≥ C45/55 minoration de 1 classe
Élément assimilable à une dalle (position des armatures non affectée par le processus de construction)	minoration de 1 classe						
Maîtrise particulière de la qualité de production du béton	minoration de 1 classe						

La durée de vie du projet et le contrôle spécial de la qualité du béton peuvent être définis dans la « Configuration béton » ou dans les données d'élément 1D :

Description	Symbolo	Valour	Défaut	Unité	Chanitra	Norma	Structure	Tuno do
Description) shows (valeur	chause O	onite	chapitre O	shaves 0	structure	Paramà V
us>	~ tous~ ~	<tous p<="" td=""><td>< couse pe</td><td> P</td><td>-tous p</td><td><tous p<="" td=""><td>~10U p</td><td></td></tous></td></tous>	< couse pe	P	-tous p	<tous p<="" td=""><td>~10U p</td><td></td></tous>	~10U p	
Armature								
Forshage minimum		-			-			
Durée de vie de projet		50.00	50.00	année	4.4.1.2(5), t	EN 1992-1-1	Tout (Po	Parametr.
A Risque de corrosion								
Corrosion induite par la carbonatation		XC3	XC3		4.4.1.2(5)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Parametr
Corrosion induites par les chlorures		Aucun	Aucun		4.4.1.2(5)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Corrosion induite par les chlorures de l'eau de mer		Aucun	Aucun		4.4.1.2(5)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramêtr
Attaque gel-dégel		Aucun	Aucun		4.4.1.2(12)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Attaque chimique		Aucun	Aucun		4.4.1.2(12)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramêtr
Risque d'abrasion		Aucun	Aucun		4.4.1.2(13)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
 Possibilité de contrôle spécial 								
Contrôle géométrique spécial					4.4.1.3(3)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Contrôle spécial de la qualité du béton					4.4.1.2(5)	EN 1992-1-1	Tout [Po	Parametr
Risque de bétonnage sur surface atypique		Standard	Standard		4.4.1.3(4)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Caractéristiques du béton	1							

Les valeurs recommandées de Cmin,dur sont données dans le tableau 4.4N (armatures de ferraillage) :

Exigence environnementale pour c _{min,dur} (mm)												
Classe	Classe d'exposition selon Tableau 4.1											
Structurale	XO	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2 / XS2	XD3/XS3					
S1	10	10	10	15	20	25	30					
S2	10	10	15	20	25	30	35					
S3	10	10	20	25	30	35	40					
S4	10	15	25	30	35	40	45					
S5	15	20	30	35	40	45	50					
S6	20	25	35	40	45	50	55					

Tableau 4.4N : Valeurs de l'enrobage minimal c_{min,dur} requis vis-à-vis de la durabilité dans le cas des armatures de béton armé conformes à l'EN 10080

Il convient de majorer l'enrobage d'une marge de sécurité $\Delta C_{dur,\gamma}$.

L'enrobage minimal peut être réduit de $\Delta C_{dur,\gamma}$ lorsqu'on utilise de l'acier inoxydable ou que l'on prend d'autres dispositions particulières. Dans ce cas, il convient d'en considérer les effets pour l'ensemble des propriétés des matériaux concernées, y compris l'adhérence.

Dans le cas d'un béton bénéficiant d'une protection supplémentaire (revêtement, par exemple), l'enrobage minimal peut être réduit de $\Delta C_{dur,add}$.

En ce qui concerne l'abrasion du béton, il convient de porter une attention particulière aux granulats, conformément à l'EN 206-1. Une option consiste à tenir compte de l'abrasion du béton en augmentant l'enrobage (épaisseur sacrificielle). Il convient, dans ce cas, d'augmenter l'enrobage minimal C_{min} de *k*₁ pour la classe d'abrasion XM1, de k₂ pour la classe XM2 et de k₃ pour la classe XM3.

La classe d'abrasion XM1 correspond à une abrasion modérée, telle celle des éléments de sites industriels soumis à la circulation de véhicules équipés de pneumatiques. La classe d'abrasion XM2 correspond à une abrasion importante, telle celle des éléments de sites industriels soumis à la circulation de chariots élévateurs équipés de pneumatiques ou de bandages en caoutchouc plein. La classe d'abrasion XM3 correspond à une abrasion extrême, telle celle des éléments de sites industriels soumis à la circulation de chariots élévateurs équipés de bandages en caoutchouc plein. La classe d'abrasion XM3 correspond à une abrasion extrême, telle celle des éléments de sites industriels soumis à la circulation de chariots élévateurs équipés de bandages élastomères ou métalliques ou d'engins à chenilles. Les valeurs de k1, k2 et k3 à utiliser dans un pays donné peuvent être fournies par son Annexe Nationale. Les valeurs recommandées sont respectivement 5mm, 10mm et 15mm.

Descr	ription	Symbole	Valeur	Défaut I	Unité	Chapitre	Norme	Structure	Type de
tous>			<tous> D</tous>	<tous> D</tous>	< <i>p</i>	<tous> D</tous>	<tous> D</tous>	<tou 0<="" th=""><th>Paramè X</th></tou>	Paramè X
Paramètres de conception par défaut									
⊳ Ar	mature								
🔺 Er	nrobage minimum				année 4.			Tout (Po	. Paramètr
	Durée de vie de projet		50.00	50.00 a		4.4.1.2(5), t	EN 1992-1-1		
	Risque de corrosion								
	Corrosion induite par la carbonatation		XC3	XC3		4.4.1.2(5)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
	Corrosion induites par les chlorures		Aucun	Aucun		4.4.1.2(5)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
	Corrosion induite par les chlorures de l'eau de mer		Aucun	Aucun		4.4.1.2(5)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
	Attaque gel-dégel		Aucun	Aucun		4.4.1.2(12)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
	Attaque chimique		Aucun	Aucun		4.4.1.2(12)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
	Risque d'abrasion		Aucun	Aucun		4.4.1.2(13)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramétr.
	Possibilité de contrôle spécial				_				
	Contrôle géométrique spécial					4.4.1.3(3)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
	Contrôle spécial de la qualité du béton					4.4.1.2(5)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
	Risque de bétonnage sur surface atypique		Standard	Standard		4.4.1.3(4)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Þ	Caractéristiques du béton								

La classe d'abrasion peut être saisie dans la « Configuration béton » ou dans les données d'éléments 1D :

Les valeurs de k_1 , k_2 et k_3 se trouvent dans l'annexe nationale :

Configuration bé	éton				>
 Type des élén 	nents 1D 🔽	AN française NF-EN	A B	Nom AN française NF-EN	^
	2D 🔽	en e		Général	
Type des vale	urs	Armature non précontrainte		Béton	
AI	N bâtiment 🔽	Armature précontrainte		Annexe nationale	
Type de fonct	tionnalité		1	EN_1992_1_1	
Poutre	es alvéolées 🛃	Général	Þ	Armature non précontrainte	
Pré	écontrainte 🗹	E- ELS	⊳	Armature précontrainte	
		Général		Durabilité et enrobage	
		Precontrainte Contrainte admissible		Annexe nationale	
		- Limitation des contraintes durant l	9	Article 4.4.1.2(5)	
		Limitation des contraintes à l'ELS		⁴ Δe _{dur,7} - élément de sécurité additionnelle pour l'enrob	
		Dispositions constructives commu		Valeur [mm] 0.0	
		Poteaux		⁴ Δc _{dur,st} - réduction de l'enrobage minimal en cas d'util	
		Structures 2D et dalles		Valeur [mm] 0.0	
		Poinçonnement	2	⁴ Δc _{dur,add} - réduction de l'enrobage minimal en cas d'u	
				Valeur [mm] 0.0	
				⁴ k _{XM} - valeurs d'abrasion pour les classes XM 1,2,3 4.4.	
			1	Valeur [mm] 5.0 / 10.0 / 15.0	
				⁴ Δc _{dev} - valeur de déviation pour l'enrobage 4.4.1.3(3)	
				Valeur [mm] 5.0 / 10.0 / 5.0	
				k _{omin} - valeur minimale de l'enrobage 4.4.1.3(4)	
				Valeur [mm] 30.0 / 65.0 / 5.0	
			Þ	ELU	
		< >	PI	ELS	
Tout	Rien	Régénérer		Charger défauts selon AN OK A	nnule

Prise en compte des tolérances d'exécution

Pour le calcul de l'enrobage nominal C_{nom}, l'enrobage minimal doit être majoré, au niveau du projet, pour tenir compte des tolérances pour écart d'exécution (ΔC_{dev}). Ainsi, l'enrobage minimal doit être augmenté de la valeur absolue de l'écart adopté susceptible de le réduire.

La valeur recommandée est ΔC_{dev} = 10mm.

Dans certains cas, l'écart d'exécution adopté, et par conséquent la tolérance ΔC_{dev} , peuvent être réduits.

Les valeurs recommandées sont les suivantes :

— lorsque la fabrication est soumise à un système d'assurance de la qualité dans lequel la surveillance inclut des mesures de l'enrobage des armatures, il est possible de réduire la marge de calcul pour tolérances d'exécution ΔC_{dev} de telle sorte que :

$$10 \text{ mm} \ge \Delta C_{dev} \ge 5 \text{ mm}$$

— lorsqu'on peut garantir l'utilisation d'un appareil de mesure très précis pour la surveillance ainsi que le rejet des éléments non conformes (éléments préfabriqués, par exemple), il est possible de réduire la marge de calcul pour tolérances d'exécution ΔC_{dev} de telle sorte que :

 $10 \text{ mm} \ge \Delta C_{\text{dev}} \ge 0 \text{ mm}$

Le contrôle géométrique spécial peut être saisi dans la « Configuration béton » ou dans les données d'éléments 1D :

					B/6 1				Terrer	-
Jescription		bole	Valeur	0	Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Structure	Type de
us>	⊖ <tou< th=""><th>is> P</th><th><tous></tous></th><th>ρ.</th><th><tous> P</tous></th><th><p< th=""><th><tous> D</tous></th><th><tous> \wp</tous></th><th><tou p<="" th=""><th>Paramè X</th></tou></th></p<></th></tou<>	is> P	<tous></tous>	ρ.	<tous> P</tous>	<p< th=""><th><tous> D</tous></th><th><tous> \wp</tous></th><th><tou p<="" th=""><th>Paramè X</th></tou></th></p<>	<tous> D</tous>	<tous> \wp</tous>	<tou p<="" th=""><th>Paramè X</th></tou>	Paramè X
Paramètres de conception par défaut										
Armature										
Enrobage minimum										
Durée de vie de projet			50.00	.5	50.00	année	4.4.1.2(5), t	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
 Risque de corrosion 										
Corrosion induite par la carbonatation			ХСЗ	X	(C3		4.4.1.2(5)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Corrosion induites par les chlorures			Aucun	А	lucun		4.4.1.2(5)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Corrosion induite par les chlorures de l'eau de mer			Aucun	A	lucan		4.4.1.2(5)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Attaque gel-dégel			Aucun	A	lucun		4.4.1.2(12)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Attaque chimique			Aucun	A	lucari		4.4.1.2(12)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Risque d'abrasion			Aucun	A	lucun		4.4.1.2(13)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
 Possibilité de contrôle spécial 			1							
Contrôle géométrique spécial							4.4.1.3(3)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramétr.
Contrôle spécial de la qualité du béton				L.		1	4.4.1.2(5)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Risque de bétonnage sur surface atypique			Standard	S	standard		4.4.1.3(4)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Paramètr
Caractéristiques du béton						1				
Risque de bétonnage sur surface atypique Caractéristiques du béton			Standard	S	itandard.		4.4.1.3(4)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Parar

La valeur de ΔC_{dev} se trouve dans l'annexe nationale :

Configuration béton				Х					
 Configuration béton Type des éléments 2D Type des valeurs AN bâtiment Yope de fonctionnalité Poutres alvéolées Précontrainte	nfiguration béton		Nom AN française NF-EN Béton Général Béton Annexe nationale > EN_1992_1_1 Armature non précontrainte Armature précontrainte Durabilité et enrobage Annexe nationale > Article 4.4.1.2(5) 4 $\Delta e_{dur,st}$ - élément de sécurité additionnelle pour l'enrob Valeur [mm] 0.0 4 $\Delta e_{dur,st}$ - réduction de l'enrobage minimal en cas d'uti						
			Valeur [mm] 0.0 * kxm - valeurs d'abrasion pour les classes XM 1,2,3 4.4.: Valeur [mm] 5.0 / 10.0 / 15.0 * Δe _{dev} - valeur de déviation pour l'enrobage 4.4.1.3(3) Valeur [mm] 5.0 / 10.0 / 5.0 * komin - valeur minimale de l'enrobage 4.4.1.3(4) Valeur [mm] 30.0 / 65.0 / 5.0						
	< >	Þ	ELS	~					
Tout Rien	Régénérer		Charger défauts selon AN OK A	nnuler					

Chapitre 3: Calcul et contrôle

3.1. Modèles d'analyse

3.1.1. Eurocode

Modèles structuraux pour l'analyse globale (art. 5.3.1)

Les éléments d'une structure sont classés, selon leur nature et leur fonction, en poutres, poteaux, dalles, voiles, plaques, arcs, coques, etc. Des règles sont fournies pour l'analyse de ces éléments les plus courants et des structures composées d'assemblages de ceux-ci.

Pour les bâtiments, les dispositions suivantes s'appliquent.

1) Une poutre est un élément dont la portée est supérieure ou égale à 3 fois la hauteur totale de la section. Lorsque ce n'est pas le cas, il convient de la considérer comme une poutre-cloison.

2) Une dalle est un élément dont la plus petite dimension dans son plan est supérieure ou égale à 5 fois son épaisseur totale.

3) Une dalle soumise principalement à des charges uniformément réparties peut être considérée comme porteuse dans une seule direction si l'une ou l'autre des conditions ci-après est remplie :

- elle présente deux bords libres (sans appuis) sensiblement parallèles, ou bien
- elle correspond à la partie centrale d'une dalle pratiquement rectangulaire appuyée sur quatre côtés et dont le rapport de la plus grande à la plus faible portée est supérieur à 2.

4) Les dalles nervurées et à caissons peuvent ne pas être décomposées en éléments discrets pour les besoins de l'analyse, sous réserve que leur table de compression ou hourdis de compression rapporté, de même que leurs nervures transversales, présentent une rigidité en torsion suffisante. On peut admettre que ceci est vérifié si :

- la distance entre nervures n'excède pas 1 500 mm
- la hauteur de la nervure sous la table de compression n'excède pas 4 fois sa largeur
- l'épaisseur de la table de compression est supérieure ou égale à 1/10 de la distance libre entre nervures ou à 50 mm si cette valeur est supérieure
- la distance libre entre nervures transversales n'excède pas 10 fois l'épaisseur totale de la dalle.

L'épaisseur minimale de la table de compression peut être ramenée de 50 mm à 40 mm lorsque des entrevous permanents sont disposés entre les nervures.

5) Un poteau est un élément dont le grand côté de la section transversale ne dépasse pas 4 fois le petit côté de celle-ci et dont la hauteur est au moins égale à 3 fois le grand côté. Lorsque ce n'est pas le cas, il convient de le considérer comme un voile.

3.1.2. SCIA Engineer

4 Attribution d'un modèle d'analyse

Dans SCIA Engineer, plusieurs types de modèles d'analyse sont disponible. C'est à l'utilisateur de décider quel modèle doit être utilisé pour chaque élément.

Pour les éléments 1D, il y a le choix entre un calcul de « Poutre », « Poutre dalle » et « Poteau ». Chaque élément a une propriété « Type » qui lui est assignée, pour déterminer quel type de calcul est utilisé :



Le calcul de poutre est utilisé pour les types « Général », « Poutre », « Chevron », « Panne », « Contreventement de toiture », « Contreventement de mur », « Lierne », « Membrure de treillis » et « Diagonale de treillis ».

Le calcul de « poutre-dalle » est utilisée uniquement pour le type « Poutre dalle ». Pour ce type, par défaut, aucun ferraillage d'effort tranchant n'est ajouté (sauf ceux nécessaires dans le cas d'une épaisseur de dalle de 200mm ou plus, comme défini dans les paramètres généraux pour les dalles). Comme diamètre pour le ferraillage longitudinal, le diamètre par défaut pour les structures 2D – et pas pour les poutres ! – est pris égal à celui défini dans la « Configuration générale ».

Le calcul de poteau est utilisé pour les types « Poteau », « Poteau de pignon » et « Poteau secondaire ».

Bien faire attention lorsqu'une « Donnée d'élément 1D » est ajoutée à un élément dans les propriétés de cet élément. Ici aussi, l'utilisateur a le choix entre les trois différents modèles d'analyse, dans « Type d'élément » :

8	
BARRE (1) > DONNÉES	BÉTON D'ÉLÉMENT 1D (1)
🗃 Ij 🖈 🧨 🌮	
Nom	CMD1D1
Élément	B2
Type d'élément	Poteau 🗸
PARAMÈTRES DE CONCEPTION P ARMATURE POTEAU	Poutre Poteau Poutre-dalle
Conception de l'armature fournie	
Section rectangulaire	Column / Rectangle 🗸 📑
LONGITUDINAL	
Matériau	в 500в 🗸 🚎
PRINCIPAL(M)	

Ces données d'éléments 1D remplacent / écrasent à la fois les propriétés d'éléments et les paramètres de la « Configuration générale ».

Différence entre un modèle d'analyse poutre et poteau

La différence la plus importante entre le calcul d'une poutre et d'un poteau est la différence de section de ferraillage par direction. Une poutre a une section de ferraillage en partie supérieure qui diffère de la section de ferraillage en partie inférieure. Un poteau a toujours la même configuration de ferraillage pour les côtés parallèles, par direction.



Ces configurations sont évidentes et sont dues à la différence des efforts internes dominants par type de calcul. Pour un calcul de poutre, le moment fléchissant est dominant, alors que pour un poteau, c'est plutôt l'effort normal de compression + le moment fléchissant (si présent).

Donc en fait, lorsque la contrainte normale dans une poutre est trop importante, l'utilisateur devrait choisir de calculer l'élément comme un poteau. Dans la « Configuration générale », une option permet de tenir compte de l'élément s'il est en compression ou non. Si l'élément est en compression, l'effet du second ordre est pris en compte.

ues :	Cor	nfiguration complète 🛛 🗙 Paramètres d'affich 👻 🛛 Reprendre défau	t 🗌	cher		Annexe Nationale:						
C	escri	ption	Symbole	Val	Défa	Uni	Chap	Norme	Structure	Type de co	ntr	1
<tou< td=""><td>s></td><td>Q</td><td><tous> D</tous></td><td></td><td>< P</td><td></td><td><t p<="" td=""><td><to <math="">{\cal P}</to></td><td><tous> 🔎</tous></td><td><tous></tous></td><td>2</td><td></td></t></td></tou<>	s>	Q	<tous> D</tous>		< P		<t p<="" td=""><td><to <math="">{\cal P}</to></td><td><tous> 🔎</tous></td><td><tous></tous></td><td>2</td><td></td></t>	<to <math="">{\cal P}</to>	<tous> 🔎</tous>	<tous></tous>	2	
A P	aram	nètres de conception par défaut									_	
D	Arı	mature										
D	En	robage minimum										
• 0	ption	n du solveur										
-	Gé	néral										
		Valeur limite du contrôle unité	Contr.limite	1.0	1.0			Indépe	Tout (Pout	Option du s	olv	
		Valeur du contrôle unité lorsque le contrôle n'est pas calculé	Contr.Ncal	3.0	3.0			Indépe	Tout (Pout	Option du s	olv	6
		Coefficient pour le calcul de la hauteur statique de la section	Coeff _d	0.9	0.9			Indépe	Tout (Pout	Option du s	olv	
		Coefficient pour le calcul du bras de levier des forces intérieures	Coeffz	0.9	0.9			Indépe	Tout (Pout	Option du s	olv	
		Coefficient pour le calcul de l'effort lorsque l'élément est en compression	Coeff _{com}	0.1	0.1			Indépe	Tout (Pout	Option du s	olv	
		Fluage et retrait										
		Age du béton à l'instant considéré	t	1825	18250	jour	3.1.4.B	EN 199	Tout (Pout	Option du s	olv	
		Humidité relative	RH	50	50		3.1.4.B	EN 199	Tout (Pout	Option du s	olv	
		Type de saisie du coefficient de fluage	Type q (t,to)	Auto	Auto		3.1.4(2)	EN 199	Tout (Pout	Option du s	olv	
		Age du béton à la mise en charge	t ₀	28.00	28.00	jour	3.1.4(2	EN 199	Tout (Pout	Option du s	olv	
		Tenir compte du séchage et du retrait autogène	Type s _{cs} (t,ts	Auto	Auto		3.1.4(6)	EN 199	Tout (Pout	Option du s	olv	
		Âge du béton au début du retrait de séchage	ts	7.00	7.00	jour	3.1.4(6	EN 199	Tout (Pout	Option du s	olv	
	4	ELS										
	_	Utiliser le module effectif du héton					7 1(2)	EN 100	Tout (Dout	Ontion du s	abr	

Cette option mesurera l'importance de la contribution de l'effort normal de compression :

- Si l'effort normal de compression N_{Ed} < 0,1*A_c*f_{cd}, alors l'élément n'est pas considéré sous compression, ce qui signifie que le calcul sera fait comme une poutre.
- Si l'effort normal de compression N_{Ed} > 0,1*A_c*f_{cd}, alors l'élément est considéré sous compression, ce qui signifie que le calcul sera fait comme une poteau et les effets du second ordre seront pris en compte.

3.1.3. Exemple

Exemple : « 3.1.3 – Modele_poutre_poteau.esa »



Valeur: As,req Calcul linéaire Cas de charge: LC2 Système de coordonnées: Elément Extrême 1D: Elément Sélection: Tout Il y a 1 avertissements sur les éléments sélectionnés dont 1 sont affichés. Poutres - Ferraillage requis													
Nom	dx [m]	Cas	Profil	A _{s,req,z+} [mm ²] N _{ø,req,z+}	A _{s,req.z} . [mm²] N _{9,req.z} .	As,req,y+ [mm²] Na,req,y+	A _{s,req} [mm N _{e,req}	ur- As,req ²] [mm ²] ur-	A _{swm,re}] [mm²/n N _{øw,req}	a G _{i,req} n] [kg/m ³] G _{w,req} [kg/m ³]	E/A/N		
B2	0.000	LC2	CS1 - Rectangle (300; 300)	53 0.3ø16	53 0.3ø16	0 -	0 -	10	6 496 2ø8/203	9.18 3 19.23	W25		
Dalles-p	Dalles-poutres - Ferraillage requis												
Nom	dx [m]	Cas	Profil	A _{s,re} [mn N _{9,re}	գջ։ A _{s.n} n²] [mi գջ։ Nգյ	eq.z·As, m²][mr eq.z·	/eq n²] [G _{L/req} kg/m³]					
B3	0.000	LC2	CS1 - Rectang (300; 300)	gle 53 0.3ø1	53 16 0.3ø	16	106	9.18					
Poteaux - Ferraillage requis													
Nom	dx [m]	Cas	Profil	A _{s,req.z} [mm ²] N _{ø,req.z}	A _{s,req} [mm N _{9,req}	ιγ Α _s , ²] [mi ιν Ν _A	/eq (n²] [/eq	A _{swm,req} mm²/m] N _{øw,req}	G _{i,req} [kg/m ³] G _{w,req} [kg/m ³]				
B1	0.000	LC2	CS1 - Rectangle (300: 300)	90 2x0.2ø16	90 2x0.2ø	16 180 0.9¢	16 2	35 ø8/300	15.70 12.98				

Sous le chapitre des efforts internes, un avertissement sera affiché dans la sortie détaillée s'il est nécessaire de calcul un élément comme un poteau, pour prendre en compte les efforts de compression. Si besoin, le type devra être manuellement modifié dans les propriétés de l'élément ou via les données d'élément 1D.

Élément comprimé Effort normal limite pour considérer l'élément comme comprimé : $N_{com} = -Coeff_{com} \cdot (f_{cd} \cdot A_c) = -0.1 \cdot (8 \cdot 10^6 \cdot 0.09) = -72 \text{ kN}$ Condition de contrôle : $N_{Ed} < N_{com} = -100 \text{ kN} < -72 \text{ kN} \dots$ élément comprimé Avertisse.: Les excentricité du premier et second ordre devraient être prises en compte, l'élément devrait être analysé comme un poteau (effort normal de compression significatif). Changez le type d'élément sur Poteau.

3.2. Calcul de poutre

3.2.1. Description de l'exemple utilisé

L'exemple utilisé pour expliquer le calcul du ferraillage dans une poutre (utilisé pour les chapitres 3.2.2 et 3.2.3) est le fichier exemple suivant :

Exemple : « 3.2.1 – Ferraillage theorique de poutre.esa »

Le calcul du ferraillage d'une poutre est expliquée par le biais d'une poutre à deux travées :



La longueur de la poutre totale est 10m et sa section est 500x300mm.

Les charges saisies sont :

BG1 : poids propre

BG2 : charge permanente

- Charge linéaire : -27kN/m
- Charge ponctuelle : -100kN à la position x = 0,25

BG3 : charge variable

- Charge linéaire : -15kN/m
- Charge ponctuelle : -150kN à la position x = 0
3.2.2. Efforts internes recalculés

Le calcul de ferraillage dans SCIA Engineer est basé sur les efforts internes recalculés. Les efforts internes de base calculés par EF sont transformés selon la norme en « Efforts internes recalculés » pour le ferraillage.

Ces efforts internes recalculés se trouvent dans la « Configuration générale » de SCIA Engineer.

4 Décalage de la courbe de moments (art. 9.2.1.3)

Il convient, dans toutes les sections, de prévoir un ferraillage suffisant pour résister à l'enveloppe de l'effort de traction agissant, comprenant l'effet des fissures inclinées dans les âmes et les membrures.

Les efforts de traction supplémentaires causés par le cisaillement et la torsion sont pris en compte dans SCIA Engineer en utilisant le calcul simplifié basé sur le décalage des moments fléchissants conformément à l'article 9.2.1.3(2). Le décalage de la courbe des moments fléchissants est calculé uniquement pour les poutres et poutres-dalles.

Pour des éléments avec des armatures d'effort tranchant, il convient de calculer l'effort de traction supplémentaire ΔF_{td} . Pour des éléments sans armatures d'effort tranchant, ΔF_{td} peut être estimé en décalant la courbe enveloppe des moments d'une distance $a_l = d$ (pour les poutres-dalles). Cette « règle de décalage » peut également être employée pour des éléments comportant un ferraillage d'effort tranchant, où :

$$a_1 = z. \frac{(\cot \theta - \cot \alpha)}{2}$$
 (pour les poutres) (9.2)

 A
 - Enveloppe de M_{Ed}/z + N_{Ed}
 B - effort de traction agissant F₈

 C
 - effort de traction résistant F_{R8}

L'effort de traction supplémentaire est illustré sur la figure ci-dessous :

Dans SCIA Engineer, l'utilisateur peut revoir les efforts internes recalculés. Dans la « Configuration béton », il est possible de voir les efforts internes et les efforts internes recalculés. Dans la figure ci-dessous, la différence est clairement visible :



La courbe de moment décalé est prise en compte pour les efforts internes recalculés et donc également pour le calcul du ferraillage longitudinal, si la case est activée dans la « Configuration béton » (pour la structure globale) ou dans les données d'élément 1D (individuellement par élément) :

Configuration bétor	n									>
/ues : Configurati	ion complète 🔹 Paramètres d'affich 💌 Reprendre défaut Chercher							Annexe National	e: 🚺	
Description		Symbole	Vale.	. Défaut	U Chapitre	Norme	Str	Annexe National Str Type de contrôle <tous></tous>	Γ	
<tous></tous>	Q	<tous></tous>	P < \$	<t p<="" td=""><td><tou ,<="" td=""><td><tous></tous></td><td></td><td><tous></tous></td><td>P</td><td></td></tou></td></t>	<tou ,<="" td=""><td><tous></tous></td><td></td><td><tous></tous></td><td>P</td><td></td></tou>	<tous></tous>		<tous></tous>	P	
 Paramètres d 	le conception par défaut									
Armature										
Enrobage	minimum		_							
 Option du solu 	veur									
Général										
 Efforts int 	ernes									
Réducti	ion de l'effort tranchant sur les appuis				6.2.1(8)	EN 1992-1-1	Pou	Option du solveur >	cffo	
Réducti	ion du moment sur les appuis				5.3.2.2 (4)	EN 1992-1-1	Pou	Option du solveur >	ĉffo	
▶ Décala	ge de la courbe de moment pour couvrir l'effort de traction supplémentaire causé par le cisaillement				9.2.1.3(2)	EN 1992-1-1	Pou	Option du solveur >	cffo	
Imperfe	ection géométrique dans l'ELU	ei,ULS			5.2(2)	EN 1992-1-1	Pot	Option du solveur >	čffo	
Imperfe	ection géométrique dans l'ELS	ei,SLS			5.2(3)	EN 1992-1-1	Pot	Option du solveur >	čffo	
Excenti	ricité minimale	e _{min}	Dans	Dans e	6.1(4)	EN 1992-1-1	Pot	Option du solveur >	äffo	
Excent	ricité de premier ordre avec le moment équivalent				5.8.8.2(2)	EN 1992-1-1	Pot	Option du solveur >	ĉffo	
Excenti	ricité de second ordre	e ₂			5.8.8	EN 1992-1-1	Pot	Option du solveur >	äffo	
Modifie	cation des efforts internes									
Calcul As										
Conversio	n en barres d'armature									
Diagramm	ne d'interaction									
N Cisaillama	ant								_	

BARRE (1) > I	DONNÉES BÉTON D'ÉLÉMENT 1D (1)
율 I] 🖊 🧨	
	Nom CMD1D4
	Élément B5
Туре с	l'élément Poutre
► PARAMÈTRES DE CONCEPTIO	N PAR DÉFAUT
OPTION DU SOLVEUR GÉNÉRAL	
Coefficient pour le calcul de la hau	teur st 0.9
Coefficient pour le calcul du bras d	de levie 0.9
Coefficient pour le calcul de l'effor	rt lorsq 0.1
FLUAGE ET RETRAIT	
Age du béton à l'instant conside	éré [jour] 18250.00
Humidité rel	ative [%] 50
Type de saisie du coefficient	de fluage Auto
Age du béton à la mise en cha	rge [jour] 28.00
Tenir compte du séchage et du ret	trait au Auto
Âge du béton au début du retrait o	de séch 7.00
ELS	
Utiliser le module effectif	du béton
EFFORTS INTERNES	
Réduction de l'effort tranchant sur	r les ap
ent pour couvrir l'effort de traction	supplémentaire causé par le cisaillement
Décalage de la courbe de momen	t pour 💽

4 Réduction du moment sur les appuis (art. 5.3.2.2 (3) & 5.3.2.2 (4))

Un autre cas typique d'efforts internes recalculés est la réduction des moments sur appuis.

Lorsqu'une poutre ou une dalle forme un ensemble monolithique avec ses appuis, il convient de prendre comme moment déterminant de calcul le moment au nu de l'appui. Pour le moment et la réaction de calcul transmis à l'appui (poteau, voile, etc), il convient de retenir la plus grande des valeurs élastiques ou des valeurs redistribuées.

Quelque soit la méthode d'analyse employée, lorsqu'une poutre ou une dalle est continue au droit d'un appui supposé ne pas créer de gêne à la rotation (au droit d'un voile, par exemple), le moment de calcul sur appuis, déterminé pour une portée égale à l'entraxe des appuis, peut être minoré d'une valeur ΔM_{Ed} :

$$\Delta M_{\rm Ed} = \frac{F_{\rm Ed, sup} \cdot t}{8}$$
(5.9)

Où :

- F_{Ed,sup} est la valeur de calcul de la réaction d'appui ;
- t est la profondeur de l'appui

Dans SCIA Engineer, cette réduction du moment fléchissant est pris en compte uniquement si l'option est activée dans la « Configuration béton » (pour la structure globale) ou dans les données d'élément 1D (individuellement par élément).

s : Configuration complète Y Paramètres d'affich 🔻	Repren	idre défaut	Cł	hercher			Annexe Na	tionale:	
Description	Symbole	Valeur	Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Struct	Type d	Π
pus> P	<tous> \wp</tous>	<tous> \wp</tous>	<tou th="" 🔎<=""><th></th><th><tous> \wp</tous></th><th><tous> 🔎</tous></th><th><to <math="">\wp</to></th><th><tou ,<="" th=""><th></th></tou></th></tou>		<tous> \wp</tous>	<tous> 🔎</tous>	<to <math="">\wp</to>	<tou ,<="" th=""><th></th></tou>	
Paramètres de conception par défaut									
Armature									
Enrobage minimum									
Option du solveur									
▷ Général									
 Efforts internes 									
Réduction de l'effort tranchant sur les appuis					6.2.1(8)	EN 1992-1-1	Poutre,	Option d	
Réduction du moment sur les appuis					5.3.2.2 (4)	EN 1992-1-1	Poutre,	Option d	
Décalage de la courbe de moment pour couvrir l'eff					9.2.1.3(2)	EN 1992-1-1	Poutre,	Option d	
Imperfection géométrique dans l'ELU	ei,ULS				5.2(2)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d	
Imperfection géométrique dans l'ELS	ei, SLS				5.2(3)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d	
Excentricité minimale	e _{min}	Dans exc. d	Dans exc		6.1(4)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d	
Excentricité de premier ordre avec le moment équiv					5.8.8.2(2)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d	
Excentricité de second ordre	e ₂				5.8.8	EN 1992-1-1	Poteau	Option d	Ľ
Modification des efforts internes									Ľ
▷ Calcul As									Ľ
Conversion en barres d'armature									
Diagramme d'interaction									

BARRE (1) > DONNÉES	BÉTON D'ÉLÉMENT 1D (1)
∰ I] ≠ 	
Nom	CMD1D4
Élément	B5
Type d'élément	Poutre 🗸
► PARAMÈTRES DE CONCEPTION PAR DÉF	AUT
 OPTION DU SOLVEUR GÉNÉRAL 	
Coefficient pour le calcul de la hauteur st	0.9
Coefficient pour le calcul du bras de levie	0.9
Coefficient pour le calcul de l'effort lorsq	0.1
FLUAGE ET RETRAIT	
Age du béton à l'instant considéré [jour]	18250.00
Humidité relative [%]	50
Type de saisie du coefficient de fluage	Auto 🗸
Age du béton à la mise en charge [jour]	28.00
Tenir compte du séchage et du retrait au	Auto 🗸
Âge du béton au début du retrait de séch	7.00
ELS	
Utiliser le module effectif du béton	\bigcirc
EFFORTS INTERNES	
Réduction de l'effort tranchant sur les ap	\bigcirc
Réduction du moment sur les appuis	
Décalage de la courbe de moment pour	

La façon dont la réduction du moment est effectuée, est basée sur le type d'appui. S'il s'agit d'un appui standard, la réduction sera faite conformément à la formule 5.9. S'il s'agit d'un poteau, est utilisée la réduction du nu du poteau.



Dans SCIA Engineer, la largeur 't' utilisée pour la réduction du moment sur appuis peut être définie dans les propriétés de l'appui :

4			
	APPUI AU	NOEUD (1)	
#			
	Nom	Sn2	
	Туре	Standard	~
	Angle [deg]		
	Contraintes	Glissant	~
	x	Libre	~
	Y	Libre	~
	z	Rigide	\sim
	Rx	Libre	~
	Ry	Libre	~
	Rz	Libre	~
	Taille par défaut [m]	0.200	
	Noeud	N3	
▼ GÉOMÉTRIE			
	Système	SCG	~

En bas des propriétés des données d'élément1D, un bouton « Mettre à jour la largeur d'appui » permet de recueillir tous les éléments liés ou les appuis de l'élément sélectionné et de lire leurs largeurs d'appui :

3		
BARRE (1) > DONNÉES B	ÉTON D'ÉLÉMENT 1D (1)	
≠ 🛣 🗃 🔽		
Nom	CMD1D4	
Élément	B5	
Type d'élément	Poutre	\sim
▶ PARAMÈTRES DE CONCEPTIO	N PAR DÉFAUT	
OPTION DU SOLVEUR		
ACTIONS >>>>		
Mettre à jour la largeur d'ap	pui	
Charger les valeurs de la cor	nfiguration	

🔳 La	rgeur d'appui						×
	Nom	Position [m]	Largeur [m]	Réduction de l'effort	tranchant	Réduction du momer	nt
1	B1	0.000	0.400				
2	B7	0.000	0.300				
3	Sb1	1.800	0.200				
_							_
Note:	la largeur d'appui est lue de la cons	truction sans influence de l'angle Alph	na				
Repr	endre déf					OK An	nuler

La réduction du moment aux appuis est illustrée dans l'exemple ci-dessous :

- t = 0,2m
- F_{Ed,sup} = 477,5kN
- $\Delta M_{Ed} = 477,5*0,2 / 8 = 11,94$ kN.m

Le moment d'origine My à l'appui était de 254,16kN.m :



Le moment recalculé montre clairement le décalage de la courbe de moment :



Avec la réduction du moment aux appuis prenant en compte le moment recalculé est de 242,22kN.m :



Réduction de l'effort tranchant sur les appuis (art. 6.2.1 (8))

Dans le cas des éléments soumis principalement à des charges uniformément réparties, il n'y a pas lieu d'effectuer la vérification à l'effort tranchant à une distance au nu de l'appui inférieure à d. Il convient de maintenir les armatures d'effort tranchant requises jusqu'au droit de l'appui. Il convient également de vérifier que l'effort tranchant sur appui n'excède pas V_{Rd,max}.

Dans SCIA Engineer, cette réduction de l'effort tranchant est pris en compte uniquement si l'option est activée dans la « Configuration béton » (pour la structure globale) ou dans les données d'élément 1D (individuellement par élément) :

es : Configuration complète 💉 Paramètres d'affich 🔻		Reprend	lre d	léfaut		Chercher	r			Annexe Na	ationale:	
Description		Symbole	е	Valeur		Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Structu	Type de	Π
ous>	P	<tous></tous>	2	<tous></tous>	P	<tous> 🔎</tous>	<p< td=""><td><tous> 🔎</tous></td><td><tous> 🔎</tous></td><td><tou td="" 🔎<=""><td><tou td="" 🔎<=""><td></td></tou></td></tou></td></p<>	<tous> 🔎</tous>	<tous> 🔎</tous>	<tou td="" 🔎<=""><td><tou td="" 🔎<=""><td></td></tou></td></tou>	<tou td="" 🔎<=""><td></td></tou>	
Paramètres de conception par défaut												
Armature												
Enrobage minimum												
Option du solveur												
▷ Général												
 Efforts internes 			_									
Réduction de l'effort tranchant sur les appuis								6.2.1(8)	EN 1992-1-1	Poutre,P	Option d	
Réduire les efforts tranchants				Au bord (ap	^	Au bord (6.2.1(8)	EN 1992-1-1	Poutre,P	Option d	
Réduction du moment sur les appuis				Au bord (app	oui/	poteau)			-1-1	Poutre,P	Option d	
Décalage de la courbe de moment pour couvrir l'effort d			l	Au bord (appui		pui/poteau) + hauteur		statique de la section 1-1-1		Poutre,N	Option d	i d
Imperfection géométrique dans l'ELU		e _{i,ULS}				2		5.2(2)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d	
Imperfection géométrique dans l'ELS		e _{i,SLS}						5.2(3)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d	
Excentricité minimale		e _{min}		Dans exc. de	è	Dans exc		6.1(4)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d	
Excentricité de premier ordre avec le moment équivalent	t					~		5.8.8.2(2)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d	
Excentricité de second ordre		e ₂				Z		5.8.8	EN 1992-1-1	Poteau	Option d	
Modification des efforts internes												
Calcul As												
Conversion en barres d'armature												

😼	
BARRE (1) > DONNÉES	BÉTON D'ÉLÉMENT 1D (1)
률 I] 🖊 🧨	
Nom	CMD1D4
Élément	B5
Type d'élément	Poutre V
► PARAMÈTRES DE CONCEPTION PAR DÉF	AUT
OPTION DU SOLVEUR GÉNÉRAL	
Coefficient pour le calcul de la hauteur st	0.9
Coefficient pour le calcul du bras de levie	0.9
Coefficient pour le calcul de l'effort lorsq	0.1
FLUAGE ET RETRAIT	
Age du béton à l'instant considéré [jour]	18250.00
Humidité relative [%]	50
Type de saisie du coefficient de fluage	Auto 🗸
Age du béton à la mise en charge [jour]	28.00
Tenir compte du séchage et du retrait au	Auto 🗸
Âge du béton au début du retrait de séch	7.00
ELS	
Utiliser le module effectif du béton	\bigcirc
EFFORTS INTERNES	
Réduction de l'effort tranchant sur les ap	
Réduire les efforts tranchants	Au bord (appui/poteau)
Réduction du moment sur les appuis	Au bord (appui/poteau)
Décalage de la courbe de moment pour	Au bord (appui/poteau) + hauteur sta

Il est possible de choisir le type de réduction des efforts tranchants au nu de l'appui ou à la distance d du nu de l'appui :

Au nu du poteau	Au nu du Poteau + longueur efficace d de la section
VEd	VEd

Aussi, pour la réduction des efforts tranchants, l'appui avec « t » est pris en compte, et provient des propriétés de l'appui ou des données d'élément 1D. La réduction des efforts tranchants aux appuis est illustrée pour notre exemple ci-dessous avec t = 0,2m.

La première image affiche $V_z\,d^{\prime}\text{origine}$:



La deuxième image montre la réduction au nu de l'appui :



La dernière image montre la réduction de la longueur efficace d depuis le nu :



3.2.3 Ferraillage théorique

Configuration

Le ferraillage théorique est calculé à partir des efforts internes recalculés. Il donne la quantité de ferraillage nécessaire pour résister aux efforts internes induits par les charges ELU. Comme il existe plusieurs possibilités pour calculer les poutres béton, le calcul du ferraillage théorique n'est pas obligatoire. Les utilisateurs expérimentés peuvent afficher directement le ferraillage pratique en vue d'effectuer les contrôles, cela dit cette approche théorique donne une bonne idée de ce à quoi le ferraillage pratique doit ressembler. Il y a deux types de ferraillage théorique :

- **Ferraillage requis :** le ferraillage requis est une valeur numérique (mm²) du ferraillage qui est nécessaire dans chaque section de la poutre.
- **Ferraillage défini :** le ferraillage défini est un modèle attribué à chaque poutre / poteau qui consiste en un ferraillage basique et un ferraillage additionnel.

La configuration du ferraillage théorique se trouve dans la « Configuration béton », dans les « Paramètres de conception par défaut ». Les modèles de ferraillage longitudinal et les étriers pour les différentes formes de poutre sont disponibles. L'enrobage béton peut être défini pour les faces supérieures, inférieures et latérales.

es : Paramètres de conception p 💙 Paramètres d'affich 🔻	Reprendre d	léfaut	Chercher	r.			Annexe Na	ationale: 🧃	
Description	Symbole	Valeur	Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Structu	Type de	Π
tous> 🔎	<tous> D</tous>	<tous></tous>	<tous> 🔎</tous>	<	<tous> D</tous>	<tous> \wp</tous>	<tou ,<="" td=""><td>Parami×</td><td></td></tou>	Parami×	
Paramètres de conception par défaut								-	П
Armature									
 Poutre / Nervure 									
Conception de l'armature fournie			~			Indépendant	Poutre,N	Paramèt	
Section rectangulaire		Beam / R	Beam / R			Indépendant	Poutre,N	Paramèt	
Section en T		Beam / T	Beam / T			Indépendant	Poutre,N	Paramèt	
Cornière		Beam / L	Beam / L			Indépendant	Poutre,N	Paramèt	
Section en l		Beam / I	Beam / I			Indépendant	Poutre,N	Paramèt	
Autre et général		Beam / G	Beam / G			Indépendant	Poutre,N	Paramèt	
 Longitudinal 									
✓ Sup (z+)									
Type d'enrobage		Auto	Auto		4.4.1	EN 1992-1-1	Poutre,N	Paramèt	
Diamètre	d _{s.u}	16.0	16.0	mm		EN 1992-1-1	Poutre,N	Paramèt	
∡ Inf (z-)									
Type d'enrobage		Auto	Auto		4.4.1	EN 1992-1-1	Poutre,N	Paramèt	
Diamètre	d _{s,I}	16.0	16.0	mm		EN 1992-1-1	Poutre,N	Paramèt	
∡ Côté (y±)									
Type d'enrobage		Sup	Sup		4.4.1	EN 1992-1-1	Poutre,N	Paramèt	
N Dátail (dat)									

Divers modèles par défaut pour le ferraillage longitudinal et les étriers sont disponibles pour différents types de section (ferraillage défini). Ils peuvent être adaptés ou bien de nouveaux modèles peuvent être créés :



Ce modèle comporte du ferraillage basique, additionnel et d'effort tranchant. L'objectif est de comparer ces modèles avec le ferraillage requis, pour modéliser par la suite le ferraillage utilisateur, ou bien pour automatiquement le convertir en ferraillage utilisateur.

⇒ Ferraillage longitudinal

Le ferraillage de base est mis en place sur toute la longueur de la poutre. Le ferraillage additionnel n'est présent que dans les zones où le ferraillage basique n'est pas suffisant pour résister aux efforts internes (recalculés).

Pour le ferraillage additionnel, le choix peut être fait entre une liste de nombre de barres avec un diamètre fixe, ou une liste de diamètres avec un nombre fixe de barres. SCIA Engineer utilise la plus petite quantité de barres additionnels nécessaires ou bien positionne le maximum si ce modèle n'est toujours pas suffisant pour résister aux efforts internes (recalculés). En plus du ferraillage de base et du ferraillage additionnel, on peut également définir un diamètre pour les dispositions constructives. Ces armatures ne sont pas requises par le calcul mais nécessaire d'être ajoutées à la section pour remplir les conditions de dispositions constructives.

Édition de l'an	mature définie (dimensi	ionnement) - Beam_Rect_Ba	isic_Add	dList_All									
Type d'éléme	nt Poutre	× 🔲											
Section	Rectangle	¥	-										
Mode	Standard	· ·				-							
			Ar	matures lo	ngitudinal	es 🛄	•••						
				Bord	1.00	De	e base (As,	bas)		Additionne	l (As,add)		Disposit
				bord	Lit	Ø [mm]	N x [-]	As [m	Туре	Ø [mm]	N x [-]	As [m	Ø [mm]
			•	Sup	1 lit	16.0	0	0	Liste pa	16.0	0		
				Côté	1 lit	16.0	0	0	Liste pa	16.0	0	0	10.0
	Z												
		_v :											
			Arr	nature de o	cisaillemer	nt							
					Z	ones d'étr	Nombre	deØ	[mm]		Espac	ement	
							2	8.0		Distribution	s [m	imj :	Symetrique
							2	0.0		unipre	50		
											0	к	Annuler

⇒ Ferraillage d'effort tranchant

Pour le ferraillage d'effort tranchant, le nombre de zones, le nombre de montants, le diamètre et l'espacement peuvent être définis. Pour l'espacement, on peut choisir entre : **"multiple**" et **défini par l'utilisateur** ». « Multiple » signifie que l'espacement entre les étriers sera un multiple de cette valeur. « Défini par l'utilisateur » permet à l'utilisateur de définir lui-même les espacements qui peuvent être utilisés. SCIA Engineer sélectionnera automatiquement l'espacement en fonction de ce modèle et des paramètres généraux par défaut. L'option « **Symétrique**" permet à l'utilisateur de définir si les zones de chaque travée seront symétriques ou non.

Édition de l'a	irmature définie (dimens	ionnement) - Beam_Rect_Bas	ic_Add	dList_All										\times
Type d'élém Section	ent Poutre Rectangle	× ×												
Mode	Standard	× [1]	Ar	matures lo	ongitudina	les	.							
				Pard	1.14	De base (As,bas)			Additionnel (As,add)			Dispo		sit
	1.000			Bord	Lit	Ø [mm]	N x [-]	As [m	Туре	Ø [mm]	N x [-]	As [m	Ø [mi	m]
			Þ	Sup	1 lit	16.0	0	0	Liste pa	16.0	0			
				Côté	1 lit	16.0	0	0	Liste pa	16.0	0		10.0	
	1	→ γ	Arr	nature de (cisaillemer 70	nt ones d'étr	Nombre	de Ø	ſmml		Espac	ement		-
					-					Distribution	n s[m	im]	Symétriq	ue
					3		2	8.0	h	fultiple	50			
											C	к	Annule	er

4 Configuration de la conversion en barres

La configuration de la conversion en barres se trouve dans la « Configuration béton », dans la « Configuration complète ». Différentes options sont disponibles :

es : Configuration complète 🔻 Paramètres d'affich 🔻	Rep	rendre	défaut		Chero	her					Annexe Na	ationale: 🧃	
Description	Syn	nbole	Valeur		Défaut	Un	nité	Chapitre		Norme	Structu	Type de	Π
tous>) <to< th=""><th>us> 🔎</th><th><tous></tous></th><th>P</th><th><tous></tous></th><th>P <</th><th>Q</th><th><tous></tous></th><th>P</th><th><tous> 🔎</tous></th><th><tou ,<="" th=""><th><tou ,<="" th=""><th>Ш</th></tou></th></tou></th></to<>	us> 🔎	<tous></tous>	P	<tous></tous>	P <	Q	<tous></tous>	P	<tous> 🔎</tous>	<tou ,<="" th=""><th><tou ,<="" th=""><th>Ш</th></tou></th></tou>	<tou ,<="" th=""><th>Ш</th></tou>	Ш
Paramètres de conception par défaut													11
Armature													11
Enrobage minimum													11
Option du solveur													
▷ Général													11
Efforts internes													
Calcul As													
Conversion en barres d'armature													Ш
Unifier l'armature supérieure sur appui intermédiaire										Indépendant	Poutre,P	Option d	
Longueur min. d'armature longitudinale			1000		1000	m	n			Indépendant	1D (Pout	Option d	Ш
Armature distribuée uniformément sur le poteau										Indépendant	Poteau	Option d	
Nombre de barres corrigées (sections voisines)										Indépendant	1D (Pout	Option d	Ш
Type de zone pour l'armature de cisaillement corrigée			Géomé	trique	Géomét	ri				Indépendant	1D (Pout	Option d	11
Diagramme d'interaction													Ш
Cisaillement													П
▶ Torsion													н
Poinçonnement													
Limitation des contraintes													

⇒ Unifier l'armature supérieure sur appui intermédiaire

Cette option permet d'unifier le nombre de barres en partie supérieure sur les appuis intermédiaires. Le nombre de barres maximum entre la face de gauche et la face de droite est pris en compte.



⇒ Longueur min. d'armature longitudinale

Cette option permet de définir une longueur minimale pour le ferraillage longitudinal.



⇒ Armature distribuée uniformément sur le poteau

Cette option permet de répartir de manière uniforme le ferraillage sur toute la hauteur d'un poteau, avec prise en compte de la section maximale des côtés y et z.



⇒ Nombre de barres corrigées (sections voisines)

Le ferraillage additionnel est testé dans chaque section pour le nombre de barres et pour le diamètre dans les sections voisines. Si le ferraillage additionnel peut être réparti entre le ferraillage de base, le nombre de barres et le diamètre du ferraillage additionnel est augmenté pour remplir les conditions. La raison de cette correction du nombre de barres du ferraillage additionnel défini est d'avoir un ferraillage logique et symétrique dans toute la section le long de la poutre.



⇒ Type de zone pour l'armature de cisaillement corrigée

Aucun – les zones pour le ferraillage d'effort tranchant ne sont pas créées. La conversion du ferraillage défini en barres réelles n'est pas possible.

(A) Géométrique – L'élément est, pour chaque travée, divisée géométriquement en zones de même longueur.
 (B) Espacement - L'élément est, pour chaque travée, divisée en zones en fonction de l'espacement le plus fréquent.



Calcul du ferraillage longitudinal As

Le calcul du ferraillage longitudinal est basé sur My, recalc représenté dans le chapitre précédent.

La seule chose qui reste à paramétrer dans la « Configuration béton » est la qualité du matériau et le diamètre par défaut :

- La qualité du matériau est B500A. Elle peut être modifiée dans les « Paramètres du projet » ou dans les données d'élément 1D.
- Le diamètres par défaut est 16mm. Ce paramètres est pris égal à celui du ferraillage additionnel dans le modèle de ferraillage, ou dans les données d'élément 1D.

Avec ces paramètres, les résultats suivants sont obtenus :



L'image suivante présente la sortie brève :

Nom	dx [m]	Cas	Profil	As,req,z+ [mm ²] Nø,req,z+	A _{s,req,z} - [mm ²] Nø,req,z-	As,req,y+ [mm ²] Nø,req,y+	A _{s,req,y} - [mm ²] Nø,req,y-	A _{6,req} [mm ²]	A _{swm,req} [mm ² /m] Nøw,req	G _{l,req} [kg/m ³] G _{w,req} [kg/m ³]	E/A/N
S2	2.500-	ULS	CS1 - RECT	0	1462	0	0	1462	316	76.5	W6
			(500; 300)	-	7.3ø16	-	-		2ø8/318	10.7	
S2	7.250-	ULS	CS1 - RECT	0	262	0	0	262	299	13.7	W6
			(500; 300)	-	1.3ø16	-	-		2ø8/337	10.1	
S2	5.000-	ULS	CS1 - RECT	1655	0	0	0	1655	1460	86.6	W6
			(500; 300)	8.2ø16	-	-	-		2ø8/69	49.2	

On peut aussi demander une sortie standard ou détaillée dans laquelle vous trouverez davantage d'informations concernant les paramètres utilisés dans le calcul, par exemple :

- d : bras de levier du ferraillage

$$d = h - enrobage - \Phi_{\acute{e}trier} - \frac{\Phi_{longitudinal}}{2}$$
$$d = 500 - 35 - 8 - \frac{16}{2}$$
$$d = 449mm$$

L'enrobage est défini par la classe d'environnement et est de 35mm pour XC3.

- Les seuls efforts internes sur cette poutre sont Myd. Nd et Td sont égaux à 0.
- A_{sy,req} = 0 car il n'y a pas de torsion dans cette poutre.

A noter que les dispositions constructives sont désactivées. Sinon aucun ferraillage de $\Phi = 16$ mm ne pouvait être proposé, puisque les dispositions constructives n'auraient pas satisfait les distances minimales entre barres.

Si le diamètre par défaut est de 20mm, on obtient les résultats suivants :



Nom	dx [m]	Cas	Profil	A _{s,req,z+} [mm ²]	A _{s,req,z} - [mm ²]	A _{s,req,y+} [mm ²]	A _{s,req,y} - [mm ²]	A _{s,req} [mm ²]	A _{swm,req} [mm ² /m]	Gi,req [kg/m ³]	E/A/N
				nø,req,z+	Nø,req,z-	Mø,req,y+	Nø,req,y-		Nøw,req	[kg/m ³]	
S2	2.500-	ULS	CS1 - RECT	0	1385	0	0	1385	304	72.5	W6
			(500; 300)	-	4.4ø20	-	-		2ø8/331	10.2	
S2	1.625-	ULS	CS1 - RECT	0	1103	0	0	1103	300	57.7	W6
			(500; 300)	-	3.5ø20	-	-		2ø8/335	10.1	
S2	5.000-	ULS	CS1 - RECT	1539	0	0	0	1539	1364	80.6	W6
			(500; 300)	4.9ø20	-	-	-		2ø8/74	46.0	

Si on regarde ces résultats d'un peu plus près, on peut voir que la valeur de A_{s,req} a également été modifiée.

C'est parce que le bras de levier d a diminué :

$$d = h - enrobage - \Phi_{étrier} - \frac{\Phi_{longitudinal}}{2}$$
$$d = 500 - 35 - 8 - \frac{20}{2}$$
$$d = 447mm$$

Comme on peut le voir, le diamètre par défaut a également un léger effet sur la quantité de ferraillage requis, à cause du changement du bras de levier.

<u>NB</u> : dans les données d'élément 1D, on peut modifier le diamètre par défaut pour la barre pour laquelle ces données sont assignées. Il est évident que les données d'élément 1D ont une priorité supérieure à la « Configuration béton ».



En plus de la section d'acier théorique, le contrôle unité (UC) peut également être visualisé et aussi la section de ferraillage $N_{\phi,prov}$ affichée en nombre et diamètre de barres.

লি			(?)				
RÉSULTAT	rs (1)	A ×	\equiv	RÉSULTAT	rs (1)		
Nom	Dimensionnement du fe	rraill		Nom	Dimensionnement	du ferrail	ι.
▼ SÉLECTION			▼ SÉLECTIO	N			
Type de sélection	Tout	\sim		Type de sélection	Tout		1
Filtre	Non	\sim		Filtre	Non		
Résultats dans les sections	Tout	\sim	Résult	ats dans les sections	Tout		
▼ CAS DE RÉSULTAT			▼ CAS DE RE	SULTAT			1
Type de charge	Classes	\sim		Type de charge	Classes		1
Classe	ELU+ELS	\sim		Classe	ELU+ELS		
▼ EXTRÊME 1D			▼ EXTRÊME	1D			1
Extrême 1D	Global	\sim		Extrême 1D	Global		•
Type des valeurs	Défini - Utilisation	\sim		Type des valeurs	Défini		
Valeur	UC(As,prov)	\sim		Valeur	As,déf		
Intervalle	UC(As,prov)			Intervalle	As,déf		
▼ CONDITION D'ÉTAT LIMITE	UC(Asw,prov)			N D'ÉTAT LIMITE	As,prov (Σ)		
Conception ELU	As,reg-prov			Conception ELU	Nø.prov		
Dimensionnement ELS (ouvertu	As,déf		Dimensionner	ment ELS (ouvertu	Nø,prov (Σ)		
Dimonsionnoment ELS (contrain	Aswm,req		Dimension		Nøw,prov		
Dimensionnement ELS (contrain	Aswm,req-prov		Dimensionnen	nent ELS (contrain	Gl,prov		
 CONFIGURATION DES SORTIES 	Composantes		▼ CONFIGUE	ATION DES SORTIES	Gw,prov		
Sorties				Sorties	composances		ľ

Le ferraillage défini $A_{s,déf}$ donne la quantité de ferraillage ou en barres ($N_{\phi,prov}$), déterminé par le gabarit / modèle. Dans le type de valeurs « Requis – Non couvert », $\Delta A_{s,req} = A_{s,req} - A_{s,déf}$ correspond donc à la quantité de ferraillage qui doit être ajoutée au gabarit / modèle pour résister aux efforts internes (recalculés). Si $A_{s,déf} > A_{s,req}$, alors $\Delta A_{s,req} = 0$.

Calcul du ferraillage d'effort tranchant A_{swm}

V_{Ed} = effort tranchant de calcul résultant des charges extérieures appliquées.

- V_{Rd,c} = effort tranchant résistant de calcul de l'élément en l'absence d'armatures d'effort tranchant.
- V_{Rd,s} = effort tranchant de calcul pouvant être repris par les armatures d'effort tranchant travaillant à la limite d'élasticité.
- V_{Rd,max} = valeur de calcul de l'effort tranchant maximal pouvant être repris par l'élément, avant écrasement des bielles de compression

En général, on a 3 cas distincts :

-	$V_{Ed} > V_{Rd,max}$	Défaillance de la bielle béton
-	$V_{Ed} \le V_{Rd,max}$	
		Effort de cisaillement porté par le béton. Aucune armature de cisaillement nécessaire (armatures minimales selon les dispositions constructives).
-	$V_{\rm Ed} > V_{\rm Rd,c}$ et $V_{\rm Ed} < V_{\rm Rd,max}$	Acier d'effort tranchant nécessaire pour que $V_{Ed} \leq V_{Rd}$

Où:

⇒ Éléments ne nécessitant PAS d'armatures d'effort tranchant : V_{Ed} < V_{Rd,c} (art. 6.2.2)

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k(100 \ \rho_l \ f_{ck})^{1/3} + k_1 \ \sigma_{cp}] \ b_w \ d$$

(6.2.a)

Avec un minimum de :

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$$
(6.2.b)

f _{ck}	= résistance caractéristique à la compression du béton [MPa]
k	= coefficient de taille: k = 1 + $\sqrt{(200/d)} \le 2,0$ (avec d en mm)
ρι	= ratio de ferraillage longitudinal: $\rho_l = A_{sl}/b_w d \le 0,02$
bw	= plus petite largeur de la section dans la zone tendue [mm]
σ_{cp}	= contrainte de compression du béton due au chargement: σ_{cp} = N _{Ed} /A _c < 0,2 f _{cd} [MPa]
d	= hauteur utile de la section

La valeur recommandée de $C_{Rd,c}$ est 0,18/ γ_c , celle pour k_1 est de 0,15 et celle pour v_{min} est donnée par l'expression:

$$v_{min} = 0,035 \ k^{3/2}. \ f_{ck}^{1/2}$$
 (6.3N)

L'effort tranchant V_{Ed}, calculé sans réduction par β , doit toujours satisfaire la condition: V_{Ed} ≤ 0,5 b_w d v f_{cd}

(6.5)

Dans laquelle v est un coefficient de réduction de la résistance du béton fissuré en cisaillement.

```
La valeur recommandée pour v est:
```

 $v = 0,6 \left[1 - \frac{f_{\rm ck}}{250} \right] \tag{6.6N}$

Type des valeurs Stanc AN bâtiment Bi Type de fonctionnalité Poutres alvéolées Précontrainte Pié	lard EN éton - Général - Armature non précontrainte - Armature précontrainte Durabilité et enrobage - EU - Général - Ptécontrainte - Contrainte admissible - Limitation des contraintes durant I - Uimitation des contraintes durant I - Dispositions constructives - Dispositions constructives - Poteaux - Poutres	Nom Standard EN Béton Général ELU Général Øg-1/x - valeur de base de l'inclinaison Å _{tim} 5.8.3.1(1) Type de méthode simplifiée pour l' Valeur [-] 0.18 Kl_shear - coeff. pour le calcul de Vrd,c Valeur [-] 0.15 Vmin - coeff. pour le calcul de Vrd,c poi Formule Formule V - coefficient de réduction de résis Formule Formule V - coefficient de réduction de résis Formule Formule V - coefficient de réduction de résis Formule Formule P min, - angle min. entre les bielles bielle P @min,pestressed - angle minimal entre l P @min,c - Angle minimum entre la bielle P @min,c - Angle minimum entre la bielle P @min,c - Angle minimum entre la bielle
Tout Rien	Régénérer	▷ v _{1a} - coefficient de réduction de la rési Charger défauts selon AN OK An

Dans SCIA Engineer, il est possible de définir les paramètres suivants :

Note : les valeurs en vert sont conformes à la norme EC.

⇒ Éléments nécessitant des armatures d'effort tranchant : V_{Ed} > V_{Rd,c} (art. 6.2.3)

Le calcul des éléments comportant des armatures d'effort tranchant est basé sur la théorie d'un modèle treillis béton. Dans cette théorie, un modèle treillis virtuel est imaginé dans la poutre béton. Ce modèle treillis est composé d'éléments verticaux (ou légèrement en biais), horizontaux et de diagonales. Les barres verticales sont considérées comme des épingles, les barres horizontales sont les armatures longitudinales et les diagonales sont les bielles béton.



L'angle θ doit être limité.

Les limites recommandées de cot θ sont données: $1 \le \cot \theta \le 2,5$

(6.7N)

5.2	Configuration complète Y Paramètres d'affich V	Repre	endre défaut		Cherch	er		Annexe Nat	tionale:	
D	escription	Symbole	Valeur	Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Struct	Type d	Π
ous	> ٥	<tous> 🔎</tous>	<tous> 🔎</tous>	<tou <math="">\wp</tou>		<tous> 🔎</tous>	<tous> 🔎</tous>	<to <math="">\wp</to>	<to ,0<="" td=""><td></td></to>	
Pa	ramètres de conception par défaut									
Þ	Ferraillage									
Þ	Enrobage minimum									
0	otion du solveur									
Þ	Général									
Þ	Efforts internes									
Þ	Calcul As									
Þ	Conversion en barres d'armature									
Þ	Diagramme d'interaction									
4	Cisaillement									
L	Type de calcul/introduction de l'angle de la bielle c	Туре Ө	Utilisateur (Utilisate		6.2.3	EN 1992-1-1	Tout (P	Option	
L	Angle de la bielle comprimée	θ	40.00	40.00	deg	6.2.3	EN 1992-1-1	Tout (P	Option	
L	Cotangente de l'angle de la bielle comprimée	$\cot(\theta)$	1.2	1.2		6.2.3	EN 1992-1-1	Tout (P	Option	
L	Tenir compte de l'effort normal dans le contrôle d'e	Type a _{cw}				6.2.2(1)	EN 1992-1-1	1D (Pou	Option	Ц.
	 Cisaillement entre l'âme et les ailes 									
	Type de saisie de l'angle des bielles comprimées	Type B f	Utilisateur (Utilisate		6.2.4(4)	EN 1992-1-1	Poutre,	Option	
	Angle des bielles comprimées	θ _f	40.00	40.00	deg	6.2.4(4)	EN 1992-1-1	Poutre,	Option	
	Cotangente de l'angle des bielles comprimées	$\cot(\theta_f)$	1.2	1.2		6.2.4(4)	EN 1992-1-1	Poutre,	Option	

L'angle θ peut être inséré dans SCIA Engineer:

Pour les éléments avec armatures verticales d'effort tranchant, la résistance au cisaillement V_{Rd} est la plus petite valeur entre:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta$$

(6.8)

et

 $V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}/(\cot \theta + \tan \theta)$

Où:

Asw	= section de l'armature d'effort tranchant
s	= espacement des étriers
f _{ywd}	= limite d'élasticité de calcul du ferraillage d'effort tranchant
V1	= coefficient de réduction de résistance pour le béton fissuré en cisaillement
α_{cw}	= coefficient prenant en compte l'état de contraintes dans la membrure comprimée

La valeur recommandée de v1 est v (cf Expression 6.6N)

Si la contrainte de calcul de l'armature d'effort tranchant est inférieure à 80% de la limite d'élasticité caractéristique f_{yk} , alors v_1 peut être pris égale à :

$v_1 = 0, 6$	for $f_{ck} \leq 60 MPa$	(6.10 cNI)
$v_1 = 0.9 - f_{ck}/200 > 0.5$	for $f_{ck} \ge 60 MPa$	(0.10.alv)
. , ,		(6.10.bN)

La valeur recommandée de α_{cw} est de 1 pour les structures non-précontraintes.



Ces paramètres liés à la norme se trouvent dans la « Configuration béton »:

(6.9)

Si nous revenons à notre exemple dans SCIA Engineer, nous trouvons le $A_{swm,req}$ suivant pour la poutre:



Nom	dx	Cas	Profil	Aswm, req	E/A/N
	[m]			[mm ² /m]	
S2	7.250-	ULS	CS1 - RECT (500;	299	W6
			300)		
S2	5.000-	ULS	CS1 - RECT (500;	1460	W6
			300)		

La valeur maximale de 1460mm² correspond à deux sections d'étriers de ϕ = 8mm tous les 69mm.

3.2.4. Ferraillage pratique

Passons maintenant au ferraillage pratique. Ce ferraillage permet de définir un ferraillage localement sur la barre.

Avec le calcul théorique, nous avons demandé où le ferraillage est nécessaire. Cela nous permet de saisir manuellement le ferraillage pratique en ajoutant un nouveau ferraillage sur toute la poutre en cliquant sur « Ferraillage élément 1D ».

Nous pouvons tout d'abord sélectionner un gabarit pour le ferraillage longitudinal :



Ensuite, nous devons choisir d'où proviennent les paramètres de ferraillage :



Le ferraillage pratique est présenté graphiquement à l'écran :



Il est possible d'ajouter localement de nouveaux étriers ou de nouvelles barres longitudinales.

Pour les étriers, nous pouvons sélectionner une certaine forme :

E Gestionr	naire des formes d'é	triers	×
🛃 📲 🔼	🗈 🗟 🐟 🖉		
StirrupR1 StirrupR2 StirrupR3 StirrupR4 StirrupR5 StirrupR6 StirrupR7 StirrupR8			
Nom	StirrupR1		
Description	Stirrups t		
Nombre d'ét	1		
Diamètre [m	8.0		
Nombre de c	2		
Nouveau	Insérer Modifier	Supprimer	

La forme des étriers peut être éditée ou une nouvelle forme peut être créée. C'est pourquoi des points utilisateurs peuvent être ajoutés.



Pour le ferraillage longitudinal, nous pouvons définir très précisément où le ferraillage pratique doit être saisi :



La zone sélectionnée de l'élément peut être modifiée dans le panneau de propriétés ou bien par le menu Bibliothèque / Béton, ferraillage / Bibliothèque ferraillages longitudinaux :

Armatures longitudinales					
	2			Filtre Tout L1-S1E4 L2-S1E2	
				Supprimer	Tout supprime
				Nom	L2-S1E2
	2			Numéro de pos	2
	3			Diamètre [mm]	16.0
				Nombre de bar	2
				Aire [cm^2]	4.02
				Type de lit	Uniforme 👻
				Type d'enrobag	Surface à : 🗸
				Enrobage [mm]	0.0
				Barre de gauch	Avant le p 👻
				Barre de droite	Avant le p 🗸
	4			Nom de l'étrier	\$1 v
				Modèle d'analys	e Conceptio 4
ARMATURES LONGITUDIN	PARAMÈTRES DES NOUV	ELLES AR	TYPE DE BARRE	SECTION D'ARM	ATURE
Nouveau lit	Nombre de barres 2	*	poutres et nervures ¥	Lit sélectionné	4.02 cm^
Ajouter barres aux co	Diamètre [mm] 8.0	~		Tous les lits	8.04 cm^
	Nom de l'étrier S1	*	ETRIERS	PROPRIÉTÉS D'II	MAGE
Desition des hausses	Numéro du bord 2	*	Editer étriers	Dessin des di	mensions
CONFLITS DE PAPPES				Echelle du texte	0.5
Conflit	Entre barres evistante	24		Régé	nérer
Comme	Déplacer lit			OK	Annuler

Ici, peut être définie sur quelle face, le ferraillage doit être doit être ajouté :

Armatures longitudinales				×
	2		Filtre <u>Tout</u> L1-S1E4 L2-S1E2 L3-S1E4	*
	3	L	Supprimer Nom I Numéro de pos Diamètre [mm] Nombre de bar Aire [cm^2] Type de lit Type d'enrobag Enrobage [mm] Nom de l'étrier Numéro du bor	Tout supprimer 3-51E4 4 5 0.0 6 1 1 2 2 2 3 3 4 2 3 5 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	PADAMÈTRES DES NOUBJELLES AD		Modèle d'analyse	Conceptio ()
Newson 12	Nershards berry	TIFE DE DARRE	Lit sélectionné	9.42 cm^2
Alouter barres aux	Diamètra (mm)	poutres et nervures *	Tous les lits	17.47 cm^2
Ajouter barres aux co		ETRIERS	PROPRIÉTÉS D'IM	GE CHI Z
	Nom de l'etrier S1 V	Editer étriers	Dessin des dim	iensions
Position des barres	Numero du bord 4 👻	Luiter ethers	Echelle du texte	0.5 +
CONFLITS DE BARRES			Régén	érer
Conflit	 Entre barres existantes Déplacer lit 		ОК	Annuler

Pour des raisons de simplification, nous allons ajouter 3 barres de 20mm partout sur la poutre où un ferraillage supplémentaire est demandé. Cela pourrait bien entendu être plus détaillé et plus précis.

La même procédure sera répétée pour le ferraillage supérieur sur appuis.

Aussi, le ferraillage d'effort tranchant doit être augmenté dans les zones sur appuis. Cela peut se faire au augmentant le diamètre des étriers ou en diminuant la distance entre étriers.

Différentes zones d'étriers peuvent être créées :

Zones d'étriers			×
2x	2x22k2d800B00600 4 0d8.0-0.100 2x3d8.0-0.300 2x 00000 2x5d8.0-0.300 0.004 00000 2x5d8.0-0.300 0.004	x31d8.0-0.100 2x10d8.0-0 3.000 0.004 0.004 2.500	.277 2xt1d8.0-0.099 0.004 00004 F.000
Zone 2 Zone 3 Zone 4 Zone 5	Zone Ongueur [m Diamètre [mm] Distance [m] His 1 3 3.000 8.000 0.100	stance réelle [m Type i l'utilis. Histance au débu 0.100 simple v oui v 0.004	t [m , l'utilis Distance à la fin [m] oui 0.000
	Armatures de cisaillement additionnelles Symétrique Tagas des deux solutions		
	Zones des deux points Type d'introduction Nur	méros Diamètre [mm] Distance [m]	Longueur totale [m] Type
louvelle zone	upprimer zon Créer zone Suppr. zone		OK Annuler

Pour vérifier que le ferraillage d'effort tranchant est suffisant, un contrôle en capacité doit être effectué. Cela sera expliqué dans le prochain chapitre.

En sélectionnant le ferraillage, il est toujours possible de modifier les paramètres par la suite via la fenêtre de propriétés.

Dans les paramètres de vue, il est possible d'avoir une représentation 3D du ferraillage :

_		
C	onfiguration des paramètres d'affichage	
	Tout sélectionner	Verrouiller
4	🔲 Structure 斗 Étiquettes 🖾 Modèle 🛃 Charges / ma	sses 🔟 Béton 🔛 Dessin 👺 Attributs 💯 Divers 🔍 Affichage 🕨
E	Tout sélectionner	
1	Service	
Π.	Afficher lors de l'ouverture du service	
	Béton + ferraillage	
	Afficher	
	Données béton barre	Différent de la configuration générale
	Données de détail B+T	
	Directions de dessin pour la conception	
	Ferraillage principal	
	Style du ferraillage principal	tout 💌
	Etriers	
	Style des étriers	tout 👻
	Nombre d'étriers	tout
	Couleur du ferraillage	couleur par diamètres 🗸 🗸
	Schéma d'armature	
	Représentation du ferraillage	3D 🗸
	Coins courbes	
1	Etiquettes des données béton	
	Afficher l'étiquette	
	Nom	
	Ferraillage défini par l'utilisateur	
	Ferraillage défini	





En zoomant, on peut voir la représentation 3D :



3.2.5. Conversion du ferraillage théorique en ferraillage pratique

Depuis SCIA Engineer v19, il est également possible de convertir un ferraillage théorique en un ferraillage pratique. Comme mentionné précédemment, il y a deux types de ferraillage théoriques : le **ferraillage requis** (= mm² nécessaires dans chaque section de la barre) et le **ferraillage défini** (= gabarit de ferraillage avec différentes quantités de ferraillage additionnel possible). Il est possible de convertir uniquement le ferraillage défini en ferraillage pratique (= utilisateur).

Prenons l'exemple correspondant.

Le gabarit de ferraillage défini est le suivant :

Édition de l'arr	mature définie (dimensionn	nement) - Beam_Rect_Empty	/									
Type d'élémen Section	nt Poutre Rectangle	× ×										
Mode	Standard		Armatures lo	ngitudina	es 🔳	.						
			Bord	1.04	De	e base (As,b	as)		Additionn	el (As,add)		Disposit
			Bord	Lit	Ø [mm]	N × [-]	As [cm	Туре	Ø [mm]	N x [-]	As [cm	Ø [mm]
			Sup	1 lit	20.0	2	6.28	Liste pa	20.0	0;1;2;3;4		
			Côté	1 lit	16.0	0	0.00	phix	16.0	0		10.0
	Z											_
		-y	Armature de c	isaillemer	it	Newber		(1)		Espace	ement	
•				20	ones a etr	Nombre	ie Ø	լաայ	Distribution	s [m	m] 5	ymétrique
				1		2	8.0	N I	lultiple	50		
	0									0	ĸ	Annuler

Dans la fenêtre « Dimensionnement du ferraillage 1D », affichez la valeur $N_{\phi,déf}$. C'est le ferraillage défini qui sera converti en ferraillage pratique.



Cliquez ensuite sur l'action « Convertir en barres réelles » :



Le ferraillage suivant est alors généré :



Le ferraillage pratique est ajouté comme une « Donnée d'armatures ». Vous pouvez éditer le ferraillage en le sélectionnant et en cliquant sur l'action « Éditer le ferraillage » :

ions >>>
liter ferraillage
IONS >>>>

Les différentes parties du ferraillage qui doivent être éditées peuvent maintenant être sélectionnées. Le diamètre, le nombre de barres, la longueur, l'espacement, ... peuvent être modifiées dans la fenêtre de propriétés.

<u>NB</u> :

Lors de la conversion, il se peut que le message ci-dessous s'affiche : « La conversion de l'armature n'a pas été effectuée car le type de zone d'étriers est défini comme « Aucun » dans les paramètres de conception par défaut ».

Cela est dû au fait que l'option « Aucun » est sélectionnée pour le paramètre « Type de zone pour l'armature de cisaillement corrigée » dans la « Configuration Béton » par défaut.

F	Résumé apr	ès conversion			
ſ	Elément S2	Données additionn	Etat Pas OK	Explication La conversion de l'armature n'a pas été effectuée car le type de zone d'étriers est défini comme 'Aucun' dans les paramètre de conception par défa	
				ОК]

Dans l'exemple, nous pouvons augmenter la longueur et le diamètre des aciers longitudinaux supérieurs partiels :



3.2.6. Contrôles

Dans SCIA Engineer, les contrôles peuvent être effectués de trois manières différentes:

- 1. Avec un ferraillage pratique saisi sur l'élément, les contrôles peuvent être faits un par un pour toutes les sections de cet élément
- 2. Avec un ferraillage pratique saisi sur l'élément, les contrôles d'ensemble ELU et ELS peuvent être faits pour une section donnée de l'élément avec l'outil "Contrôles de section".
- Sans ferraillage pratique, les contrôles d'ensemble ELU et ELS peuvent être faits pour une section spécifique de l'élément avec l'outil « Contrôles de section ». Le ferraillage sera alors ajouté localement dans l'outil « Contrôles de section » pour pouvoir effectuer les différentes vérifications.

Tout d'abord, vous avez un aperçu des données utilisées pour les contrôles:

- Efforts internes: affichage des valeurs caractéristiques et de calcul
- Élancement: détermination de la nécessité de la prise en compte des effets du second ordre (pour les éléments de type 'poteau')
- Rigidité: affichage des valeurs EA, El_y et El_z

Les contrôles disponibles à l'ELU sont les suivants :

- **Contrôle en capacité:** pour l'interaction N-M_y-M_z basée sur la résistance calculée à partir du diagramme d'interaction
- **Réponse en capacité:** basée sur le contrôle des contraintes et des déformations ultimes pour l'interaction N-M_y-M_z
- Contrôle en cisaillement et en torsion
- Contrôle de l'interaction du cisaillement, torsion, flexion et effort normal

Les contrôles disponibles à l'ELS sont les suivants :

- Limitation des contraintes (pour le béton comme pour le ferraillage)
- Ouverture de fissures avec limitation
- **Simple vérification de flèche:** basée sur le calcul du rapport des rigidités, sans besoin de calculer la CDD (Code Dependant Deflection = Flèche selon la norme)

Les contrôles de réponse en capacité et en cisaillement + torsion, doivent être corrects si aucun ferraillage additionnel n'est requis.

Cela dit, ces contrôles donne d'intéressantes informations sur l'efficacité du ferraillage. Par exemple, si dans une section, seulement 50% est utilisée, alors nous pouvons en conclure qu'ici, moins de ferraillage serait suffisant.

Les dispositions constructives et la limitation de la fissuration sont des vérifications supplémentaires qui ne sont pas comptabilisées dans le calcul du ferraillage. Si ces contrôles ne sont pas bons, alors le ferraillage pratique doit être modifié.

Dans la suite de ce chapitre, sera expliqué chacun des contrôles un par un lorsqu'un ferraillage pratique est défini. Cela correspond à la première méthode ci-dessus.

Exemples 1: « 3.2.6 – Ferraillage pratique – Controle.esa » « 3.2.6 – SCS – Avec ferraillage pratique.esa »

La dernière partie de ce chapitre évoquera l'outil "Contrôles de section", qui correspond aux méthodes 2 et 3 pour effectuer un contrôle (cf ci-dessus).

Exemple 2: « 3.2.6 – SCS – Sans ferraillage pratique.esa »

4 RÉPONSE EN CAPACITÉ

La réponse en capacité est basée sur le calcul de déformation et de contrainte dans un composant particulier (fibre de béton ou armature de ferraillage).

Le contrôle consiste à comparer ces déformations et contraintes avec les valeurs limites conformément à l'EN 1992-1-1.

Cela dit, cette méthode ne calcule pas les extrêmes (capacités de la section) comme le diagramme d'interaction, mais calcule l'état d'équilibre pour cette section (réponse).

Pour les capacités de l'élément, il faut se référer au contrôle de diagramme en capacité.

Les vérifications suivantes sont effectuées :

- Le contrôle de la compression du béton (cc)
- Le contrôle de la compression de l'armature (sc)
- Le contrôle de la traction dans l'armature (st)

Les unités de contrôles, UC, affichées sur l'écran, seront le maximum de ces trois valeurs.

Exemple : « 3.2.6 – Ferraillage pratique – Controle.esa »

Lancer le contrôle de réponse en capacité par le poste de travail « Béton », et « Contrôle de réponse ELU des éléments 1D béton ».

La valeur maximale du contrôle est donnée au milieu de l'appui. La sortie « standard » donne :



Dans la sortie « standard », on peut lire l'UC, et la déformation et contrainte maximales dans la section étudiée.

۱

Type d'élément	Fibre /	ε	ε _{im}	σ	σ_{im}	CU [-]	Statut
	Barre	[‰]	[‰]	[MPa]	[MPa]		
Béton - compression	1	-1.63	-3.5	-18.7	-20	0.93	OK
Béton - traction	3	2.64	0	0	0	0.00	OK
Armatures - compression	3	-1.16	-22.5	-233	-454	0.51	OK
Armatures - traction	1	2.17	22.5	434	454	0.96	OK

Dans la sortie « détaillée », on aura toutes les déformations et contraintes ainsi que leurs limites :

A noter que la contrainte de traction dans le béton n'est pas prise en compte, c'est pourquoi l'UC est égale à 0.

Les diagrammes de déformation et de contrainte sont également disponible dans la sortie « détaillée » :



Les paramètres qui peuvent influencer ce contrôle sont :

- La hauteur utile de la section : d

Elle est habituellement définie comme la distance entre la fibre de béton la plus comprimée et le centre de gravité des armatures tendues.



La hauteur utile d ne peut pas être calculée dans les cas suivants :

- La fibre la plus comprimée ne peut pas être déterminée (toute la section est en traction).
- La résultante des efforts dans les armatures tendues ne peut pas être déterminée (toute la section est en compression).
- L'équilibre n'est pas trouvé.
- La distance entre la fibre la plus comprimée et la résultante des efforts dans les armatures tendues est inférieure à 0,5*h.

Dans ces cas particuliers, la hauteur utile est calculée selon la formule :

d = Coeff_d * h

Avec :

- Coeffd: 0,9 par défaut dans la « Configuration béton », dans la vue « Configuration complète », dans les « Options du solveur » et dans « Général ».
- \circ h_I : hauteur de la section perpendiculaire à l'axe neutre.

s : Configuration complète 💌 Paramètres d'affich 🔻	Reprendre d	éfaut	Chercher	:			Annexe Na	itionale:
Description	Symbole	Valeur	Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Structu	Type de
pus> D	<tous> \wp</tous>	<tous></tous>	<tous> \wp</tous>	<	<tous> \wp</tous>	<tous> \wp</tous>	<tou ,<="" th=""><th><tou ,<="" th=""></tou></th></tou>	<tou ,<="" th=""></tou>
Paramètres de conception par défaut								
Ferraillage								
Enrobage minimum								
Option du solveur								
⊿ Général								
Valeur limite du contrôle unité	Contr.limite	1.0	1.0			Independent	Tout (Po	Option d
Valeur du contrôle unité lorsque le contrôle n'est pas cal	Contr.Ncal	3.0	3.0			Independent	Tout (Po	Option d
Coefficient pour le calcul de la hauteur statique de la sect	Coeff _d	0.9	0.9			Independent	Tout (Po	Option d
Coefficient pour le calcul du bras de levier interne	Coeffz	0.9	0.9			Independent	Tout (Po	Option d
Coefficient pour la détermination de l'élément comprimé	Coeff _{com}	0.1	0.1			Independent	Tout (Po	Option d
 Fluage et retrait 								
Age du béton à l'instant considéré	t	18250.00	18250.00	jour	3.1.4.B.1-2	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d
Humidité relative	RH	50	50	%	3.1.4.B.1-2	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d
Type d'introduction du coefficient de fluage	Type q (t,to)	Auto	Auto		3.1.4(2)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d
Age du béton à la mise en charge	t ₀	28.00	28.00	jour	3.1.4(2),B1	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d
Tenir compte du séchage et du retrait autogène	Type s _{cs} (t,ts)	Auto	Auto		3.1.4(6)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d
Age du béton au début du retrait de séchage	t _s	7.00	7.00	jour	3.1.4(6),B2	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d
∠ ELS								

- Le bras de levier interne

Le bras de levier interne z est défini dans l'EN 1992-1-1, clause 6.2.3 (3) comme la distance entre la position résultante des efforts de traction (dans les armatures tendues), et la position résultante des efforts de compression (armatures comprimées et béton comprimé).

Le bras de levier interne z ne peut pas être calculé dans les cas suivants :

- o La fibre la plus comprimée ne peut pas être déterminée (toute la section est en traction).
- La résultante des efforts dans les armatures tendues ne peut pas être déterminée (toute la section est en compression).
- L'équilibre n'est pas trouvé.

Dans ces cas particuliers, le bras de levier est calculé selon la formule :

z = Coeffz * d

Avec :

Coeff_z: 0,9 par défaut dans la « Configuration béton », dans la vue « Configuration complète », dans les « Options du solveur » et dans « Général ».

es : Configuration complète	Y Paramètres d'affich ▼	Reprendre d	léfaut	Chercher				Annexe Na	itionale:
Description		Symbole	Valeur	Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Structu	Type de
tous>	ρ	<tous> D</tous>	<tous></tous>	<tous> D</tous>	<	<tous> D</tous>	<tous> ρ</tous>	<tou)<="" th=""><th><tou d<="" th=""></tou></th></tou>	<tou d<="" th=""></tou>
Paramètres de conception pa	défaut								
Ferraillage									
Enrobage minimum									
Option du solveur									
∡ Général									
Valeur limite du contrôl	e unité	Contr.limite	1.0	1.0			Independent	Tout (Po	Option d
Valeur du contrôle unité	lorsque le contrôle n'est pas cal	Contr.Ncal	3.0	3.0			Independent	Tout (Po	Option d
 Coefficient pour le calcu 	de la hauteur statique de la sect	Coeff _d	0.9	0.9			Independent	Tout (Po	Option d
Coefficient pour le calcu	du bras de levier interne	Coeff _z	0.9	0.9)		Independent	Tout (Po	Option d
Coefficient pour la déter	mination de l'élément comprimé	Coeff _{com}	0.1	0.1			Independent	Tout (Po	Option d
 Fluage et retrait 									
Age du béton à l'inst	ant considéré	t	18250.00	18250.00	jour	3.1.4.B.1-2	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d
Humidité relative		RH	50	50	%	3.1.4.B.1-2	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d
Type d'introduction	du coefficient de fluage	Type q (t,to)	Auto	Auto		3.1.4(2)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d
Age du béton à la i	nise en charge	t ₀	28.00	28.00	jour	3.1.4(2),B1	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d
Tenir compte du séc	nage et du retrait autogène	Type s _{cs} (t,ts)	Auto	Auto		3.1.4(6)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d
Åge du béton au d	ébut du retrait de séchage	ts	7.00	7.00	jour	3.1.4(6),B2	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d
▲ ELS									

Pour plus d'informations sur ce contrôle et la théorie, veuillez consulter l'aide en ligne du logiciel.
🖊 DIAGRAMME DE CAPACITÉ

Les services de diagramme en capacité utilisent la création d'un diagramme d'interaction (graphique représentant la capacité d'un élément béton à résister à un torseur N + M_y + M_z).

Ce contrôle calcule l'interaction extrême permise entre l'effort normal N et les moments de flexion My et Mz.

Exemple : « 3.2.6 – Ferraillage pratique – Controle.esa »

Lancer le contrôle de diagramme en capacité par le poste de travail « Béton », et « Contrôle de diagramme de capacité ELU des éléments 1D béton ».

La sortie « standard » donne un résumé des résultats du contrôle :

N	NEd	NEd NRd+ My		MEdy	MRdy+	MRdy-	UC	Statut	
		N _{Rd} .	Mz	MEdt	M _{Rdz+}	M _{Rda-}			
[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[-]		
0	0	0	-261	-261	119	-278	0.94	OK	
		0	0	0	0	0		M _{Edt} /M _{Rd}	

La sortie « détaillée » donne davantage d'informations sur la façon dont on est effectué le contrôle :

```
Résumé de contrôle

Forces: N_{Ed} = 0 \text{ kN} M_{Edy} = -261 \text{ kNm} M_{Edz} = 0 \text{ kNm}

Résistance: N_{Rd} = 0 \text{ kN} M_{Rdy} = -278 \text{ kNm} M_{Rdz} = 0 \text{ kNm}

Calcul du contrôle unité:

UC = \frac{\sqrt{N_{Ed}^2 + M_{Edy}^2 + M_{Edz}^2}}{\sqrt{N_{Rd}^2 + M_{Rdy}^2 + M_{Rdz}^2}} = \frac{\sqrt{0^2 + -261^2 + 0^2}}{\sqrt{0^2 + -278^2 + 0^2}} = 0.94 \quad <= 1 \text{ OK}
```

Les diagrammes d'interaction sont également dessinés dans la sortie « détaillée » :





Les paramètres qui peuvent influencer ce contrôle sont :

La méthode du diagramme d'interaction

- La division de déformation
- Le nombre de points dans les coupes verticales

Pour plus d'informations sur ce contrôle et la théorie, veuillez consulter l'aide en ligne du logiciel.

CISAILLEMENT + TORSION

Le contrôle de l'interaction cisaillement + torsion consiste en trois vérifications conformément aux clauses 6.1 – 6.3 de l'EN 1992-1-1 :

- Contrôle du cisaillement
- Contrôle de la torsion
- Contrôle de l'interaction cisaillement + torsion

Cette vérification peut être effectuée si les conditions suivantes sont remplies :

- Le matériau de toutes les armatures de ferraillage et épingles sont les mêmes.
- L'angle entre le gradient du plan de déformation et la résultante des efforts de cisaillement n'excède pas les 15°.
- La section est composée d'un polygone et d'un matériau.

Exemple : « 3.2.6 – Ferraillage pratique – Controle.esa »

Lancer le contrôle de diagramme en capacité par le poste de travail « Béton », et « Contrôle de cisaillement et torsion ELU des éléments 1D béton ».

Certaines parties de la poutre ne sont pas correctes :



La sortie standard permet d'identifier quel contrôle en particulier n'est pas satisfait :



Ici, ce sont les efforts de cisaillement qui entraine un contrôle unité UC > 1.

Dans la sortie « détaillée », nous pouvons lire les notes, avertissements et erreurs concernant ce calcul. Par exemple, pour le contrôle des efforts de cisaillement non satisfait, la note explique clairement que le ferraillage d'effort tranchant n'est pas suffisant et qu'il doit être augmenté.

Contrôle	e de cisaillement
Contrôle	V _{Rdmax}
V	$_{Ed}$ = 152 kN \leq V _{Rdmax} + V _{cod} + V _{td} = 598 kN
Remar.:	Contrôle satisfait pour l'écrasement de la bielle béton ($V_{Ed} \le V_{Rd,max} + V_{td} + V_{ccd}$).
Contrôle	V _{Edmax}
V	$_{Ed}$ = 152 kN \leq V _{Edmax} + V _{ccd} + V _{td} = 705 kN
Remar:	Le contrôle est satisfaisant pour l'effort de cisaillement proche des appuis ($V_{Ed} \le V_{Ed,max} + V_{td} + V_{cod}$).
Contrôle V	V _{Rdc} et V _{Rds} _{Ed} = 152 kN > V _{Rdc} = 87.8kN and V _{Ed} = 152 kN > V _{Rds} + V _{ccd} + V _{Ed} = 66.5 kN
Avertiss nécessa d'armat	e: Le contrôle n'est pas satisfaisant, à cause du ferraillage de cisaillement (V _{Ed} > V _{Rds} + V _{ccd} + V _W). Il est ire d'augmenter l'aire d'armature d'effort tranchant ou les dimensions de la section ou la qualité de l'acier ture.
Contrôle	e unité

Différentes actions peuvent être faites pour corriger cela. Dans cet exemple, nous pouvons diminuer l'espacement des étriers dans la section où se trouve le problème.

Sélectionnez les étriers et cliquez sur l'action « Éditer l'espacement des étriers » en bas de la feuille de propriétés :

LIT DE FERR	AILLAGE (1)
i 🖉 💋	
Nom	RL
Type de zone	armatures d'effort tranchant
Détail	\bigcirc
Numéro de position	6
Matériau	B 500A V 📑
Calcul du nombre de coupes	Utilisateur 🗸
Nombre de coupes	2
Diamètre du mandrin dm =x*ds(s),	4
▼ ANCRAGES	
Type de torsion	D
Ancrage L [mm]	120
Conserver coffrage	

\bigcirc
S1
Rela 🗸
0.000
1.000
Depuis le départ 🗸 🗸
-0.400
0.000
0

Sélectionnez la zone 2 et modifiez la distance entre étriers de 0,3m à 0,1m. Appliquez la même procédure pour la zone 4 et modifier l'espacement à 0,2m :

Zones d'étrier	rs												×
													₩
2x	10d8.0-0. 10. 050 50 1.000		2x250	18.0-0.100 2.500 ^{0.050}	0.0	2x31d1 005 3.	0.0-0.100 000 0.00	05	2x14 0.004	4d8.0-0 2.500	0.192	2x1.1d8.0- 00000 1.000	0.099
Zone 1 Zone 2 Zone 3 Zone 4 Zone 5	Armatures Zc 1 2	de cisaille ine ong 2	ement m ueur [n .500	inimum Diamètre [mm] 8.000	Distance [0.100	m] listance r	éelle (m Type 00 simple	e il'ut	ilis Iistand Y	e au débu 0.050	t [m i l'uti oui	Ech. de texte lis Distance à 0.0	1 🗘
	Armatures	de cisaille ique	ement a	dditionnelles									
	Zones de	J GEGX PO		Type d'introduct	tion	Numéros	Diamètre [I	nm]	Distance	e [m]	Longueur	totale [m]	Туре
louvelle zone	upprimer zon	Créer	zone	Suppr. zone								ОК	Annuler

Nous pouvons également ajouter des étriers comme ci-dessous :

Forme de l'étrier		×
	2	S1 S2
		Supprimer Tout supprimer Nom S2 Couleur Nombre de somr 4 Fermé ✓ Détail non Torsion non Cisaillement joint non
		Modèle d'analyse
		CALCUL DE L'EFFORT TRANCHANT
ETRIER	OINTS UTILISATEUR	Nombre de coupe: 4
Nouveau Automatique	Jexe élément-bc Type Rela Abso [mm] De 1 2.Bord Rel × 0.300 Débu ×	Diamètre du mand 4 dss PROPRIÉTÉS D'IMAGE
Diamètre 8.0 Y mm	2 2.Bord Rel × 0.300 Fin × 3 4.Bord Rel × 0.300 Débu ×	Dessin des intersections Dessin des coins Eshelle Teutre & Re. 0.5
	Ajouter Supprimer Tout supprimer	Régénérer OK Annuler

Changer la forme des étriers nous permet de conserver une plus grande distance de 0,2m entre les étriers de la zone 2.

Après modification, le contrôle en cisaillement + torsion est satisfait :



Les paramètres qui peuvent influencer le contrôle sont :

- Le coefficient pour le calcul de la hauteur utile de la section
 La valeur est de 0,9 par défaut dans la « Configuration béton », dans la vue « Configuration complète », dans les « Options du solveur » et dans « Général ».
- Le coefficient pour le calcul du bras de levier interne La valeur est de 0,9 par défaut dans la « Configuration béton », dans la vue « Configuration complète », dans les « Options du solveur » et dans « Général ».
- L'angle de la bielle de compression de béton

Trois possibilités de saisie dans la « Configuration béton », dans la vue « Configuration complète » et dans « Cisaillement » :

- « Utilisateur (angle) » : l'utilisateur saisit directement l'angle (option par défaut).
- « Utilisateur (cotangente) » : l'utilisateur saisit directement la cotangente.
- « Auto » : le calcul de l'angle est fait automatiquement via l'équation 6.29.

ues	: Config	guration complète 🛛 👻 Paramètres d'affich 🔻	Reprend	lre d	léfaut		Cherche	r			Annexe Na	ationale:	
	Descripti	ion	Symbol	e	Valeur		Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Structu	Type de	Π
to	us>	م م	<tous></tous>	P	<tous></tous>	ρ	<tous> ρ</tous>	<	<tous></tous>	<tous></tous>	<tou ,<="" th=""><th><tou th="" 🔎<=""><th></th></tou></th></tou>	<tou th="" 🔎<=""><th></th></tou>	
1	Paramèt	tres de conception par défaut				Т							
	Ferra	aillage											
	Enrol	bage minimum											
4	Option d	du solveur											
	Géné	iral											
	Effor	rts internes											
	Calcu	ul As											
	Conv	version en barres d'armature											
	Diage	ramme d'interaction											
ſ	∡ Cisai	illement											
	► T	ype de calcul/introduction de l'angle de la bielle compri	. Type θ		Utilisateur (^	Utilisateu		6.2.3	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d	
		Angle de la bielle comprimée	θ		Auto			deg	6.2.3	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d	
		Cotangente de l'angle de la bielle comprimée	$\cot(\theta)$		Utilisateur (an	ngle	e)		6.2.3	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d	
J	Te	enir compte de l'effort normal dans le contrôle d'effort t	. Type acv	, 1	Utilisateur (co	otai	ngente)		6.2.2(1)	EN 1992-1-1	1D (Pout	. Option d	
	⊿ C	isaillement entre l'âme et les ailes											
		Type de saisie de l'angle des bielles comprimées	Type 0 f		Utilisateur (a	l	Utilisateu		6.2.4(4)	EN 1992-1-1	Poutre,P	Option d	
		Angle des bielles comprimées	θŗ		40.00		40.00	deg	6.2.4(4)	EN 1992-1-1	Poutre,P	Option d	
		Cotangente de l'angle des bielles comprimées	$\cot(\theta_f)$		1.2		1.2		6.2.4(4)	EN 1992-1-1	Poutre,P	Option d	
	N Torri	ion											١.

L'angle doit être compris entre θ_{min} et θ_{max} défini dans l'annexe nationale de l'EN 1992-1-1 :



- L'angle du ferraillage d'effort tranchant
 Le ferraillage pratique peut seulement être introduit à 90°.
- Le type de détermination de la section à paroi mince équivalente.

Pour plus d'informations sur ce contrôle et la théorie, veuillez consulter l'aide en ligne du logiciel.

LIMITATION DES CONTRAINTES

La limitation des contraintes est basée sur la vérification de :

- La contrainte de compression dans le béton. Une valeur haute de la contrainte de compression dans le béton pourrait entrainer l'apparition de fissures longitudinales, la propagation de microfissures dans le béton, et des valeurs importante de fluage (principalement en non linéaire). Cette effet peut entrainer un état où la structure est inutilisable.
- La contrainte de traction dans les armatures. La contrainte dans les armatures est vérifiée suite à la limitation de l'existence d'une déformation inacceptable et à l'apparition alors de fissures dans le béton.

Exemple : « 3.2.6 – Ferraillage pratique – Controle.esa »

Le contrôle de limitation des contraintes est fait conformément aux étapes suivantes :

- La vérification de l'apparition de fissures -
- -La vérification des contraintes

La sortie « standard » (dans SCS) montre ces deux étapes :

Charge	Type de module	E _c [MPa]	Combi	N _{Ed}	M _{Edy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	σ _{ct} [MPa]	h [mm]	f _{ct,eff} [MPa]	Fissures apparais	ssent.
Court	Ec	0	Car.	0	174	0	11.6	500	2.9	OUI	
imite Type de	de contr contrôle	ainte d Charge	u béto N _{Ed}	M _{Edy}	M _{Edz}	y i	Zi	σ	σ _{c,lim}	σ _c /σ _{c,lim}	Statut
7 2(2) 6		Cant	[KN]	[KNm]	[KNm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	1-1	DÉCAC
87.2(2) C	ar.	Court	0	1/4	0	0.15	0.05	177	12.5	1.21	DESAC
1.2(5)	l-F.	count	0	157	0	0.15	0.25	-17.7	-15.5	1.51	Pasor
imite	de contrôle	ainte d Charge	ans de N _{Ed}	es arma M _{Edy}	M _{Edz}	non pre	écontra z _i	aintes σ _s	σ _{s,lim}	σ _s /σ _{s,lim}	Statut
Type de	controle		[kN]	[kNm]	[kNm]	[mm]	[mm]	IMPal	[MPa]		
Type de	controle		[kN]	[kNm]	[kNm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	1-1	

Vérification de l'apparition de fissures

L'apparition des fissures est vérifiée pour les combinaisons de charges caractéristiques conformément au chapitre 7.1 (2) de l'EN 1992-1-1 :

- aucune apparition de fissures - $\sigma_{ct} \leq f_{ct.eff}$
- $\sigma_{ct} > f_{ct.eff}$ les fissures apparaissent

Avec :

- contrainte de traction maximale dans la fibre de béton σ_{ct} f_{ct.eff}
 - résistance à la traction du béton efficace

Vérification des contraintes

Il y a trois limitations de contraintes vérifiées :

-	$\sigma_{c,cara,lim} \leq k_1 * f_{ck}$	contrainte de compression sous combinaisons caractéristiques -
		7.2(2) – classe d'exposition XD, XF, XS
-	$\sigma_{c,qp,lim} \leq k_2 * f_{ck}$	contrainte de compression sous combinaisons quasi-permanentes – 7 2(3)
-	$\sigma_{s,cara,lim} \leq k_3 * f_{yk}$	contrainte dans les armatures sous combinaisons caractéristiques – 7.2(5)

Les valeurs de k1, k2 et k3 sont définies dans l'annexe nationale : les valeurs standards sont respectivement 0,6, 0,45 et 0,8.

De plus, lorsque la contrainte dans le ferraillage est causée par une déformation imposée, alors la résistance maximale est augmentée de k4*fyk, où k4 est le paramètre de l'annexe nationale avec pour valeur standard k4 = 1,0.

Cette option peut être activée dans la « Configuration béton » et « Limitation des contraintes » :



Par défaut, le contrôle de la limitation des contraintes est fait pour l'état à court terme. Il est possible de l'effectuer pour un état à long terme. Le module effectif d'élasticité E est calculé comme suit, en utilisant le coefficient de fluage :

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{(1+\varphi)}$$

Le comportement long-terme peut être activé dans la « Configuration béton », dans la vue « Configuration complète », dans les « Options du solveur », dans « Général » et « ELS ».

Le coefficient de fluage peut ou bien être calculé par le logiciel ou bien être saisi manuellement.

	Cor	nfiguration complète 🛛 👻 Paramètres d'affich	n 🔻	Repren	dre défaut		Cherc	her	Annexe Na	tionale:
De	scri	ption	Symbole	Val	Défaut	Uni	Chapitre	Norme	Struct	Type d
ous>		Q	<tou ,<="" td=""><td></td><td><tou td="" 🔎<=""><td></td><td><tous> 🔎</tous></td><td><tous> 🔎</tous></td><td><to <math="">\wp</to></td><td><to <math="">\rho</to></td></tou></td></tou>		<tou td="" 🔎<=""><td></td><td><tous> 🔎</tous></td><td><tous> 🔎</tous></td><td><to <math="">\wp</to></td><td><to <math="">\rho</to></td></tou>		<tous> 🔎</tous>	<tous> 🔎</tous>	<to <math="">\wp</to>	<to <math="">\rho</to>
Par	an	nètres de conception par défaut								
Þ	Fe	rraillage								
Þ	En	robage minimum								
Opt	tio	n du solveur								
	Gé	néral								
		Valeur limite du contrôle unité	Contr.li	1.0	1.0			Independent	Tout (P	Option
		Valeur du contrôle unité lorsque le contrôle n'	Contr.Ncal	3.0	3.0			Independent	Tout (P	Option
		Coefficient pour le calcul de la hauteur statiqu	Coeff _d	0.9	0.9			Independent	Tout (P	Option
		Coefficient pour le calcul du bras de levier inte	Coeffz	0.9	0.9			Independent	Tout (P	Option
		Coefficient pour la détermination de l'élément	Coeff _{com}	0.1	0.1			Independent	Tout (P	Option
	4	Fluage et retrait								
		Age du béton à l'instant considéré	t	1825	18250.00	jour	3.1.4.B.1-2	EN 1992-1-1	Tout (P	Option
		Humidité relative	RH	50	50		3.1.4.B.1-2	EN 1992-1-1	Tout (P	Option
		Type d'introduction du coefficient de fluage	Type q (t	Auto	Auto		3.1.4(2)	EN 1992-1-1	Tout (P	Option
		Age du béton à la mise en charge	t ₀	28.00	28.00	jour	3.1.4(2),B1	EN 1992-1-1	Tout (P	Option
		Tenir compte du séchage et du retrait auto	Type s _{cs} (t,	Auto	Auto		3.1.4(6)	EN 1992-1-1	Tout (P	Option
		Âge du béton au début du retrait de séch	t _s	7.00	7.00	jour	3.1.4(6),B2	EN 1992-1-1	Tout (P	Option
	4	ELS								
	L	Utiliser le module effectif du béton					7.1(2)	EN 1992-1-1	Tout (P	Option
	Þ	Type [déplac. / non dépl.] par défaut								
Þ	Eff	orts internes								

<u>NB</u> : SCIA Engineer n'est pas capable d'utiliser les combinaisons caractéristiques ou quasi-permanentes ensemble en une seule fois. C'est pourquoi, les mêmes efforts (et combinaisons) sont utilisés pour l'apparition des fissures et pour les valeurs de contraintes finales.

4 OUVERTURE DE FISSURES

La vérification des ouvertures de fissures est effectuée selon l'article 7.3.4 de l'EN 1992-1-1.

Les prérequis suivants sont utilisés pour le calcul :

- L'ouverture de fissures est calculée pour les poutres et poteaux et pour des charges générales (N + M_y + M_z).
- Une section à un polygone et un matériau est considéré.
- Le matériau de toutes les armatures doit être le même.
- L'apparition de fissures doit être calculée pour une combinaison caractéristique conformément à l'EN 1992-1-1, clause 7.2(2). Une simplification est faite dans le logiciel, à savoir que la contrainte normale est calculée pour le même type de combinaisons que celles pour le calcul de l'ouverture de fissures, saisie dans la « Configuration béton ».

Exemple : « 3.2.6 – Ferraillage pratique – Controle.esa »

Il faut savoir tout d'abord si la section est fissurée ou non :

- $\sigma_{ct} \leq \sigma_{cr}$ non-fissuré
- $\sigma_{ct} > \sigma_{cr}$ fissuré

Les valeurs pour σ_{cr} peuvent être définie dans la « Configuration béton » et « Efforts de fissuration ». Deux options peuvent influencer cette valeur :

s : Configuration complète 🛛 👻 Paramètres d'affic	h 🔻	Repret	ndre défaut		Cherc	her	Annexe Na	tionale:		
Description	Symbole	Val	Défaut	Uni	Chapitre	Norme	Struct	Type d	1	Remarque
Q suc	<tou ,0<="" th=""><th></th><th><tou)<="" th=""><th></th><th><tous> D</tous></th><th><tous> D</tous></th><th><to 9<="" th=""><th><to 0<="" th=""><th></th><th>Valeur de résistance utilisée pour le calcul de la 1ère fissu</th></to></th></to></th></tou></th></tou>		<tou)<="" th=""><th></th><th><tous> D</tous></th><th><tous> D</tous></th><th><to 9<="" th=""><th><to 0<="" th=""><th></th><th>Valeur de résistance utilisée pour le calcul de la 1ère fissu</th></to></th></to></th></tou>		<tous> D</tous>	<tous> D</tous>	<to 9<="" th=""><th><to 0<="" th=""><th></th><th>Valeur de résistance utilisée pour le calcul de la 1ère fissu</th></to></th></to>	<to 0<="" th=""><th></th><th>Valeur de résistance utilisée pour le calcul de la 1ère fissu</th></to>		Valeur de résistance utilisée pour le calcul de la 1ère fissu
Paramètres de conception par défaut										est possible de choisir entre:
▷ Ferraillage										1) UMPa - la premiere rissure apparait des fors qu'une contrainte de traction se produit dans la section.
▷ Enrobage minimum										2) fct,eff - la première fissure apparait lorsque la résistan-
Option du solveur										effective à la traction du béton est atteinte dans la section
▷ Général										
▷ Efforts internes										
▷ Calcul As										
Conversion en barres d'armature										
Diagramme d'interaction									<<	
▷ Cisaillement										
▷ Torsion										
Poinçonnement										
Limitation des contraintes										
 Efforts de fissuration 										
Type de résistance pour le calcul de l'effort de	f _{ct,eff}	f _{ctm}	f _{ctm}		7.1(2)	EN 1992-1-1	Tout (P	Option		
Valeur de la résistance pour le calcul de l'effort		f _{ct,eff}	f _{ct,eff}		7.1(2)	EN 1992-1-1	Tout (P	Option		
Ouverture de fissure										
Flèches										
N Diepositione constructives										

Valeur de résistance pour le calcul des efforts de fissuration :

- $\sigma_{cr} = 0MPa$ les fissures apparaissent avec une contrainte de traction dans la section.
- $\sigma_{cr} = f_{ct,eff}$ les fissures apparaissent lorsque la résistance effective en traction du béton est atteinte dans la section.

Type de résistance pour le calcul des efforts de fissuration :

Si l'option précédente $\sigma_{cr} = f_{ct,eff}$ est choisie, qui est par défaut, alors :

- $f_{ct,eff} = f_{ctm}$ résistance moyenne à la traction du béton à 28 jours définie dans les propriétés du matériau
- f_{ct,eff} = f_{ctm,fl} résistance moyenne à la traction en flexion (EN 1992-1-1, clause 3.1.8 (1)). Cette valeur doit être utilisée si les déformations restreintes comme le retrait ou des mouvements de température sont considérés pour le calcul de l'ouverture de fissures.



Note : La valeur affichée dans les propriétés des matériaux (image ci-dessus) est la résistance moyenne à la traction à 28 jours. Si la fissuration est attendue plus tôt que 28 jours, il est nécessaire de saisir cette valeur $f_{ctm}(t)$ dans les propriétés des matériaux (EN 1992-1-1, clause 3.1.2(9)).

Le contrôle de l'apparition des fissures, avec les valeurs des efforts de fissuration (N_{cr} , M_{cry} , M_{crz}) est disponible dans la sortie détaillée :

Caractéristiques du matériau			
Résistance du béton effective:	Module d'élasticité	é du béton :	
f _{etaff} = f _{etm} = 2.9 MPa	$E_c = E_{cm} = 33 \text{ GPz}$	a	
Effort dans le béton, quand la fissuration apparaît			
$\sigma_{\rm cr} = 2.9 {\rm MPa}$			
Efforts	Caractérist	iques de la section	
Valeurs caractéristiques	Туре	Section - non fissurée	Section fissurée
LC1+LC2+LC3	t _y [m]	0	0
N _{char} = 0 kN M _{v,char} = 174 kNm M _{z,char} = 0 kNm	t _∈ [m]	-6.82·10 ⁻³	0.117
Valeurs quasi-permanentes	A, [m ²]	0.163	0.0533
LC1+LC2+0.30*LC3	ال _y [m ⁴]	3.63.10-3	1.91.10-3
N _{op} = 0 kN M _{y.op} = 157 kNm M _{z.op} = 0 kNm	l₂ [m ⁴]	1.19.10-3	370.10 ⁻⁶
Angle du moment de flexion résultant			
$\alpha_{\rm fut} = 90^{\circ}$			
Calcul des efforts de fissuration (section non	fissurée)		
Contrainte maximale du béton			
σ _{ct} = 11.6 MPa			
Efforts de fissuration			
N _{cr} = 0 kN M _{crv} = 43.3 kNm M _{crz} = 0 kNm			
$\sigma_{ct} = 11.6 \text{ MPa} > \sigma_{cr} = 2.9 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Des fissures}$	apparaissent		
Note: Des fissures apparaissent, car la contrainte maxin	nale de traction est supé	érieure à la résistance de fiss	ration

Ici le module E est pris à court-terme. Comme mentionné précédemment, l'état à long-terme avec un module efficace E_{eff} peut se choisir dans la « Configuration béton », dans la « Configuration complète », dans les « Options du solveur » / « Général » / « ELS » et « Utiliser le module effectif du béton ».

Dans cet exemple, des fissures apparaissent. L'ouverture de fissures est alors calculée conformément à l'EN 1992-1-1, formule 7.8 : $w = S_{r\,max} * (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$

Pour plus de détail sur le calcul, la sortie détaillée peut être analysée. L'image ci-dessous présente un extrait de la note détaillée :

Espacement maximum des fissures

$$s_{max} = 45 \text{ mm} \le 5^{*}(c+0.5^{*}g_{eq}) = 275 \text{ mm or } \rho_{p,eff} = 0, \quad \text{donc}:$$

$$s_{r,max} = \min\left(k_{3} \cdot c + \frac{k_{1} \cdot k_{2} \cdot k_{4} \cdot g_{eq}}{\rho_{p,eff}}; 1.3 \cdot (n - x_{r})\right)$$

$$= \min\left(3.4 \cdot 45 + \frac{0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot 20}{0.0428}; 1.3 \cdot (0.5 - 0.133)\right) = 232 \text{ mm}$$
Déformation moyenne du ferraillage

$$\epsilon_{em_{u}} \epsilon_{cm} = \max\left(\frac{\sigma_{s} - k_{s} \cdot \left(\frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}}\right) \cdot (1 + \alpha_{e} \cdot \rho_{p,eff})}{E_{s}}; \frac{0.6 \cdot \sigma_{s}}{E_{s}}\right)$$

$$= \max\left(\frac{250.3 - 0.4 \cdot \left(\frac{2.9}{0.0428}\right) \cdot (1 + 6.06 \cdot 0.0428)}{20000}; \frac{0.6 \cdot 250.3}{200000}\right) = 1.08 \%_{0}$$
Largeur de fissure calculée

$$w_{k} = s_{r,max} \cdot \epsilon_{sm_{u}} \epsilon_{cm} = 232 \text{ mm} \cdot 1.08 \%_{0} = 0.251 \text{ mm}$$
(7.8)

Valeur limite de w _{max} = 0.4 m	la contrainte provoquée par l'effort axial
Contrôle unité	
Calcul du contrôle	unité
$UC = \frac{W}{W_{max}}$	$=\frac{0.251 \text{ mm}}{0.4 \text{ mm}}=0.628$
Contrôle de largeu	ir de fissure
w = 0.251 r	$nm = \langle w_{max} = 0.4 mm$
Note: Le contrôle	de la fissuration est satisfait, car l'ouverture des fissures est inférieure à la valeur limite.

La sortie standard donne les valeurs résumées :

R	ésumé de	contrôle						
	$N_{cr} = 0 \ kN$	M _{ery} = 43.3 kNm	$M_{cre} = 0 \ kNm$	σ_s = 250 MPa	s _{r.max} = 232 m	nm ε _{sm.cm} = 1.	.08 ‰	
	σ _{ct} [MPa]	σ _{cr} [MPa]	Fissuré	w [mm]	w _{max} [mm]	UC [-]	Contrôle de valeur limite [-]	Statut
	11.6	2.9	OUI	0.251	0.4	0.63	1	OK

La valeur limite de l'ouverture de fissures w_{max} est par défaut automatiquement calculée conformément à l'EN 1992-1-1 (tableau 7.1N). La largeur de fissures maximale peut être lue dans les paramètres de l'annexe nationale :

Gestionnaires d'Annexes Nationales		×
📑 📲 🔀 🗟 🐟 🗢 🔳 🖨 🖸 Tout		~
Standard EN		
Austrian ÖNORM-EN NA		
Belgian NBN-EN NA		
British BS-EN NA		
Cypriot CYS-EN NA		
Czech CSNJEN NA	Standard EN	-
Anneve nationale	EN standard	
Difference	LITUTATION	
References		
EN 1990: Bases de la conception des structures		
EN 1990 (Bases pour la conception des structures)		
EN 1991: Actions sur les structures		
EN 1991-1-3 (Actions générales - neige)		
EN 1991-1-4 (Actions générales - vent)		
EN 1992: Conception des structures en béton		
EN 1992-1-1 (Règles générales et règles pour les bâtiments)		
EN 1992-1-2 (Règles générales - conception au feu)		
EN 1992-2 (Ponts en béton - conception et dispositions constructi		
EN 1168 (Produits en béton précontraint - dalle alvéolaire)		
EN 1993: Conception des structures en acier		
EN 1993-1-1 (Règles générales et règles pour les bâtiments)		
EN 1993-1-2 (Règles générales - conception au feu)		
EN 1993-1-3 (Règles générales - Règles supplémentaires pour les j		
Nouveau Insérer Modifier Supprimer		ОК

Configuration béto	n		×
 Type des valeur AN b Type de fonctio Poutres a Préco 	s sâtiment ✓ nnalité silvéolées ✓ ontrainte ✓	Standard EN Béton Général Armature précontrainte Armature précontrainte Durabilité et enrobage ELU Général Contrainte admissible Limitation des contraintes à l'ELS Dispositions constructives Dispositions constructives commu Poteaux Poures	 ELS Général Annexe nationale k3_crack - coefficient pour le calcul de Valeur [-] 3.40 k4_crack - coefficient pour le calcul de Valeur [-] 0.43 wmax - pour une structure non précont Valeur [mm] 0.3/0.4/0.4 Précontrainte Contrainte admissible Dispositions constructives
Tout	Rien	Régénérer	Charger défauts selon AN OK Annuler

L'utilisateur peut aussi manuellement saisir la valeur limite de l'ouverture de fissures dans les données béton d'éléments 1D :

3	
BARRE (1) > DONNÉES	BÉTON D'ÉLÉMENT 1D (1)
📾 🗲 Ij 📇 🖊 📥 🧨	
Effort tranchant dans l'axe Z (V _{Edz})	
CALCUL AS POUTRE, POTEAU, NERVURE, POUTRE	
Coefficient de majoration de l'armature statique	0.00
Coefficient de majoration de l'armature statique	0.00
CONVERSION EN BARRES D'ARMATURE	
Unifier l'armature supérieure sur appui intermé	\bigcirc
Longueur min. d'armature longitudinale [mm]	0
Nombre de barres corrigées (sections voisines)	\bigcirc
Type de zone pour l'armature de cisaillement co	Aucun 🗸
DIAGRAMME D'INTERACTION	
Méthode du diagramme d'interaction	NRdMRd 🗸
CISAILLEMENT	
Type de calcul/introduction de l'angle de la biell	Utilisateur (angle) 🗸 🗸
Angle de la bielle comprimée [deg]	40.00
Cotangente de l'angle de la bielle comprimée	1.19175359259421
CISAILLEMENT ENTRE L'ÂME ET LES AI	
Type de saisie de l'angle des bielles comprimées	Utilisateur (angle) 🗸 🗸
Angle des bielles comprimées [deg]	40.00
Cotangente de l'angle des bielles comprimées	1.19175359259421

TORSION	
Section fermée à parois minces équivalente	Automatique 🗸 🗸
LIMITATION DES CONTRAINTES	
Contrainte limite armatures	Auto 🗸
EFFORTS DE FISSURATION	
Type de résistance pour le calcul de l'effort de fi	f_{ctm} ~
Valeur de la résistance pour le calcul de l'effort	f_{ct,eff} ~
LARGEUR DE FISSURE	
Type d'ouverture de fissure maximale	Utilisateur 🗸 🗸
Ouverture de fissure personnalisée [mm]	0.300
FLÈCHES	
Coefficient de majoration de l'armature	1
Flèche totale maximale L/x; x =	250
ACTIONS >>>>	
Mettre à jour la largeur d'appui	

🔸 FLÈCHE

La vérification des flèches est effectuée selon l'article 7.4.3 de l'EN 1992-1-1.

Deux sortes de calcul de flèche sont possibles dans le logiciel :

- La méthode simplifiée où le calcul est fait deux fois, en supposant l'élément non fissuré puis entièrement fissuré, puis en interpolant par la formule 7.18 conformément à la clause 7.4.3(7). C'est la méthode utilisée par défaut.
- La CDD (Code Dependant Deflection = Flèche selon la norme). C'est la méthode la plus rigoureuse : le logiciel va calculer les courbures à différentes sections le long de l'élément et calculer la flèche par intégration numérique. Vous trouverez davantage d'informations sur cette méthode dans le chapitre sur la CDD.

La procédure de calcul pour la méthode simplifiée est décrite par les étapes suivantes :

- 1. Calcul de la rigidité à court-terme, en utilisant le module E à 28 jours.
- 2. Calcul de la rigidité à long-terme, en utilisant le module effectif E basé sur le coefficient de fluage.

Dans la version actuelle du logiciel, il n'est pas possible de distinguer la partie court-terme et long-terme de la charge dans une combinaison. Toutefois, certains prérequis ont été établis pour la détermination de la partie long-terme de la charge. La partie long-terme de la charge (pourcentage long-terme) est estimée à partir du type de combinaison. Il y a trois principales combinaisons ELS :

- ELS caractéristiques pourcentage long-terme = 70%
- ELS fréquentes pourcentage long-terme = 85%
- ELS quasi-permanentes pourcentage long-terme = 100%

Le coefficient de fluage est calculé par le logiciel en fonction de l'humidié relative, le nu extérieur de la section, le ratio de ferraillage, la classe de béton, etc. Il peut aussi être défini manuellement dans la « Configuration béton », dans la « Configuration complète », dans les « Options du solveur », dans « Général » et « Fluage et retrait » :

Vues: Configuration complète Paramètres d'affich Reprere défaut Chercher Annexe National defaut Description Symbole Val Défaut Uni Chapitre Norme Struct < tous> < tous < tous <tous< td=""> <tous< td=""> < to</tous<></tous<>		- 1									guration béton
Description Symbole Val Défaut Uni Chapitre Norme Struct <tous> <tous<< td=""> <tous> <tous< th=""><th>tionale:</th><th>ationale:</th><th>nnexe Nat</th><th>Ani</th><th>her:</th><th>Cherc</th><th></th><th>dre défaut</th><th>Repren</th><th>n 🔻</th><th>: Configuration complète 🛛 👻 Paramètres d'affic</th></tous<></tous></tous<<></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous></tous>	tionale:	ationale:	nnexe Nat	Ani	her:	Cherc		dre défaut	Repren	n 🔻	: Configuration complète 🛛 👻 Paramètres d'affic
<tous> <tous.< td=""> <tous.< td=""></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous.<></tous>	Type d	. Type d	Struct	S	Norme	Chapitre	Uni	Défaut	Val	Symbole	Description
 Paramètres de conception par défaut Ferraillage Enrobage minimum Option du solveur Général Valeur limite du contrôle unité Contr.li 1.0 1.0 1.0 Independent Tout (P Valeur du contrôle unité lorsque le contrôle n' Coefficient pour le calcul de la hauteur statiqu Coefficient pour le calcul du bras de levier inte Coefficient pour le calcul du bras de levier inte Coefficient pour la détermination de l'élément Type d'introduction du coefficient de fluage Type qv(t	<to <math="">{\cal O}</to>	> <to< td=""><td><to 0<="" td=""><td>P <</td><td><tous></tous></td><td><tous> D</tous></td><td></td><td><tou td="" 🔎<=""><td></td><td><tou <math="">\wp</tou></td><td>Q <zu< td=""></zu<></td></tou></td></to></td></to<>	<to 0<="" td=""><td>P <</td><td><tous></tous></td><td><tous> D</tous></td><td></td><td><tou td="" 🔎<=""><td></td><td><tou <math="">\wp</tou></td><td>Q <zu< td=""></zu<></td></tou></td></to>	P <	<tous></tous>	<tous> D</tous>		<tou td="" 🔎<=""><td></td><td><tou <math="">\wp</tou></td><td>Q <zu< td=""></zu<></td></tou>		<tou <math="">\wp</tou>	Q <zu< td=""></zu<>
 ▶ Ferraillage ▶ Enrobage minimum ▶ Général ▶ Valeur limite du contrôle unité lorsque le contrôle n' ▶ Coefficient pour le calcul de la hauteur statiqu ▶ Coefficient pour le calcul du bras de levier inte ▶ Coefficient pour le calcul du bras de levier inte ▶ Coefficient pour le calcul du bras de levier inte ▶ Coefficient pour la détermination de l'élément ▶ Coefficient pour la détermination de l'élément ▶ Enrobage et retrait ▶ Fuage et retrait ▶ Type d'introduction du coefficient de fluage ▶ Type d'introduction											Paramètres de conception par défaut
 Enrobage minimum Option du solveur Général Valeur limite du contrôle unité Contr.li 1.0 1.0											Ferraillage
• Option du solveur Independent Independent Tout (P) • Général Contr.li 1.0 1.0 Independent Tout (P) Valeur du contrôle unité lorsque le contrôle n' Contr.li 1.0 1.0 Independent Tout (P) Coefficient pour le calcul de la hauteur statique Coeff. 0.9 0.9 Independent Tout (P) Coefficient pour le calcul du bras de levier inte Coeff. 0.9 0.9 Independent Tout (P) Coefficient pour le calcul du bras de levier inte Coeff. 0.9 0.9 Independent Tout (P) Coefficient pour la détermination de l'élément Coeff. 0.9 0.9 Independent Tout (P) Coefficient pour la détermination de l'élément Coeff. 0.9 0.9 Independent Tout (P) Coefficient pour la détermination de l'élément Coeff. 0.9 0.9 Independent Tout (P) Mage du béton à l'instant considéré t 1825 1825 1825 1825 1.14.B.1-2 EN 1992-1-1 Tout (P) Age du béton à la mise en charge											Enrobage minimum
Sénéral Independent Court.li 1.0 <th< td=""><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>Option du solveur</td></th<>											Option du solveur
Valeur limite du contrôle unité Contr.lim. 1.0 1.0 1.0 Independen Tout (P Valeur du contrôle unité lorsque le contrôle n Contr.Nca 3.0 3.0 Independen Tout (P Coefficient pour le calcul de la hauteur statique Coeff ₂ 0.9 0.9 Independen Tout (P Coefficient pour le calcul du bras de levier inte Coeff ₂ 0.9 0.9 Independen Tout (P Coefficient pour la détermination de l'élément Coeff ₀ 0.9 0.9 Independen Tout (P Coefficient pour la détermination de l'élément Coeff ₀ 0.9 0.9 Independen Tout (P Coefficient pour la détermination de l'élément Coeff ₀ 0.1 0.1 Independen Tout (P Age du béton à l'instant considéré t 1825 1825.00 jour 3.1.4.B.1.2 EN 1992-1.1 Tout (P Humidité relative RH 50 50 % 3.1.4(2) EN 1992-1.1 Tout (P Age du béton à la mise en charge to Auto s.1.4(2) S.1.4(2) EN 1992-1.1 Tout (P </td <td></td> <td>∡ Général</td>											∡ Général
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Option	. Option	Tout (P	ent To	Independen			1.0	1.0	Contr.li	Valeur limite du contrôle unité
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Option	. Option	Fout (P	ent To	Independen			3.0	3.0	Contr.Ncal	Valeur du contrôle unité lorsque le contrôle n'
Coefficient pour le calcul du bras de levier inte Coeffic 9.9 9.9 9.9 9.9 9.9 9.9 9.9 9.9 9.9 9.9 9.9 9.9 9.9 9.9 9.9 9.9 9.9 9.9 9.0<	Option	. Option	Tout (P	ent To	Independen			0.9	0.9	Coeff _d	Coefficient pour le calcul de la hauteur statiqu
Coefficient pour la détermination de l'élément Coefficient pour la détermination de l'élément Coefficient pour la détermination de l'élément Out Independent Tout (P Image: Pour la détermination de l'élément Coefficient pour la détermination de l'élément Coefficient pour la détermination de l'élément Out Image: Pour la détermination de l'élément Image: Pour la détermination Image: Pou	Option	. Option	Fout (P	ent To	Independen			0.9	0.9	Coeff _z	Coefficient pour le calcul du bras de levier inte
Fluze erretrait fe	Option	. Option	Fout (P	ent To	Independen			0.1	0.1	Coeff _{com}	Coefficient pour la détermination de l'élément
Age du béton à l'instant considéré t 1825 18250.00 jour 3.1.4.B.12 EN 1992-1-1 Tout (P Humidité relative RH 50 50 % 3.1.4.B.12 EN 1992-1-1 Tout (P Type d'introduction du coefficient de fluge Type q(t Aut Aut Aut 3.1.4(2) EN 1992-1-1 Tout (P Age du béton à la mise en charge to Aut Aut Mat S S B.1.992-1-1 Tout (P Age du béton à la mise en charge to Aut Aut S S B.1.992-1-1 Tout (P Age du béton au début du retrait de séch Type sest Jour 3.1.4(2).B1 EN 1992-1-1 Tout (P Age du béton au début du retrait de séch Type sest Jour 3.1.4(2).B1 EN 1992-1-1 Tout (P Age du béton au début du retrait de séch ts 7.00 Jour 3.1.4(6).B2 EN 1992-1-1 Tout (P Age du béton au début du retrait de séch ts 7.00 Jour 3.1.4(6).B2 EN 1992-1-1 Tout (P Age du béton au début du retrait de séch											Fluage et retrait
Humidité relative RH 50 50 % 3.1.4.B.12 EN 1992-1-1 Tout (P Type d'introduction du coefficient de fluage Type q(t Aut Auto 50 3.1.4(2) EN 1992-1-1 Tout (P Age du béton à la mise en charge to Auto Juit 3.1.4(2) EN 1992-1-1 Tout (P Tenir compte du séchage et du retrait dato Type s _{col} (1) Valeur utilisation 3.1.4(2) EN 1992-1-1 Tout (P Age du béton au début du retrait de séch ts 7.00 Jour 3.1.4(6),B2 EN 1992-1-1 Tout (P Age du béton au début du retrait de séch ts 7.00 Jour 3.1.4(6),B2 EN 1992-1-1 Tout (P Age du béton au début du retrait de séch ts 7.00 Jour 3.1.4(6),B2 EN 1992-1-1 Tout (P Age du béton au début du retrait de séch ts 7.00 Jour 3.1.4(6),B2 EN 1992-1-1 Tout (P	Option	. Option	Fout (P	-1 To	EN 1992-1-1	3.1.4.B.1-2	jour	18250.00	1825	t	Age du béton à l'instant considéré
Type d'introduction du coefficient de fluage Type φ(t Aut Auto S.1.4(2) EN 1992-1-1 Tout (P Age du béton à la mise en charge to Auto jour 3.1.4(2) EN 1992-1-1 Tout (P Tenir compte du séchage et du retrait auto Type ε _{ses} (t Valeur utilisateur 3.1.4(2) EN 1992-1-1 Tout (P Age du béton au début du retrait de séch Type ε _{ses} (t Valeur utilisateur 3.1.4(6) EN 1992-1-1 Tout (P Age du béton au début du retrait de séch ts 7.00 jour 3.1.4(6),B2 EN 1992-1-1 Tout (P Age du béton au début du retrait de séch ts 7.00 jour 3.1.4(6),B2 EN 1992-1-1 Tout (P	Option	. Option	Fout (P	1 To	EN 1992-1-1	3.1.4.B.1-2	%	50	50	RH	Humidité relative
Age du béton à la mise en charge to Auto jour 3.1.4(2),B1 EN 1992-1-1 Tout (P Tenir compte du séchage et du retrait auto Type ε _{co} (t Valeur utilisateur 3.1.4(c),B1 EN 1992-1-1 Tout (P Age du béton au début du retrait de séch ts 7.00 7.00 jour 3.1.4(c),B2 EN 1992-1-1 Tout (P Age du béton au début du retrait de séch ts 7.00 7.00 jour 3.1.4(c),B2 EN 1992-1-1 Tout (P	Option	. Option	Fout (P	-1 To	EN 1992-1-1	3.1.4(2)		Auto	Aut 🔺	Type q (t	 Type d'introduction du coefficient de fluage
Tenir compte du séchage et du retrait auto Type ε _{cs} (t/Valeur utilisateur) 3.1.4(6) EN 1992-1-1 Tout (P Age du béton au début du retrait de séch ts 7.00 jour 3.1.4(6),B2 EN 1992-1-1 Tout (P ▲ ELS LS LS </td <td>Option</td> <td>. Option</td> <td>Fout (P</td> <td>-1 To</td> <td>EN 1992-1-1</td> <td>3.1.4(2),B1</td> <td>jour</td> <td></td> <td>Auto</td> <td>t₀</td> <td>Age du béton à la mise en charge</td>	Option	. Option	Fout (P	-1 To	EN 1992-1-1	3.1.4(2),B1	jour		Auto	t ₀	Age du béton à la mise en charge
Age du béton au début du retrait de séch ts 7.00 jour 3.1.4(6),B2 EN 1992-1-1 Tout (P Image: Age du béton au début du retrait de séch ts Tout (P <	Option	. Option	Fout (P	-1 To	EN 1992-1-1	3.1.4(6)		utilisateur	Valeur	Type s _{cs} (t	Tenir compte du séchage et du retrait auto
4 ELS	Option	. Option	Fout (P	-1 To	EN 1992-1-1	3.1.4(6),B2	jour	7.00	7.00	t _s	Age du béton au début du retrait de séch
											▲ ELS
Iltiliser le module effectif du héton 7 1/2) EN 1962-1-1 Tout (D	Ontion	Ontion	Lout (D	1 T/	EN 1997-1-1	7 1(2)					Utiliser le module effectif du héton

3. Calcul des ratios de rigidité entre chaque état, court et long terme.

C'est le ratio de la rigidité linéaire du béton divisé par la rigidité résultante qui tient compte de la fissuration. Le calcul de la rigidité résultante est basée sur la clause 7.4.3(3), formule 7.18 :

Rigidité de flexion autour de l'axe y : $(EI_y) = 1/[\zeta/(EI_y)_{II} + (1-\zeta)/(EI_y)_I]$ Rigidité de flexion autour de l'axe z : $(EI_z) = 1/[\zeta/(EI_z)_{II} + (1-\zeta)/(EI_z)_I]$ Rigidité axiale : $(EA) = 1/[\zeta/(EA)_{II} + (1-\zeta)/(EA)_I]$

Dans cette formule, $(EI)_I$ est la rigidité linéaire, $(EI)_{II}$ est la rigidité de l'élément fissuré (= rigidité long-terme = $E_{Iin} / 1 + \phi$) et ζ est le coefficient de répartition.

$$\zeta = 1 - \beta \cdot \left(\frac{\sigma_{\rm sr}}{\sigma_{\rm s}}\right)^2$$

Ratio = Rigidité_{lin} / Rigidité_{res}, par exemple ratio_{uz} = El_{z,lin} / El_{z,res}

4. Calcul des composants de flèche

Plusieurs composantes sont nécessaires pour calculer la flèche totale et additionnelle.

Dans la suite de ce paragraphe, on notera « s » pour court-terme (« short ») et « l » pour long-terme (« long »).

Les composantes sont :

-	La flèche linéaire (élastique)	
		$\delta_{lin} = \delta_{lin,s} + \delta_{lin,l}$
-	La flèche immédiate	
		$\delta_{imm} = \delta_{lin,l} * ratio_s$
-	La flèche à court-terme	
		$\delta_{\rm s} = \delta_{\rm lin,s} * {\rm ratio}_{\rm s}$
-	La fieche a long-terme et due au f	luage
	La flàcha des au flacada	$\delta_{l,fluage} = \delta_{lin,l} * ratio_{l}$
-	La fieche due au fluage	
	0	$fluage = o_{lin,l} * (ratio_l - ratio_s)$
-	La fieche a long-terme	2 2 2
		$o_{l} = o_{l,fluage} - o_{fluage}$
-	La neche additionnelle	2 2 2 2
	l o flècho totolo	$o_{add} = o_s + o_{l,fluage} - o_{imm}$
-		2 - 2 - 2
		$o_{tot} = o_s + o_{l,fluage}$

4. Contrôle de la flèche

Deux flèches sont vérifiées :

- La flèche totale : l'apparence et l'utilité générale de la structure pourrait être dépréciée lorsque le fléchissement calculé d'une poutre, dalle ou porte-à-faux soumis aux charges quasipermanentes excède la portée / 250. - La flèche additionnelle : les flèches qui pourraient endommager les parties adjacentes de la structure doivent être limitées :

$$\delta_{add.lim} = L/500$$

L est la longueur de flambement de l'élément multiplié par un coefficient β dans la direction correspondante.

Le contrôle unité final est :

$$\text{Contrôle unité} = \max\left\{\frac{\delta_{\text{tot}}}{\delta_{\text{tot,lim}}}; \frac{\delta_{\text{add}}}{\delta_{\text{add,lim}}}\right\}$$

Les limites de flèche peuvent être modifiées dans la « Configuration béton », dans la « Configuration complète », dans les « Options du solveur » et « Flèche » :

Co	nfigu	uration béton									×
Vu	es :	Configuration complète 🛛 👻 Paramètres d'affich 👻	Reprendre dé	faut	Chercher			,	Annexe Natio	onale: 👔	
	De	escription	Symbole	Valeur	Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Structure	Type de	
<	ous	م م	<tous></tous>	<tous></tous>	<tous> 🔎</tous>	<	<tous> ρ</tous>	<tous></tous>	<tou td="" 🔎<=""><td><tous> D</tous></td><td></td></tou>	<tous> D</tous>	
	Pa	ramètres de conception par défaut									
	Þ	Ferraillage									
	Þ	Enrobage minimum									
	Op	ntion du solveur									
	Þ	Général									
	⊳	Efforts internes									
	₽	Calcul As									
	⊳	Conversion en barres d'armature									
	Þ	Diagramme d'interaction									
	₽	Cisaillement									
	₽	Torsion			-						>>
	Þ	Limitation des contraintes									
	₽	Efforts de fissuration									
	₽	Ouverture de fissure									
	1	Flèches									
		Coefficient de majoration de l'armature	Coeffreinf	1.0	1.0			Independent	Tout (Po	Option d	
		Flèche totale maximale L/x; x =	×tot	250.0	250.0		7.4.1(4)	EN 1992-1-1	1D (Pout	Option d	
		Flèche additionnelle maximale L/x; x =	Xadd	500.0	500.0		7.4.1(5)	EN 1992-1-1	1D (Pout	Option d	
		Type de coefficient de charge variable pour la génération		Utiliser coeffi	Utiliser co			Independent	Tout (Po	Option d	
	Þ	Dispositions constructives		-							
									ОК	Annu	ler

Exemple : « 3.2.6 – Ferraillage pratique – Controle.esa »

Regardons le contrôle de la flèche sous les combinaisons ELS QP.

Différents résultats peuvent être affichés à l'écran : le contrôle unité, les flèches totales et additionnelles ou les limites pour les flèches totales et additionnelles.

La sortie standard pour le contrôle unité à la position dx = 2,25m, donne les résultats suivants (dans SCS):

Type de flèche	Ratio court [-]	Ratio long [-]	δ _{lin} [mm]	δ _{imm} [mm]	δ _{add} [mm]	δ _{short} [mm]	δ _{long} [mm]	δ _{long+creep} [mm]	δ _{creep} [mm]
uy	2.91	5.25	0	0	0	0	0	0	(
uz	2.52	3.39	-3.47	-6.12	-4.73	-2.62	-6.12	-8.23	-2.11

Contrôle des flèches supplémentaires et totales

Type de flèche	L [m]	δ _{add} [mm]	δ _{add,lim} [mm]	UC _{add} [-]	δ _{tot} [mm]	δ _{tot,lim} [mm]	UC _{tot}	CU [-]	Limite [-]	Statut
u _y	10	0	0	0	0	0	0	0	1	ОК
uz	5	-4.73	-10	0.47	-10.9	-20	0.54	0.54	1	OK

Tous les ratios de rigidités et les composants de la flèche sont résumés dans un tableau.

La sortie détaillée pour le contrôle unité à la même position dx = 2,25m, donne le détail de toutes les étapes mentionnées précédemment pour le calcul des flèches.

Par exemple, pour la rigidité à long-terme, on peut voir la partie long-terme du chargement et le coefficient de fluage calculé :

Long-terme rigidités et courbures sous chargement total

Configuration

Part à long terme de la charge appliquée = 70% Coefficient de fluage $\phi = 2.214$

Les propriétés de section non fissurée (état I) et fissurée (II) sont également disponibles dans un tableau :

Type d'	t _y	tz	A	ly 4	Iz	Xi	A _{st}	A _{sc}	A	5 2
linésia	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	լայ	U	mj
Lineaire	0	0	0.15	3.13.10	1.13.10	0.25	-		-6	-
Non fissurée	0	-0.019	0.193	4.69.10	1.35.10-3	0.27	1.57.10-5	628-10	2.2	·10 ⁻⁵
Fissuré	0	0.053	0.102	2.89·10 ⁻³	667·10 ⁻⁶	0.197	1.57·10 ⁻³	628·10	⁻⁶ 2.2	·10 ⁻³
$\sigma_{ct} = 8.3$	5 MPa									
Contrôle de	es co	ntrain	tes de	béton e	t calcul d	es eff	orts de	fissura	ation	
	E MD-	ue u acut	Ji udils	le beton						
0 _{ct} = 0.5	JIVITA									
at de fissurati	on									
$\sigma_{ct} > f_{ct,e}$	eff = 8.3	35 MPa :	> 2.9 MI	Pa => Des	s fissures app	oaraisse	nt.			
ntrainte dans	s l'arma	ature sou	is charg	e de fissura	ation					
$\sigma_{\rm sr} = 99.$	3 MPa									
ntrainte dans	s l'arma	ature sou	us charg	e appliqué	е					
$\sigma_s = 282$	MPa									
efficient de d	listribu	ition								
ζ = max	0;1 - ($3 \cdot \left(\frac{\sigma_{\rm sr}}{\sigma_{\rm s}}\right)$	$= \max$	0;1 - 0.5	$\left(\frac{99.3}{282}\right)^2 = 0$	0.938				
N _{cr} , M _{y,ar}	M _{z,c}	r σ ct	f	eff Sec	tion fissuré	σ _{sr}	σs	β	ζ	Ec
[kN] [kNm]	[kN	m] [M	Pa] [N	/IPa]		[M	Pa] [MPa] [-]	[-]	[GP
0 59.6		0 8	3.35	2.9	OUI	9	9.3 28	2 0.5	0.938	10.

Cela permet de calculer le ratio de rigidité, notamment le ratio de rigidité en flexion :



Et les ratios finaux à court et long-terme :



Puis toutes les composantes de flèche sont calculées ensemble avec les limites de flèche :

Flèche à long terme $\delta_{long.y} = \delta_{long.creep.y} - \delta_{creep.y} = 0 - 0 = 0 \ mm$ Flèche linéaire $\delta_{long,z} = \delta_{long,creep,z} - \delta_{creep,z} = -8.23 - -2.11 = -6.12 \text{ mm}$ $\delta_{\text{lin},y} = u_{ys} + u_{yl} = 0 + 0 = 0 \text{ mm}$ $\delta_{\text{linz}} = u_{zs} + u_{zl} = -1.04 + -2.43 = -3.47 \text{ mm}$ Flèche additionnelle $\delta_{add,y} = \delta_{short,y} + \delta_{long,creep,y} - \delta_{imm,y} = 0 + 0 - 0 = 0 \ mm$ Flèche immédiate $\delta_{add,z} = \delta_{short,z} + \delta_{long,creep,z} - \delta_{imm,z} = -2.62 + -8.23 - -6.12 = -4.73 \text{ mm}$ $\delta_{imm,y} = u_{yl} \cdot ratio_{uys} = 0 \cdot 2.91 = 0 \text{ mm}$ $\delta_{imm,z} = u_{zl} \cdot ratio_{uzs} = -2.43 \cdot 2.52 = -6.12 \text{ mm}$ Flèche additionnelle limite $\delta_{add,lim,y} = 0 \text{ mm}$ Flèche à court terme $\delta_{add,lim,z} = \frac{-l_{0z}}{Lim_{add}} = \frac{-5}{500} = -10 \text{ mm}$ $\delta_{short.v} = u_{vs} \cdot ratio_{uvs} = 0 \cdot 2.91 = 0 \text{ mm}$ $\delta_{short,z} = u_{zs} \cdot ratio_{uzs} = -1.04 \cdot 2.52 = -2.62 \text{ mm}$ **Flèche totale** Flèche à long terme + fluage $\delta_{tot,y} = \delta_{short,y} + \delta_{long,creep,y} = 0 + 0 = 0 \text{ mm}$ $\delta_{long,creep,y} = u_{yl} \cdot ratio_{uyl} = 0 \cdot 5.25 = 0 \text{ mm}$ $\delta_{tot,z} = \delta_{short,z} + \delta_{long,creep,z} = -2.62 + -8.23 = -10.8 \text{ mm}$ $\delta_{\text{long,creep,z}} = u_{zl} \cdot ratio_{uzl} = -2.43 \cdot 3.39 = -8.23 \text{ mm}$ Flèche totale limite Flèche due au fluage

 $\delta_{creep,y} = u_{yl} \cdot (ratio_{uyl} - ratio_{uys}) = 0 \cdot (5.25 - 2.91) = 0 \text{ mm}$ $\delta_{creep,z} = u_{zl} \cdot (ratio_{uzl} - ratio_{uzs}) = -2.43 \cdot (3.39 - 2.52) = -2.11 \text{ mm}$

 $\delta_{tot,lim,y} = 0 \text{ mm}$ $\delta_{tot,lim,z} = \frac{-I_{0z}}{Lim_{tot}} = \frac{-5}{250} = -20 \text{ mm}$

Les limitations du contrôle de flèche sont les suivantes :

- La déformation due au retrait n'est pas automatiquement prise en compte.
- La vérification basée sur la limitation du rapport portée / hauteur conformément à l'article 7.4.2 n'est pas implémentée.
- Le calcul de la flèche dépend des efforts internes utilisés pour la rigidité réduite. C'est pourquoi le contrôle de la flèche ne fonctionne pas pour les cas où les efforts internes sont égaux à zéro mais les flèches sont non nulles. Typiquement, c'est le cas pour une structure en porte à faux avec un bord libre.

4 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

SCIA Engineer distingue 3 types d'éléments avec leurs dispositions constructives :

- Poutre : vérification du ferraillage longitudinal et d'effort tranchant
- Poteau : vérification du ferraillage principal et transversal
- Poutre-dalle : vérification du ferraillage longitudinal uniquement

Toutes les dispositions constructives sont prises en compte automatiquement dans la « Configuration béton », dans la « Configuration complète », dans les « Options du solveur » et « Dispositions constructives » :

. (Configuration complète 🛛 👻	Paramètres d'affich 🔻	Reprend	lre dé	faut		Chercher	r				Annexe Natio	onale: ()
Des	cription		Symbo	le	Valeur		Défaut	Unit	é Cha	pitre	Norme	Structure	Type de
is>		2	<tous></tous>	P	<tous></tous>	P	<tous></tous>	0 <)	<tou< th=""><th>15> 0</th><th><tous></tous></th><th><tou)<="" th=""><th><tous> D</tous></th></tou></th></tou<>	15> 0	<tous></tous>	<tou)<="" th=""><th><tous> D</tous></th></tou>	<tous> D</tous>
ar	amètres de conception par dé	faut											
Þ	Ferraillage												
Þ	Enrobage minimum												
)pt	ion du solveur												
>	Général												
>	Efforts internes												
⊳	Calcul As												
>	Conversion en barres d'arma	ture											
>	Diagramme d'interaction												
>	Cisaillement												
	Torsion												
	Limitation des contraintes												
> _	Efforts de fissuration												
▶ _	Ouverture de fissure												
Þ	Flèches					_							
4	Dispositions constructives		_					_	_				
	Poutre / Nervure				8	-							
	Longitudinal				8	-	_						
	Contrôle de l'espace	ment minimal des barres				-	<u>×</u>		8.2(2)	EN 1992-1-1	Poutre,N	Option d
	Distance minimale	e entre barres	SIb,min		20	-	20	mm	8.2(2)	EN 1992-1-1	Poutre,N	Option d
	Controle de l'espace	ment maximal des barres			<u> </u>	-		_		/ •1	Independent	Poutre,N	Option d
	Controle de l'espace	ment maximal des barres (tors.			250	-+	250		9.2.3	(4)	EN 1992-1-1	Poutre,N	Option d
	Espacement maxi	mat des barres (torsion)	Sibt, max		350	-	350	mm	9.2.3	(4)	EN 1992-1-1	Poutre,N	Option d
	Controle de la sectio	n minimale d'armature		_		-		_	9.2.1	1(1)	EN 1992-1-1	Poutre,N	Option d
	Contrôle de la sectio	in minimale d'armature pour t	•	_		-			9.2.1	1(2)	EN 1992-1-1	Poutre N	Option d
	Ftriers	a maximate u armature				-	<u></u>	_	9.2.1	.1(3)	14 1992-1-1	Pour e,N	option d
	Contrôle du diamètr	e minimal du mandrin				-		_	8.3(2)	EN 1992-1-1	Poutre N	Option d
	Contrôle de l'espace	ment longitudinal maximal (ef				-			9.2.2	(6)	EN 1992-1-1	Poutre.N	Option d
	Contrôle de l'espace	ment longitudinal maximal (to				-			9.2.3	(3)	EN 1992-1-1	Poutre.N	Option d
	Contrôle espacemen	it transversal maximal				-			9.2.2	(8)	EN 1992-1-1	Poutre.N.	Option d
	Contrôle taux min. é	triers		_					9.2.2	(5)	EN 1992-1-1	Poutre.N.	Option d
-	Poutre-dalle			-						/			
	D Poteau					_					1		

Le tableau ci-après présente les différentes vérifications de dispositions constructives qui peuvent être effectuées :

Type d'élément	Longitudinal (principal)	Cisaillement (transversal)				
	8.2(2) – Espacement net minimal des barres	6.2.3(3) – Pourcentage maximal d'armatures d'effort tranchant				
	9.2.1.1(1) – Section d'acier longitudinale minimale	9.2.2(5) – Pourcentage minimal d'armatures d'effort tranchant				
Poutre	9.2.1.1(3) – Section d'acier longitudinale maximale	9.2.2(6) – Espacement longitudinal maximal des étriers (cisaillement)				
	9.2.3(4) – Distance maximale, centre à centre, des armatures de torsion	9.2.2(8) – Espacement transversal maxima des étriers (cisaillement)				
	Indépendant de la norme – Espacement net maximal	9.2.3(3) – Espacement longitudinal maximal des étriers (torsion)				
	8.2(2) – Espacement net minimal des barres					
	9.5.2(1) – Diamètre minimal des barres longitudinales	9.2.3(3) – Espacement longitudinal maximal des étriers (torsion)				
Poteau	9.5.2(2) – Section minimale des barres longitudinales	9.5.3(1) – Diamètre minimal des armatures transversales				
	9.5.2(3) – Section maximale des barres longitudinales	9.5.3(3) – Espacement longitudinal maximal des armatures transversales				
	9.5.2(4) – Nombre minimal des barres longitudinales					
Doutro Dollo	8.2(2) – Espacement net minimal des barres	-				
Foulle-Dalle	9.3.1.1(3) – Distance maximale des barres longitudinales					

4 CONTRÔLE DE SECTION

L'outil « Contrôle en section » peut être utilisé de deux manières différentes : avec ou sans un ferraillage pratique défini au préalable.

Le contrôle de section peut être lancé :

- ifi) 援 PÉSULTATS (1) ∩× Filtre Nor UC 上 本 本' C' 加 ~ C 近 唱' + ' 出 母' 17 N N DESSIN 1D N DES ERREURS, AVERTISSEMENTS ET lel D... 🔿 ACTIONS >>>> F5 Nouvelle co on à nartir de l trôle en Section 0 tion note d R **@** ~ 11 111 CONTRÔLE DE CI LLEMENT ET TORSION ELU DES ÉLÉMENTS 1D BÉTON *************** 🕅 🞯 📚 💰 M 1
- Dans la fenêtre de propriétés pour un contrôle individuel



- Dans la fenêtre de propriétés pour les résultats du contrôle en section

⇒ Avec ferraillage pratique

Exemple : « 3.2.6 – SCS – Avec ferraillage pratique.esa »

Le contrôle en section peut être ouvert à partir de tous les contrôles individuels.

Dans cet exemple, cliquer dans le poste de travail « Béton » sur l'icône « Résultats du contrôle de section ». Dans le panneau de propriétés, choisir le contrôle « Limitation des contraintes » sous les combinaisons ELS et cliquer sur l'action « Contrôle en section ».

Sélectionner la poutre et cliquer ensuite sur la position pour laquelle le contrôle doit être effectué. Par exemple, choisir ici la section 26 au milieu de la poutre :



L'outil « Contrôle en section » s'ouvre alors automatiquement :

	Contrôle en	section (outil)	
Début			
	Restaurer Inregistrer Annuler par défauit & termer		
Armatures longitudinales Etners	Appreation		Provide
Section Into	Note de calcul	Malaura da assocializa	Controle Many Malays Class
La 😝 🌐 Dimension de la grille: 100 mm / 4	Standard Extrême : SLS/2 [SLS]	0,89 🗸	Efforts interner (controlla)
10 ¹⁰ - 101 - 101 - 101 - 102 - 102		×	Rénnose en canacité (FLI)
			Diagramme de capacité (ELU)
20 0 0 0 0 20	Section SC1	RECT (500; 300)	Effort tranchant + Torsion (ELU)
	EN 1992-1-1:2004/A1:2014	Poutre S1 [dx = 5 m]	Limitation des contraintes (EL0.89 🖌
100 100	Longueur élément: L = 10 m E	Séton: C30/37	Ouverture des fissures (ELS)
	Flambement z-z ^{\perp} L _z = 10 m (fixe)	Classe d'exposition: XC3	Flèche (ELS)
0 0	*	erraillage longitudinal: B 500A	Dispositions constructives
	5ø20 (1571 mm2)	Br-lineaire avec une branche superieure inclinee	Extrême
-100		ρ _i = 1,466 % (17.3 kg/m)	Nom Valeur Etat
		erraillage de cisaillement: B 500A	🗉 SLS/2 (SLS) 0,89 💉
-20 -20	。 ⁴	Bi-linéaire avec une branche superieure inclinée	⊛ SLS/1 (SLS)
Aucure Specific Constraints and Constraints and Constraints Aucure Specific Constraints and Constraints and Constraints Aucure Specific Constraints (Constraints)	2620 (628 mm.2)	o, o 0,525 % (12.4 kg/m) introbage (detien) Hatu: 36 mm Inférieur: 36 mm Gauche: 36 mm Droite: 36 mm	
	300 2ø10/100		
	Molfordian de la Consedian de la continu		
	Charge Time de la fissuration de la section	a h 4 Firstand	
	module [MPa] [kNii] [kNii] [kNii]	[MPa] [mm] [MPa] apparaissent.	
	Court E _c 0 Car. 0 -134 0	8.99 500 2.9 OUI	
	Limite de contrainte du béton		
	Type de contrôle Charge N _{td} M _{tdy} M _{tdz} y _i	\mathbf{z}_i $\boldsymbol{\sigma}_c$ $\boldsymbol{\sigma}_{c,lim}$ $\boldsymbol{\sigma}_c/\boldsymbol{\sigma}_{c,lim}$ Statut	
	Ichii (Ichim) [Ichim]	[mm] [MDs] [ADs] [.]	Provide the second s
			Satisfait 0,89 🗸
Prét			

Cette fenêtre est composée de 3 parties principales :

- Définition / modification du ferraillage
- Aperçu de la note
- Contrôles à effectuer sur les combinaisons ou cas de charges sélectionnés. Par défaut, seul le contrôle individuel sélectionné sera effectué, mais l'utilisateur peut en activer davantage s'il le souhaite.

Lorsqu'une combinaisons ELS est sélectionné dans le panneau de propriétés, seuls les contrôles ELS seront disponibles.

Lorsqu'une combinaisons ELU est sélectionné dans le panneau de propriétés, seuls les contrôles ELU seront disponibles.

Dans cet exemple, la limitation des contraintes béton passe à 89%. Pour abaisser ce taux de travail, on pourrait modifier le ferraillage longitudinal. Cela peut se faire en modifiant le ferraillage pratique / utilisateur ou bien en adaptant localement le ferraillage dans la section étudiée (ici la section 26). On va ici adapter le ferraillage dans l'outil de contrôle de section directement.

Lorsqu'un ferraillage pratique / utilisateur a déjà été défini, il peut être édité et modifié dans « Ferraillage « libre » :



Chaque barre présente, position et diamètre, est listée dans le tableau. Ces données peuvent être modifiées, supprimées ou bien de nouvelles barres peuvent être ajoutées.

Augmenter le diamètre des armatures supérieures B0, B1, B4, B5 et N6 de 20 à 25mm :



⇒ Sans ferraillage pratique

Exemple : « 3.2.6 – SCS – Sans ferraillage pratique.esa »

Lorsqu'aucun ferraillage pratique / utilisateur n'a été défini au préalable, il est possible de lancer l'outil de contrôle en section pour contrôle une section particulière d'un élément avec un ferraillage local sur cette section.

Dans cet exemple, cliquer dans le poste de travail « Béton » sur l'icône « Résultats du contrôle de section ». Dans le panneau de propriétés, choisir les combinaisons ELU pour effectuer les contrôles ELU :

Nom SÉLECTION Type de sélection CAS DE RÉSULTAT Type de charge Combinaison CONFIGURATION DES SORTIES Sorties Imprimer la clef des combinaisons Imprimer les contrôles par section CONTRÔLES Réponse en capacité (ELU) Diagramme de capacité (ELU)	ontrôle en Section - résultats
 SÉLECTION Type de sélection CAS DE RÉSULTAT Type de charge Combinaison CONFIGURATION DES SORTIES Sorties Imprimer la clef des combinaisons Imprimer les contrôles par section CONTRÔLES Réponse en capacité (ELU) Diagramme de capacité (ELU) 	out v ombinaisons v U v ref v V
Type de sélection ✓ CAS DE RÉSULTAT Type de charge Combinaison ✓ CONFIGURATION DES SORTIES Sorties Imprimer la clef des combinaisons Imprimer les contrôles par section ✓ CONTRÔLES Réponse en capacité (ELU) Diagramme de capacité (ELU) Cífic te trabel ou Factoria	oput v ombinaisons v ref v ov
 CAS DE RÉSULTAT Type de charge Combinaison CONFIGURATION DES SORTIES Sorties Imprimer la clef des combinaisons Imprimer les contrôles par section CONTRÔLES Réponse en capacité (ELU) Diagramme de capacité (ELU) 	ref
Type de charge Combinaison CONFIGURATION DES SORTIES Sorties Imprimer la clef des combinaisons Imprimer les contrôles par section CONTRÔLES Réponse en capacité (ELU) Diagramme de capacité (ELU)	ombinaisons U V V V V V V V V V V V V V V V V V V
Combinaison CONFIGURATION DES SORTIES Sorties Imprimer la clef des combinaisons Imprimer les contrôles par section CONTRÔLES Réponse en capacité (ELU) Diagramme de capacité (ELU)	U v
 CONFIGURATION DES SORTIES Sorties Imprimer la clef des combinaisons Imprimer les contrôles par section CONTRÔLES Réponse en capacité (ELU) Diagramme de capacité (ELU) 	ref 🗸
Sorties Imprimer la clef des combinaisons Imprimer les contrôles par section ▼ CONTRÔLES Réponse en capacité (ELU) Diagramme de capacité (ELU)	ref √ ⊘
Imprimer la clef des combinaisons Imprimer les contrôles par section ▼ CONTRÔLES Réponse en capacité (ELU) Diagramme de capacité (ELU)	 ⊘
Imprimer les contrôles par section ▼ CONTRÔLES Réponse en capacité (ELU) Diagramme de capacité (ELU)	0
✓ CONTRÔLES Réponse en capacité (ELU) Diagramme de capacité (ELU) Cíf et la capacité (ELU)	
Réponse en capacité (ELU) Diagramme de capacité (ELU)	
Diagramme de capacité (ELU)	\odot
Effort tranchant+lorsion (ELU)	⊘
Disposition constructive	
ACTIONS >>>>	
👸 Régénérer	F5
S Contrôle en Section	
Tableau des résultats	

Sélectionner la poutre et cliquer ensuite sur la position pour laquelle le contrôle doit être effectué. Par exemple, choisir ici la section 9 au milieu de la première travée de la poutre.

Tous les contrôles ne sont pas satisfaits, et le contrôle unité est à 3. La valeur 3 signifie que le contrôle ne peut pas être effectué à cause d'une erreur dans le calcul. Dans ce cas précis, c'est parce qu'il n'y a pas encore de ferraillage.

Il faut donc insérer un ferraillage. Pour commencer, il faut choisir un gabarit :

Début					
			())		 + +
	Armatures longi	tudinales		Etriers	

Puis modifier le diamètre dans le gabarit de ferraillage. Pour les barres longitudinales inférieures, changer le diamètre de 20mm dans l'onglet « Ferraillage (disposition) » :



A noter qu'il est également possible de définir le ferraillage d'effort tranchant dans cette fenêtre.



Les résultats pour tous les contrôles ELU sont désormais les suivants :

Une fois que la section est ferraillée et que les contrôles sont satisfaits, l'utilisateur peut sauvegarder le calcul de sa section avec l'option « Enregistrer et fermer » :



Une étiquette sera alors affichée sur la poutre :



Il est possible de lancer le contrôle de section pour les combinaisons ELS comme suit :



Si nécessaire, l'outil « Contrôle en section » peut également être ouvert pour recalculer la section pour satisfaire les contrôles ELS.

3.3. Calcul de poteau

3.3.1. Méthodes de calcul de ferraillage

Pour le calcul des poteaux, il y a trois types de calcul :

- Compression seule
- Flexion uniaxiale
- Flexion biaxiale

Lorsqu'on regarde d'un peu plus près le calcul des poteaux, deux différentes approches peuvent se distinguer :

- En « compression seule » et « flexion uniaxiale », SCIA Engineer utilise le même cœur de calcul que pour les poutres.
- En « flexion biaxiale », SCIA Engineer combine le cœur de calcul des poutres avec les formules d'interaction.

Aussi, le calcul en flexion uniaxiale a toujours comme résultat une configuration de ferraillage dans une direction, avec le même nombre de barres de ferraillage sur les bords parallèles.

Le calcul en flexion biaxiale a comme résultat une configuration de ferraillage dans 2 directions. Le nombre de barres peut être différent par direction, mais est toujours le même sur les bords parallèles :



Le calcul en flexion uniaxiale est un type de calcul relativement simple, alors que le calcul en flexion biaxiale demande un processus itératif.

Il faut bien garder cela à l'esprit car c'est la raison pour laquelle le calcul en flexion uniaxiale est bien plus rapide.

4 CALCUL EN COMPRESSION SEULE



\Rightarrow Aucun ferraillage requis $N_{Ed} < N_{Rd}$

Exemple : « 3.3.1 – Compression seule.esa »

Poteau étudié : B1

<u>Géométrie</u> : Section du poteau : RECT 350x350mm² Hauteur : 4,5m Qualité de béton : C45/55

Configuration Béton :

Dans les « Efforts internes ELU », les excentricités ne sont pas prises en compte :

s : Configuration complète 👻 Paramètres d'affich 👻			Reprendr	Reprendre défaut Chercher					Anr	nnexe Nationale:		$\langle 0 \rangle$
De	scr	ption	Symbole		Valeur	Défaut	Un	Chapitre	Norme	Struc	Type	Π
tous		Q	<tous></tous>	P	<tous></tous>	<to 9<="" td=""><td></td><td><to <math="">{\cal P}</to></td><td><tous> D</tous></td><td><t p<="" td=""><td><t p<="" td=""><td></td></t></td></t></td></to>		<to <math="">{\cal P}</to>	<tous> D</tous>	<t p<="" td=""><td><t p<="" td=""><td></td></t></td></t>	<t p<="" td=""><td></td></t>	
Pa	ran	nètres de conception par défaut										
Þ	Fe	rraillage										
⊳	En	robage minimum										
0p	tio	n du solveur										
Þ	Gé	néral										
	Eff	orts internes										
		Réduction de l'effort tranchant sur les appuis						6.2.1(8)	EN 1992	Poutr	Option	
		Réduction du moment sur les appuis						5.3.2.2 (4)	EN 1992	Poutr	Option	
	۲	Décalage de la courbe de moment pour couvrir l'effort d			0	2		9.2.1.3(2)	EN 1992	Poutr	Option	
		Imperfection géométrique dans l'ELU	ei,ULS					5.2(2)	EN 1992	Poteau	Option	
		Imperfection géométrique dans l'ELS	e _{i,SLS}					5.2(3)	EN 1992	Poteau	Option	
		Excentricité minimale	e _{min}		Dans exc. de premier ordre	Dans ex		6.1(4)	EN 1992	Poteau	Option	
		Excentricité de premier ordre avec le moment équivalent				\checkmark		5.8.8.2(2)	EN 1992	Poteau	Option	H
		Excentricité de second ordre	e2	1	Non	Courbu		5.8.5	EN 1992	Poteau	Option	I.
		Coefficient de fluage effectif M _{0Eqp} /M _{0Ed}	$\operatorname{Coeff}_{q,eff}$		1.00	1.00		5.8.4(2)	EN 1992	Poteau	Option	
	₽	Modification des efforts internes										
₽	Ca	lcul As										
Þ	Co	nversion en barres d'armature										

Les dispositions constructives ne sont pas prises en compte, de manière à visualiser les résultats de base (conformément à l'Eurocode, mais un pourcentage minimal de ferraillage doit toujours être pris en compte).

Configuration complète 🛛 👻 Paramètres d'affich 👻				Reprendre défaut Chercher			Annexe Nationale:			
scri	cription Sy			Valeur	Défaut U	Jn Chapitre	Norme	Struc	Type	
		Q	<tous> \wp</tous>	<tous></tous>	<to ,<="" td=""><td><to <math="">\wp</to></td><td><tous> 🔎</tous></td><td><t p<="" td=""><td><t p<="" td=""></t></td></t></td></to>	<to <math="">\wp</to>	<tous> 🔎</tous>	<t p<="" td=""><td><t p<="" td=""></t></td></t>	<t p<="" td=""></t>	
Ta	anten	ieik	-							
10	rsion	u des souturintes				_				
54	initiatic	figuration				_				
0	orts a	e de fissure				_				
ELA	choc	e de lissure								
Die	noeiti	one constructives								
Dia Dia	Poutre / Nervure Poutre calle A Doteau									
~						_				
	4 10	opgitudinal								
	-	Contrôle de l'espacement minimal des barres	(82(2)	EN 1992-	Poteau	Ontion	
		Contrôle de l'espacement maximal des barres				012(27)	Independ	Poteau	Option	
		Contrôle de l'espacement maximal des barres (to				9.2.3(4)	EN 1992	Poteau	Option	
		Contrôle de la section minimale d'armature		n		9.5.2(2)	EN 1992	Poteau	Option	
		Contrôle de la section maximale d'armature			~	9.5.2(3)	EN 1992	Poteau	Option	
		Contrôle du diamètre minimal des barres			V	9.5.2(1)	EN 1992	Poteau	Option	
		Contrôle du nombre min. de barres			V	9.5.2(4)	EN 1992	Poteau	Option	
	🔺 Tr	ansversal								
	+	Contrôle du diamètre minimal du mandrin				8.3(2)	EN 1992	Poteau	Option	
		Contrôle de l'espacement longitudinal maximal			2	9.5.3(3)	EN 1992	Poteau	Option	
		Contrôle du diamètre minimal des barres				9.5.3(1)	EN 1992	Poteau	Option	

Chargement :

LC1 : charge permanente : F = 1100kN

LC2 : charge variable : F = 1000kN

Cela signifie que le poteau est chargé par un simple effort de compression.

Combinaisons Eurocode :

Combinaison ELU = 1,35*LC1 + 1,5*LC2Effort normal de calcul N_{Ed} = 1,35*1100 + 1,5*1000 = 2985kN

Diamètre de barres :

Le diamètre des barres est noté dans la « Configuration béton » et bien dans les « Données béton 1D » si elles sont appliquées (les données 1D écrasent toujours les données de la « Configuration béton »).

s : Configuration complète Y Paramètres d'affich 🔻	Reprend	lre d	éfaut	Chercher				Annexe Na	itionale:
Description	Symbol	e	Valeur	Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Struct	Type de
ous>	<tous></tous>	P	<tous></tous>	<tous></tous>		<tous> D</tous>	<tous> ρ</tous>	<to 0<="" th=""><th><tou th="" 🔎<=""></tou></th></to>	<tou th="" 🔎<=""></tou>
Paramètres de conception par défaut									
▲ Ferraillage									
Poutre / Nervure									
Poutre-dalle									
⊿ Poteau									
Conception de l'armature fournie			~				Independent	Poteau	Paramèt
Section rectangulaire			Column_R	Column_R.			Independent	Poteau	Paramèt
Polygone			Column_Ci	Column_Ci.			Independent	Poteau	Paramèt
Ovale			Column_0	Column_0.			Independent	Poteau	Paramèt
Autre et général			Column_0	Column_0.			Independent	Poteau	Paramèt
 Longitudinal 									
 Principal (m) 									
Type d'enrobage			Auto	Auto		4.4.1	EN 1992-1-1	Poteau	Paramèt
Diamètre	d _{s.m}		16.0	16.0	mm		EN 1992-1-1	Poteau	Paramèt
Détail (det)									
 Etriers (sw) 									
Diamètre	dss		8.0	8.0	mm		EN 1992-1-1	Poteau	Paramèt
Nombre de coupes	n _s		2.0	2.0			Independent	Poteau	Paramèt
Enrobage minimum									
Option du solveur									
> Général									



Par défaut, le diamètre des barres longitudinales principales est de 16mm. A partir de ce diamètre et de la classe d'exposition (par défaut XC3), l'enrobage est calculé. Cette information est nécessaire pour calculer le bras de levier des armatures.

NB : Pour modifier le diamètre par défaut de 16 à 20mm par exemple, cliquer sur « Modifier » le gabarit « Column_Rect_Empty » (ou celui correspondant à la forme du poteau), et changer la valeur du diamètre à prendre en compte (ferraillage défini additionnel).



<u>Résultats</u> :

Dans le poste de travail « Béton », cliquer sur « Calcul du ferraillage des éléments 1D béton » :



Demander la valeur de As,req pour l'élément B1, et cliquer sur l'action « Regénérer » :

ep 😼		
RÉSULTAT	'S (1)	∩×
Nom	Overall Design (ULS)	
▼ SÉLECTION		
Type de sélection	Actuelle	\sim
Filtre	Non	\sim
Résultats dans les sections	Tout	\sim
▼ CAS DE RÉSULTAT		
Type de charge	Combinaisons	\sim
Combinaison	ELU	\sim
▼ EXTRÊME 1D		
Extrême 1D	Global	\sim
Type des valeurs	Requis	\sim
Valeur	As,req	\sim
Intervalle	0	
▼ CONDITION D'ÉTAT LIMITE		
Conception ELU		
▼ CONFIGURATION DES SORTIES		
Sorties	Bref	\sim
CONFIGURATION DESSIN 1D		
CONFIGURATION DES ERREURS, AVER	TISSEMENTS ET NOTES	
Utiliser les fichiers Model Data (Debug)	\bigcirc	
ACTIONS >>>>		
C Régénérer		F5
Modifier le modèle de ferraillage déf	ìni	
O Configuration béton		
Tableau des résultats		
Prévisualisation note de calcul		

Rien n'apparait à l'écran et la sortie brève donne A_{s,req} = 0 :

Dime Valeur: Calcul lir Combina Système Extrême Sélection Poteaux	As,req néaire aison: EL de coor 1D: Glo n: B1 x - Ferr	U ndonnée bal aillage	nent du s: Elément requis	ferrail	lage 1	D		
Nom	dx [m]	Cas	Profil	A _{s,req.z} [mm ²] N 9,req.z	A _{s,req,y} [mm²] N _{a,req,y}	A _{s,req} [mm ²] N _{a,req}	A _{swm,req} [mm²/m] Nøw,req	G _{L/req} [kg/m ³] Gw/req [kg/m ³]
B1	0.000	ELU	CS1 - RECT (350; 350)	0 -	0 -	0 -	57 2ø8/1778	0.00 2.04
Poids d	u ferrai	llage p	ar unité de	volume de	béton			
Eléme Poteaux	nt ([k	3 _{(,req} g/m ³] 0.00	G _{w,req} [kg/m ³] 2.04	G _{req} [kg/m ³] 2.04				

2.04

Total

0.00

2.04


La sortie précise qu'il faudrait prendre en compte les excentricités du premier et du second ordre :

Indice	Туре	Description	Solution
N2/1	Remar.	Les excentricités du premier et du second ordre doivent être prises en compte, car l'élément est considéré comme étant comprimé (des efforts normaux significatifs sont présents).	

NB : ce résultat est obtenu car toutes les dispositions constructives sont désactivées dans la « Configuration béton » !

Contrôle du ferraillage :

$$\begin{split} N_{Rd} &= f_{cd} * \alpha * A_c \\ N_{Rd} &= 30 * 1 * 350^2 / 1000 = 3675 k N \end{split}$$

Comme N_{Rd} = 3675kN > N_{Ed} = 2985kN, en effet aucun ferraillage théorique n'est nécessaire.

 \Rightarrow Ferraillage requis $N_{Ed} > N_{Rd}$

Exemple : « 3.3.1 – Compression seule.esa »

Poteau étudié : B2

Pour cet exemple, la même configuration que ci-dessus est utilisée, seule la charge ponctuelle permanente est augmentée à 2999kN.

Chargements :

LC1 : charge permanente : F = 2000kN LC2 : charge variable : F = 1000kN

```
Combinaisons Eurocode :
```

Combinaison ELU = 1,35*LC1 + 1,5*LC2Effort normal de calcul N_{Ed} = 1,35*2000 + 1,5*1000 = 4200kN

<u>Résultats</u> :

NB : SCIA Engineer montre à l'écran le ferraillage par direction. La section totale de ferraillage est en fait 770 + 770 = 1540mm².



La sortie « brève » donne :

Dunio	ensio	nner	nent du	ferrailla	ge 1D				
/aleur:	As,req								
Calcul li	néaire								
Combin	aison: EL	U							
vstème	e de coor	donnée	s: Elément						
otrême	1D: Glo	bal							
Sélection	n: B2								
lva 1	avertisser	ments :	sur les élément	ts sélectionné	s dont 1 sont	affichés.			
Poteau	x - Ferr	aillage	requis						
Nom	dx [m]	Cas	Profil	A _{s,req,z}	As,req.y	As,req	A swm,req	G Lreq	E/A/N
				N _{9,req,z}	N _{e,req,y}	Nareq	N _{ow,req}	[kg/m ⁻] G _{w/req} [kg/m ³]	
32	0.000	ELU	CS1 - RECT	N _{e,req.z}	[mm -] N _{ө,гец ү} 770	N e.req	N _{ew,req}	[kg/m ⁻] G _{w/req} [kg/m ³] 98.65	W6
82	0.000	ELU	CS1 - RECT (350; 350)	770 2x1.9ø16	770 2x1.9ø16	1540 7.7ø16	Now,req Non requis	[kg/m ⁻] G _{w/eq} [kg/m ³] 98.65 0.00	W6
B2 Poids d Eléme	0.000 du ferrai ent G	ELU Ilage p i treq g/m ³]	CS1 - RECT (350; 350) Dar unité de G _{w,req} [kg/m ³]	770 2x1.9ø16 volume de b G _{req} [kg/m ³]	770 2x1.9ø16	1540 7.7ø16	0 Non requis	[kg/m ⁻] G _{w/req} [kg/m ³] 98.65 0.00	W6
B2 Poids d Eléme Poteau	0.000 du ferrai ent G [kg	ELU Ilage p i treq g/m ³] 98.65	CS1 - RECT (350; 350) par unité de G _{w,req} [kg/m ³] 0.00	770 2x1.9ø16 volume de b G reg [kg/m ³] 98.65	770 2x1.9ø16	1540 7.7ø16	0 Non requis	[kg/m ⁻] G _{w/eq} [kg/m ³] 98.65 0.00	W6

La sortie « standard » donne :



Explication du nombre de barres :

Le diamètre des barres par défaut a été défini à 16mm.

Le tableau du ferraillage requis indique que chaque côté a besoin de $2\phi16$ (et $4\phi16$ par direction).

Cela entraine un total de $8\phi16$ dans la section du poteau, ce qui peut être afficher par le ferraillage défini :



CALCUL AVEC MOMENT FLÉCHISSANT ET EFFORT NORMAL

Quatre méthodes de calcul sont disponibles dans SCIA Engineer dans la « Configuration béton », dans les « Options du solveur », dans « Efforts internes » et « Modification des efforts internes » :

- Auto
- Uniaxiale Y-Y, autour de l'axe y
- Uniaxiale Z-Z, autour de l'axe z
- Biaxiale

: _	Confi	igur	atio	n complète	٧	Param	ètres d'af	ich 🔻	Repren	dre d	éfaut	Chercher	r			Annexe Na	ationale:	
De	scrip	tion							Symbo	e	Valeur	Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Structu	Type de	Π
us>								2	<tous></tous>	P	<tous></tous>	<tous> D</tous>	<	<tous> \wp</tous>	<tous></tous>	<tou td="" 🔎<=""><td><tou <math="">{\cal O}</tou></td><td></td></tou>	<tou <math="">{\cal O}</tou>	
Pai	ramè	tre	s de	conception p	ar dé	éfaut												
0p	tion	du s	olve	ur														
D	Gén	éral	ι															Ш
	Effo	rts	inter	rnes														
	F	Rédu	uctio	n de l'effort tr	anch	iant sur l	es appuis							6.2.1(8)	EN 1992-1-1	Poutre,P	Option d	
	F	Rédu	ictio	n du moment	sur l	es appui	s							5.3.2.2 (4)	EN 1992-1-1	Poutre,P	Option d	
	[Déca	alage	e de la courbe	dem	noment j	our couvi	ir l'effort d				 Image: A set of the set of the		9.2.1.3(2)	EN 1992-1-1	Poutre,N	Option d	
	I	mp	erfec	tion géométr	ique (dans l'EL	U		ei,ULS					5.2(2)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d	
	I	mp	erfec	tion géométr	ique (dans l'EL	S		ei,SLS					5.2(3)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d	Ш
	E	Exce	entrio	ité minimale					e _{min}		Non	Dans exc		6.1(4)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d	
	E	Exce	entrio	ité de premie	r ord	re avec	e moment	équivalent						5.8.8.2(2)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d	
	E	Exce	entrio	ité de second	ordr	e			e2		Non	Courbure		5.8.5	EN 1992-1-1	Poteau	Option d	
	(Coef	ficie	nt de fluage e	ffectif	f M _{OEqp} /I	1 _{0Ed}		Coeff	ŕ	1.00	1.00		5.8.4(2)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d	
	4.1	Mod	lifica	tion des effo	orts in	nternes												Ш
		F	Ratio	limite pour la	a mét	hode un	iaxiale		Plim		0.10	0.10			Independent	1D (Pout	Option d	
		Þ	Pout	re														
	ſ	4 F	Pote	au														Ш
			⊧ T	ype							Auto 🔺	Auto			Independent	Poteau	Option d	Ц
				Effort norma	l (N _E	d)			N _{Ed}		Auto				Independent	Poteau	Option d	
				Moment de f	lexior	n autour	de l'axe Y	(M _{Edy})	MEdy		Uniaxial Y-Y				Independent	Poteau	Option d	
				Moment de f	lexion	n autour	de l'axe Z	(M _{Edz})	M _{Edz}		Biaxial				Independent	Poteau	Option d	
				Moment de t	orsio	n (T _{Ed})			TEd		Utilisateur				Independent	Poteau	Option d	
				Effort tranch	ant d	lans l'axe	e Y (V _{Edy})		VEdy		Utilisateur avec	limite			Independent	Poteau	Option d	
	L			Effort tranch	ant d	lans l'axe	Z (V _{Edz})		VEdz		V	V			Independent	Poteau	Option d	
		Þ	Pout	re-dalle														

La sélection « auto » pour la méthode de calcul est basée sur le ratio limite du moment de flexion pour la méthode uniaxiale. Le programme sélectionnera automatiquement la méthode uniaxiale ou biaxiale en fonction des valeurs de moments de flexion autour des axes y et z.

Les règles pour la sélection automatique de la méthode de calcul :

- Si $\rho_M \le \rho_{M,lim}$: méthode uniaxiale
- Si $\rho_M \ge \rho_{M,lim}$: méthode biaxiale

$$\rho_{M} = \frac{\min\{|M_{Edy,max}|; |M_{Edz,max}|\}}{\max\{|M_{Edy,max}|; |M_{Edz,max}|\}}$$

Avec :

- M_{Edy,max} : moment de calcul maximal autour de l'axe y de toutes les combinaisons dans la section en cours
- M_{Edz,max} : moment de calcul maximal autour de l'axe z de toutes les combinaisons dans la section en cours
- ρ_{M,lim} : ratio limite des moments de flexion pour la méthode uniaxiale chargée depuis les paramètres béton.

s : Configuration complète 🛛 👻 Paramètres d'affich 🔻	Reprendre o	léfaut	Chercher				Annexe Na	tionale:
Description	Symbole	Valeur	Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Structu	Type de
tous> $ ho$	<tous> ρ</tous>	<tous> ρ</tous>	<tous> D</tous>	<	<tous> 🔎</tous>	<tous> 🔎</tous>	<tou <math="">\wp</tou>	<tou th="" 🔎<=""></tou>
Paramètres de conception par défaut								
Option du solveur								
▷ Général								
Efforts internes								
Réduction de l'effort tranchant sur les appuis					6.2.1(8)	EN 1992-1-1	Poutre,P	Option d
Réduction du moment sur les appuis					5.3.2.2 (4)	EN 1992-1-1	Poutre,P	Option d
Décalage de la courbe de moment pour couvrir l'effort d			V		9.2.1.3(2)	EN 1992-1-1	Poutre,N	Option d
Imperfection géométrique dans l'ELU	ei,ULS		V		5.2(2)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d
Imperfection géométrique dans l'ELS	ei,SLS				5.2(3)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d
Excentricité minimale	e _{min}	Non	Dans exc		6.1(4)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d
Excentricité de premier ordre avec le moment équivalent			Image: A start of the start		5.8.8.2(2)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d
Excentricité de second ordre	e2	Non	Courbure		5.8.5	EN 1992-1-1	Poteau	Option d
Coefficient de fluage effectif M _{0Eqp} /M _{0Ed}	Coeff _{ø.eff}	1.00	1.00		5.8.4(2)	EN 1992-1-1	Poteau	Option d
 Modification des efforts internes 								
Ratio limite pour la méthode uniaxiale	Plim	0.10	0.10	·		Independent	1D (Pout	Option d
Poutre								
Poteau								
Туре		Auto	Auto			Independent	Poteau	Option d
Effort normal (N _{Ed})	N _{Ed}		V			Independent	Poteau	Option d
Moment de flexion autour de l'axe Y (M _{Edy})	MEdy		V			Independent	Poteau	Option d
Moment de flexion autour de l'axe Z (M _{Edz})	M _{Edz}					Independent	Poteau	Option d
Moment de torsion (T _{Ed})	T _{Ed}					Independent	Poteau	Option d
Effort tranchant dans l'axe Y (V _{Edy})	VEdy					Independent	Poteau	Option d
Effort tranchant dans l'axe Z (V _{Edz})	VEdz					Independent	Poteau	Option d

Les paramètres pour le ratio limite :

Calcul du moment de flexion uniaxial \Rightarrow



Principe :

Le ferraillage est calculé pour N_{Ed} et un moment de flexion M_{Ed,y} ou bien M_{Ed,z} :

- Uniaxial autour de y : MEd,z est ignoré, le ferraillage est calculé uniquement pour NEd 0 et M_{Ed,y}.
- Uniaxial autour de z : MEd,y est ignoré, le ferraillage est calculé uniquement pour NEd 0 et M_{Ed,z}.

Si la méthode « Auto » ou une méthode de calcul est sélectionnée et que $\rho_M \le \rho_{M,lim}$, la règle pour choisir entre la méthode uniaxiale autour de y ou de z est :

Exemple : « 3.3.1 – Moment de flexion uniaxial.esa »

<u>Géométrie</u> : Section du poteau : RECT 350x350mm² Hauteur : 4,5m Qualité de béton : C45/55

Configuration Béton :

Dans les « Efforts internes ELU », les excentricités ne sont pas prises en compte (seuls les moments du premier ordre sont pris en compte).

	Configuration complète Y Paramètres d'affich Y	Reprendre d	léfaut Chercher				Ann	exe Natio	onale:
De	escription	Symbole	Valeur	Défaut	U	Chapit	Norme	Stru	Type
ous	> ٢	<tous> D</tous>	<tous></tous>	<tou <math="">\wp</tou>		<to <math="">\wp</to>	<tou ,0<="" th=""><th><t p<="" th=""><th><t th="" 🔎<=""></t></th></t></th></tou>	<t p<="" th=""><th><t th="" 🔎<=""></t></th></t>	<t th="" 🔎<=""></t>
Pa	aramètres de conception par défaut								
Þ	Ferraillage								
Þ	Enrobage minimum								
Op	otion du solveur								
Þ	Général								
4	Efforts internes								
	Réduction de l'effort tranchant sur les appuis					6.2.1(8)	EN 1992	Poutr	Option
	Réduction du moment sur les appuis					5.3.2.2 (4)	EN 1992	Poutr	Option
	Décalage de la courbe de moment pour couvrir l'effort d					9.2.1.3(2)	EN 1992	Poutr	Option
	Imperfection géométrique dans l'ELU	ei,ULS		V		5.2(2)	EN 1992	Poteau	Option
	Imperfection géométrique dans l'ELS	ei,SLS				5.2(3)	EN 1992	Poteau	Option
	Excentricité minimale	e _{min}	Dans exc. de premier ordre	Dans exc		6.1(4)	EN 1992	Poteau	Option
	Excentricité de premier ordre avec le moment équivalent					5.8.8.2(2)	EN 1992	Poteau	Option
	Excentricité de second ordre	e2	Non	Courbur		5.8.5	EN 1992	Poteau	Option
	Coefficient de fluage effectif M _{0Eqp} /M _{0Ed}	Coeff _{e.eff}	1.00	1.00		5.8.4(2)	EN 1992	Poteau	Option
	Modification des efforts internes								
Þ	Calcul As								
Þ	Conversion en barres d'armature								

Les dispositions constructives ne sont pas prises en compte, de manière à visualiser les résultats de base (conformément à l'Eurocode, mais un pourcentage minimal de ferraillage doit toujours être pris en compte).

-	Con	ifigura	ation complète 🛛 👻 Paramètres d'affich 👻		Reprend	lre de	éfaut Cherche	er			Anr	nexe Nati	onale:	
De	scrip	ption			Symbol	e	Valeur	Défaut	Un	Chapitre	Norme	Struc	Type	Ī
us>	~12	anten	11518	ρ	<tous></tous>	P	<tous></tous>) <to ,c<="" td=""><td></td><td><to <math="">\wp</to></td><td><tous> 🔎</tous></td><td><t p<="" td=""><td><t p<="" td=""><td></td></t></td></t></td></to>		<to <math="">\wp</to>	<tous> 🔎</tous>	<t p<="" td=""><td><t p<="" td=""><td></td></t></td></t>	<t p<="" td=""><td></td></t>	
D	Tor	sion												
Þ	Lin	nitatio	on des contraintes											
Þ	Eff	orts d	e fissuration											
Þ	Ou	vertu	re de fissure											
Þ	Flè	ches												
	Dis	positi	ions constructives				=							
	Þ	Pout	re / Nervure				-							
	Þ	Pout	re-dalle				-							
	4	Potea	au				-							
		⊿ Lo	ongitudinal											
			Contrôle de l'espacement minimal des barres					1		8.2(2)	EN 1992	Poteau	Option	
			Contrôle de l'espacement maximal des barres					1			Independ	Poteau	Option	
			Contrôle de l'espacement maximal des barres (t	o				1		9.2.3(4)	EN 1992	Poteau	Option	
			Contrôle de la section minimale d'armature					V		9.5.2(2)	EN 1992	Poteau	Option	
			Contrôle de la section maximale d'armature					~		9.5.2(3)	EN 1992	Poteau	Option	
			Contrôle du diamètre minimal des barres					\checkmark		9.5.2(1)	EN 1992	Poteau	Option	
			Contrôle du nombre min. de barres					V		9.5.2(4)	EN 1992	Poteau	Option	
		▲ Tr	ransversal				Ξ							
		Þ	Contrôle du diamètre minimal du mandrin							8.3(2)	EN 1992	Poteau	Option	
			Contrôle de l'espacement longitudinal maximal					~		9.5.3(3)	EN 1992	Poteau	Option	
			Contrôle du diamètre minimal des barres			- U		V		9.5.3(1)	EN 1992	Poteau	Option	

Chargement :

```
Poteau B1 : 
LC1 : charge permanente : F = 500kN et M_y = 100kN.m
LC2 : charge variable : F = 1000kN and M_y = 100kN.m
```

Poteau B2 :

LC1 : charge permanente : F = 500kN et M_y = 100kN.m LC2 : charge variable : F = 1000kN and M_y = 100kN.m et M_z = 10kN.m

Combinaisons Eurocode :

```
 \begin{array}{l} \mbox{Combinaison ELU} = 1,35^{*}LC1 + 1,50^{*}LC2 \\ \mbox{Effort normal de calcul N}_{Ed} = 1,35^{*}500 + 1,50^{*}1000 = 2175 kN \\ \mbox{Moment de calcul M}_{yd} = 1,35^{*}100 + 1,50^{*}100 = 285 kN.m \\ \mbox{Moment de calcul additionnel dans le poteau B2 : } M_{zd} = 22,5 kN.m \\ \end{array}
```

Résultats :

Dans le poste de travail « Béton », cliquer sur « Calcul du ferraillage des éléments 1D béton », et demander la valeur de A_{s,reg} pour l'élément B1, et cliquer sur l'action « Regénérer ».

La sortie « détaillée » pour le poteau B1 donne :

Cas		N	d [kN]	VEdy	[kN]	V Edg [k	N]	TEd [kNr	m]	MEdy [kNn	n] M;	dz [kNm]
ELU/1			-500.	0	-		0.0		0.0	-100	.0	
LC1												
ELU/2			-2175.	0			0.0		0.0	-285	.0	
1.35*LC1+1.50*LC2												
ELU/3			-675.	0	-		0.0		0.0	-135	.0	
1.35*LC1												
portactions at affat		and so										
periections et energ	de second	ordre										
Cas	de second	M _{0e}	e	e _{min}	eosd	MOEd	λ	λim	Fla	mbement	e ₂	M ₂
Cas	de second	M _{0e} [kNm]	e _i [mm]	e _{min} [mm]	e _{DEd} [mm]	MOEd [kNm]	λ [-]	λ _{im} [-]	Fla [-]	mbement	e ₂ [mm	M2 [kNm
Cas ELU/1	y-y-L	Moe [kNm] non cal	e; [mm] culé (calo	e _{min} [mm] cul unia	eosa [mm] exiale un	MOEd [kNm]	λ [-] nt)	λ _{im} [-]	Fla [-]	mbement	e ₂ [mm]	M2 [kNm
Cas ELU/1	y-y⊥ z-z⊥	Moe [kNm] non cal non cal	ei [mm] culé (cale culé (cale	e _{min} [mm] cul unia cul unia	eosa [mm] exiale un exiale un	Mosa [kNm] iquemen	λ [-] nt)	λ _{im} [-]	Fla [-]	mbement	e2 [mm]	M ₂ [kNm
Cas ELU/1 ELU/2	y-y z-z y-y	Moe [kNm] non cal non cal non cal	ei [mm] culé (calé culé (calé culé (calé	e _{min} [mm] cul unia cul unia	ense [mm] exiale un exiale un exiale un	Mosa [kNm] iquemer iquemer	λ [-] nt) nt) nt)	λ _{im} [-]	Fla [-]	mbement	e ₂ [mm]	M2 [kNm
Cas ELU/1 ELU/2	y-y z-z y-y z-z	More [kNm] non cal non cal non cal non cal	e; [mm] culé (calo culé (calo culé (calo culé (calo	e _{min} (mm) cul unia cul unia cul unia	e _{DEd} [mm] exiale un exiale un exiale un exiale un	Mosa [kNm] iquemer iquemer iquemer	λ [-] nt) nt) nt) nt)	λim [•]	Fla [-]	mbement	e ₂ [mm]	M2 [kNm
Cas ELU/1 ELU/2 ELU/3	y-y-L z-z-L y-y-L z-z-L y-y-L	Moe [kNm] non cal non cal non cal non cal non cal	e; [mm] culé (calo culé (calo culé (calo culé (calo culé (calo	e _{min} [mm] cul unia cul unia cul unia cul unia	e _{DEd} [mm] ixiale un ixiale un ixiale un ixiale un ixiale un	Mosa [kNm] iquemer iquemer iquemer iquemer	λ [-] nt) nt) nt) nt) nt)	λ _{im} [•]	Fla [·]	mbement	e ₂ [mm]	M2] [kNm

Les résultats numériques du calcul sont les suivants (sortie standard) :



ifforts internes de conception tat limite ultime Cas ELU/2 Ν_{Ed} [kN] V_{Edy} [kN] V_{Edy} [kN] T_{Ed} [kNm] M_{Edy} [kNm] M_{Edy} [kNm] -2175.0 0.0 0.0 -285.0 1.35*LC1+1.50*LC2 nperfections et effet de second ordre Cas M M_{0e} Flambement e2 M_{OEd} A M_2 e, emin e_{DEd} λim [mm] [kNm] [kNm] [mm] [mm] [mm] [kNm] [-] [-] [-] y-y⊥ non calculé (calcul uniaxiale uniquement) z-z⊥ non calculé (calcul uniaxiale uniquement) ELU/2 erraillage longitudinal Défini d GLprov d. $A_{\text{smin}} \quad A_{\text{suit}} \quad \Delta A_{\text{sT}} \quad \Delta A_{\text{sserv}} \quad \Delta A_{\text{sincr}} \quad A_{\text{sreq}}$ Smax Asprov Smin $N_{a,prov,bas} = N_{a,prov,add} = [mm^2] = [mm] =$ 43 3180 3180 264 254 ΣZ ------2.6% 0 0 ΣΥ -------UCAsprov Σ ----ELU [-] ELS [-] ΣA_{sreq} ΣA_{sprov} A_{smax} Asmin Ν-Μ σ-ε

-

-

 $w_{\text{lim}} \quad \sigma_{\text{s,lim}} \quad \sigma_{\text{c,lim}} \quad [\text{mm}^2] \ [\text{mm}^2] \ [\text{mm}^2] \ [\text{mm}^2] \ [\text{mm}^2] \ [\text{mm}^2] \ [\text{mm}^2]$

3180

0

3.00 🗶

Le ferraillage défini serait :

0.99 🖌 1.00 🖌

	oteau	BI					REC	T (350;	; 350)				
EN	1992-1-1:	2004/A1:201	4				Sectio	on 0 [dx =	= 0 m]				
Lor	ngueur élé	ment	L =	4.5 m			Béton	:C45/55					
	Flamberne	nty-y⊥	L, s	9.01 m	(fixe)		Diagr	ammeco	ontrainte	-déforma	ation bi-lin	néaire	
	Flamberne	nt z-z	L, s	9.01 m	(fixe)		Classe	e d'expos	sition: XC	3			
		[3] 8a1	6				Ferrai	llage lon	gitudina	I: B 500/	A		
*	_	[0] 00	0				Bi-lin	éaire ave	c une bra	anche sup	périeure ir	nclinée	
							16ø1	6 (3217 r	mm ²)				
				<u> </u>			$p_1 = 2$.626%(25.3 kg/r	m)			
							Ferrail	llage de	cisaillen	ent: B 5	00A		
							Bi-lin	éaire ave	c une bra	anche sur	périeure ir	nclinée	
22							208/1	1000 (10	1 mm^2				
		1.0	у				0 (02096	0 789 4	(m)			
							Forob	ane (étri	ar)	yy			
							Drinci	inal 30 n	200				
				•			FILLE	ipai. 50 li					
				_									
ト		[1] 8ø1	6		1200/1	000							
	-	350	2		[w] 2/00/ 1	000							
tat lin	nite ultime												
Ca	5	•		N _{Ed} [k]	V [V	Edv [kN]	VEda	[kN]	T _{Ed} [kN	m] M	Edv [kNm]	Meda	[kNm]
Cas	s J/2			N _{Ed} [k]	N] V 175.0	Edy [kN]	V _{Edz}	[kN] 0.0	T _{Ed} [kN	0.0	_{Edy} [kNm] -285.0	MEdz	[kNm] -
Cas ELU 1.35	5 J/2 PLC1+1.50*L0			N _{Ed} [k]	N] V 175.0	Edy [kN]	V _{Edz}	[kN] 0.0	T _{Ed} [kN	0.0	_{Edy} [kNm] -285.0	M _{Edz}	[kNm] -
Cas ELU 1.35 mperfe	s J/2 PLC1+1.50*L0 ections et ef	12 If et de secor	nd ordre	N _{Ed} [k]	N] V 175.0	Edy [kN]	- VEdz	[kN] 0.0	T _{Ed} [kN	0.0	Edy (kNm) -285.0	M _{Edz}	[kNm] -
Cas ELU 1.35 mperfe Cas	s J/2 PLC1+1.50*LC ections et ef s	: 2 If et de secor	nd ordre Moe	N _{Ed} [k] -2	v] v 175.0 e _{min}	e _{DEd}	VEdz	[kN] 0.0	T _{Ed} [kN	Im] M 0.0 Flamb	Edy [kNm] -285.0	MEdz	[kNm] - M ₂
Cas ELU 1.35 mperfe Cas	5 J/2 PLC1+1.50*L0 ections et ef 5	12 Ifet de secor	nd ordre M₀₀	N _{Ed} [k] -2 e; [m] [m]	v] v 175.0 e _{min}	e _{DEd}	M ₀₆₀	[kN] 0.0 μ λ m] [-]	T _{Ed} [kN	Im] M 0.0 Flamb [-]	Edy [kNm] -285.0 Dement] M _{Edz}	[kNm] - M ₂ [kNm]
Cas ELU 1.35 mperfe Cas	5 J/2 In C1 + 1.50 * LC ections et ef 5	[fet de secon	nd ordre M₀₀ [kN	N _{Ed} [k] -2 e; [m] [mn	V] V 175.0 e _{min} n] [mn (calculu)	e _{06d} n] [mn	M _{OEa} M _{OEa}	[kN] 0.0 λ m] [-] ment)	T _{id} [kN λ _{im} [-]	[-] M	Edy [kNm] -285.0 Dement] M _{Edz}) e ₂ [mm]	[kNm] - M ₂ [kNm]
Cas ELU 1.35 mperfi Cas	s J/2 ections et ef 5 J/2	:2 Ifet de secor y z	nd ordre M₀s [kN -y⊥ nor -z⊥ nor	N _{Ed} [k] -2 [m] [mn calculé calculé	V] V 175.0 emin emin [mm] (calcul u) (calcul u)	e _{06d} n] [mn miaxiale	N ₀₆₀ - M ₀₆₀ m] [kNi uniquen uniquen	[kN] 0.0 m] [-] nent) nent)	T _{Ed} [kN λ _{im} [-]	Im] M 0.0 Flamb [-]	Edy [kNm] -285.0 pement] M _{Edz}) e ₂ [mm]	[kNm] - M ₂ [kNm]
Cas ELU 1.35 mperfi Cas	5 J/2 I*LC1+1.50*LC ections et ef 5 J/2	:2 Ifet de secor y z	nd ordre M₀₀ [kN -y⊥ nor -z⊥ nor	N _{Ed} [k] -2 [m] [mn calculé calculé	V] V 175.0 e _{min} [mm (calcul u (calcul u	e _{06d} n] [mn miaxiale miaxiale	N ₀₆₄ - M ₀₆₄ n] [kNi uniquen uniquen	[kN] 0.0 δ λ m] [-] nent) nent)	T _{id} [kN λ [-]	Im] M 0.0 Flamb [-]	Edy [kNm] -285.0 Dement] M _{Edz}	[kNm] - M ₂ [kNm]
Cas ELU 1.35 mperfi Cas	5 J/2 I*LC1+1.50*LC ections et ef 5 J/2	:2 Ifet de secor y z	nd ordre M₀e [kN -y⊥ nor -z⊥ nor	N _{Ed} [kt -2 in e _i [m] [mn calculé calculé	N] V 175.0 emin emin [mm] (calcul u) (calcul u)	e _{06d} n] [mn miaxiale	V _{Edz} - M _{OEd} n] [kNi uniquen uniquen	[kN] 0.0 m][-] nent) nent)	T _{Ed} [kN λ _{im} [-]	Im] M 0.0 Flamb [-]	Edy [kNm] -285.0 Dement] M _{Edz}	[kNm] - M ₂ [kNm]
Cas ELU 135 mperfi Cas ELU	s J/2 PLC1+1.50*LC ections et ef J/2 illage loi	rigitudina	d ordre M₀e [kN -y⊥ nor -z⊥ nor	N _{Ed} [kl -2 m] [m] calculé	N] V 175.0 e _{min} n] [mn (calcul u (calcul u	e _{DEd} n] [mn miaxiale miaxiale	VEda - MOGO n] [kNi uniquen uniquen	[kN] 0.0 (λ m] [-] nent) nent)	T _{id} [kΝ λ _{im} [·]	Im] M 0.0 Flamb [-]	Edy [kNm] -2850 bement] M _{Edz}) e ₂ [mm]	[kNm] - M ₂ [kNm]
Cas ELU 135 mperfi Cas ELU	s J/2 PLC1+1.50*LC ections et ef J/2 J/2 illage loi Défini	:2 If et de secor y z ngitudina	d ordre M₀e [kN -y⊥ nor -z⊥ nor al	N _{Ed} [k] -2 m] e; m] [mn calculé calculé	<pre>v] V 175.0 e_min n] [mm (calcul u (calcul u (calcul u A_sult</pre>	e _{0Ed} n] [mn miaxiale miaxiale	V _{Edz} - M _{OEd} n] [kNn uniquen uniquen	[kN] 0.0 m][-] nent) nent) ΔA_sincr	T _{id} [kN λ_m [·]	M 0.0 Flamb [-]	Edy [kNm] -285.0 pement G _{Lprov}] MEdz D e2 [mm]	[kNm] M2 [kNm]
Cas ELU 135 mperfi Cas ELU	5 J/2 S*LC1+1.50*LC ections et ef 5 J/2 Illage loi Défini Ne, prov. bas	2 Ifet de secor y z ngitudina Ne provadd	d ordre M₀e [kN -y⊥ nor -z⊥ nor al d₁	N _{Ed} [kt -2 m] e _i m] [mm calculé calculé	 V emin emin (mn (calcul u (calcul u (calcul u A_{sult} (mm²) 	e _{DEd} n] [mn miniaxiale ΔA _{xT} [mm ²]	V _{Edz} - M _{OEa} η] [kNn uniquen uniquen Uniquen	[kN] 0.0 m] [-] nent) nent) ΔA _{siner}	T _{id} [kN λ _{im} [-] [mm ²]	Im] M 0.0 Flamb [-] A _{sprov} [mm ²]	Edy [kNm -285.0 Dement GLprov [kg/m ³]] M _{Edz}) e ₂ [mm] s _{min}	[kNm] M ₂ [kNm]
Cas ELU 135 mperfi Cas ELU	s J/2 PrLC1+1.50*LC ections et ej J/2 J/2 Défini N _{e,prov.bas}	2 (fet de secor y z ngitudina N _{a,prov.add}	nd ordre M₀, [kN -y⊥ nor -z⊥ nor al d₁ [mm] 46	N _{Ed} [kl -2 Im] [mn calculé n calculé A _{amin} [mm ²]	V] V 175.0 e _{min} n] [mn (calcul u (calcul u (calcul u (calcul u (calcul u 3180	e _{DEd} n] [mn miniaxiale miaxiale ΔA _{aT} [mm ²]	V _{Edz} - M _{OEa} n] [kNn uniquen uniquen uniquen (mm ²)	[kN] 0.0 m] [-] nent) nent) ΔA _{siner} [mm ²]	T _{Ed} [kN λ_m [-] A _{s/eq} [mm ²] 3180	M 0.0 Flamt [-] A _{sprov} [mm ²] 3217	Бау [kNm -285.0 ретепт G _{Lprov} [kg/m ³] 206] M _{Edz} 0 e ₂ [mm] s _{min} [mm] 21	[kNm] - M ₂ [kNm] s _{max} [mm] 37
Cas ELL 135 Cas ELL ELL	s J/2 PLC1+1.50LC ections et ej s J/2 J/2 Défini N _{e,prov.bas} 16ø16	2 (fet de secon y z ngitudin N _{aprovadd}	$\frac{d \text{ ordre}}{M_{0q}}$ $[kN] -y^{\perp} \text{ nor} -z^{\perp} \text{ nor}$ al $\frac{d_1}{[mm]}$ 46	N _{Ed} [kl -2 Im] [mn calculé calculé A _{1min} [mm ²]	(i) V (e _{DEd} n] [mn miniaxiale miaxiale ΔA _{sT} [mm ²]	V _{Edz} M _{OEs} n] [kNi uniquen uniquen ΔA _{s,serv} [mm ²]	[kN] 0.0 m] [-] nent) nent) ΔA _{xiner} [mm ²]	T _{Ed} [kN λ [·] A _{s,req} [mm ²] 3180 2.6%	M 0.0 Flamt [-] A _{4,000} v [mm ²] 3217 2.63%	Glprov [kg/m ³] 206] Mide e2 [mm] smin [mm] 21	[kNm] M ₂ [kNm] s _{max} [mm] 37
Cas ELU 135 mperfi Cas ELU	J/2 VLC1+1.50LC ections et ef J/2 illage loi Défini N _{e,prov.bas} 16ø16	2 (fet de secor y z ngitudina Naprovadd	d ordre M₀ [kN -y⊥ nor -z⊥ nor al d, [mm] 46	N _{Ed} [kl -2 m] [mm] [mm] calculé calculé A _{amin} [mm ²]	v] v 175.0 e _{min} n] [mn (calcul u (calcul u (calcul u 3180 -	e ₀₆₀ [kN] e ₀₆₀ n] [mn iniaxiale miaxiale ΔA _{aT} [mm ²]	V _{Edz} M ₀₆₄ n] [kNi uniquen uniquen ΔA _{s.serv} [mm ²]	[kN] 0.0 m] [-] nent) nent) ΔA _{siner} [mm ²]	T _{Ed} [kN λ [·] A _{areq} [mm ²] 3180 2.6%	M 0.0 Flamb [-] A _{sprov} [mm ²] 3217 2.63%	Gl.prov [kg/m ³] 206] Midz e2 [mm] smin [mm] 21 - 0	[kNm] - M ₂ [kNm] s _{max} [mm] 37 - 0
Cas ELU 1.35 mperfu Cas ELU ELU	J/2 PLC1+1.50°LC ections et ef J/2 J/2 Défini Na.prov.bas 16ø16 	2 [fet de secon y z ngitudin: Naprovadd	nd ordre M₀ _e [kN -y⊥ nor -z⊥ nor al d₁ [mm] 46	N _{Ed} [kl -2 in e; im] [mm] calculé calculé A _{amin} [mm ²]	v] v 175.0 e min n] [mn (calcul u (calcul u (calcul u (calcul u 3180 -	e _{0Ed} n] (mn iniaxiale ΔA _{aT} [mm ²] -	V _{Edz} M _{06a} n] [kNi uniquen uniquen ΔA _{sserv} [mm ²]	[kN] 0.0 m] [-] nent) nent) ΔA _{siner} [mm ²]	λ_m λ_m [·] Asreq [mm²] 3180 2.6%	M 0.0 Flamt [-] A _{sprov} [mm ²] 3217 2.63%	GLprov [kg/m ³] 206	Midz e2 [mm] smin [mm] 21 - 0 - 0	[kNm] - [kNm] [kNm] 37 - 0 -
Cas ELU 135 Cas ELU ELU	J/2 PLC1+1.50°LC ections et ef J/2 J/2 Défini N _{e.prov.bas} 16ø16 16ø16	y fet de secor y ngitudina Ne.prov.add	ad ordre M₀, [kN -y⊥ nor -z⊥ nor al d, [mm] 46 ELU [-]	N _{Ed} [k] -2 m] e m] [mm] calculé calculé	V 175.0 emin (mm (calcul u (calcul u (calcul u (calcul u (calcul u (calcul u calcul u (calcul	^e oted n] [mn miaxiale miaxiale ΔA _{kT} [mm ²]	VEdz Moceo n] [kNn uniquen uniquen (mm ²]	[kN] 0.0 m] [-] nent) nent) ΔA _{siner} [mm ²]	T _{Ed} [kN λ	Im] M 0.0 0.0 Flamt [-] [-] 3217 3217 2.63% - - ΣA _{sprov} ΣA _{sprov}	GLprev [kg/m ²] GLprev [kg/m ²] 206 A _{kmax}	Midz e2 [mm] smin [mm] 21 - UCAser	[kNm] M2 [kNm] smax [mm] 37 - 0 -
Cass ELU 1.33 mperfit Cass ELU	J/2 J/2 ections et ef J/2 J/2 illage loi Défini N _{e.prov.bas} 16ø16 	riz ifet de secor y z ngitudina Naprov.add 	d ordre M₀, [kN -y⊥ nor -z⊥ nor al d, [mm] 46 ELU [-] N-M	N _{Ed} [kt] -2 m] (mn] calculé calculé A _{amin} [mm ²] -	V] V V 175.0 emin in [mm (calcul u (cal	^e otedy [kN] ^e oted n] [mn miniaxiale miaxiale ΔA _{aT} [mm ²] - σ _{atem}	V _{Edz} M _{0Ez} n] [kN uniquen uniquen ΔA _{sserv} [mm ²]	[kN] 0.0 m] [-] nent) nent) ΔA _{siner} [mm ²]	λ_m λ_m [-] 3180 2.6% - 5A_xreq (mm²)	Im] M 0.0 Flamt [-] A _{1,prov} [mm²] 3217 2.63% - - ΣA _{1,prov} [mm²]	G(prov [kg/m ²] 206 A _{xmax} [mm ²]	MEdz e2 [mm] Smin [mm] 21 - UC _{AA} pr [-]	[kNm] - [kNm] [mm] 37 - 0 0 -
Cass ELU 1.33 mperfri Cass ELU	J/2 J/2 ections et ef J/2 J/2 illage lol Défini N _{a.prov.bas} 16ø16 	r2 (fet de secor y z ngitudina Na prov.add 	d ordre M ₀ ₁ (kN -y⊥ nor -z⊥ nor al d ₁ [mm] 46 ELU [-] N-M 0.99 ✓	N _{Ed} [kt] -2 -2 <t< td=""><td>V] V 175.0 e_min n] [mn (calcul u (calcul u (calcul u calcul u ELS [-] Wim</td><td>^eotedy [kN] e_{Oted} n] [mn miniaxiale miaxiale miaxiale σ_{4,lim} σ_{4,lim}</td><td>V_{Edz} M_{OEd} n] [kNr uniquen uniquen (mm²]</td><td>[kN] 0.0 m] [-] nent) nent) ΔA_{siner} [mm²] - - - A_{smin}</td><td>T_{Ed} [kN λ [-] A_kreq [mm²] 31800 ΣA_kreq [mm²] 3180</td><td>Im] M 0.0 Flamt [-] Flamt [-] 3217 3217 2.63% - - ΣA_{aprov} - [mm²] 3217</td><td>GL.prov (kg/m³) 206 A_{4.max} [mm²]</td><td></td><td>[kNm] - [kNm] [mm] 37 - 00 - ∞</td></t<>	V] V 175.0 e_min n] [mn (calcul u (calcul u (calcul u calcul u ELS [-] Wim	^e otedy [kN] e _{Oted} n] [mn miniaxiale miaxiale miaxiale σ _{4,lim} σ _{4,lim}	V _{Edz} M _{OEd} n] [kNr uniquen uniquen (mm ²]	[kN] 0.0 m] [-] nent) nent) ΔA _{siner} [mm ²] - - - A _{smin}	T _{Ed} [kN λ [-] A _k req [mm ²] 31800 ΣA _k req [mm ²] 3180	Im] M 0.0 Flamt [-] Flamt [-] 3217 3217 2.63% - - ΣA _{aprov} - [mm²] 3217	GL.prov (kg/m ³) 206 A _{4.max} [mm ²]		[kNm] - [kNm] [mm] 37 - 00 - ∞

La sortie « détaillée » pour le poteau B2 donne :

Cas		N	d [kN]	VEdy	[kN]	VEdt [k	N]	TEd [kNm		MEdy [kNm] M	Edz [kNm]
ELU/1			-500.0		-		0.0		0.0	-100	.0	
LC1												
ELU/2			-2175.0		-		0.0		0.0	-285	.0	
1.35*LC1+1.50*LC2												
ELU/3			-675.0)	-		0.0		0.0	-135	.0	
1.35*LC1												
perfections et effet	de secono	d ordre							_		_	
perfections et effet Cas	de secono	d ordre M _{0e}	ei e	min	eosd	MOEd	λ	λim	Flar	mbement	e ₂	M ₂
perfections et effet Cas	de secono	i ordre M _{0e} [kNm]	e; e [mm] [^e min [mm]	e _{06d} [mm]	Moed [kNm]	λ [·]	λ _{im} [-]	Flar [-]	mbement	e2 [mm	M2] [kNm
perfections et effet Cas ELU/1	de secono	Moe [kNm] non cal	e e [mm] [culé (calco	^e min (mm) ul uniax	e _{DEd} [mm] xiale uni	Mosa [kNm] quemer	λ [-] nt)	λim [-]	Flar [-]	mbement	e2 [mm	M ₂] [kNm
perfections et effet Cas ELU/1	de secono y-y [⊥] z-z [⊥]	Moe (kNm) non cal non cal	e e [mm] [culé (calci culé (calci	^e min i mm] ul uniax ul uniax	e _{06d} [mm] xiale uni	Moed [kNm] quemer	λ [-] nt)	λ _{im} [-]	Flar [-]	mbement	e2 [mm	M2] [kNm
perfections et effet Cas ELU/1 ELU/2	y-y z-z y-y	Moe [kNm] non cal non cal non cal	e e [mm] [culé (calci culé (calci culé (calci	^e min (mm) ul uniax ul uniax ul uniax	eoga [mm] xiale uni xiale uni	Mosed [kNm] quemer quemer quemer	λ [-] nt) nt) nt)	λ _{im} [-]	Flar [-]	mbement	e2 [mm	M2 1] [kNm
perfections et effet Cas ELU/1 ELU/2	y-y⊥ z-z⊥ y-y⊥ z-z⊥	M _{0s} [kNm] non cal non cal non cal non cal	ei e [mm] [culé (calcu culé (calcu culé (calcu culé (calcu	^a min i mm] ul uniax ul uniax ul uniax ul uniax ul uniax	eosa [mm] xiale uni xiale uni xiale uni	Moted [kNm] quemer quemer quemer quemer	λ [-] ht) ht) ht) ht)	λ _{im} [·]	Flar [-]	mbement	e2 [mm	M2 1] [kNm
perfections et effet Cas ELU/1 ELU/2 ELU/3	de second y-y⊥ z-z⊥ y-y⊥ z-z⊥ y-y⊥ y-y⊥	M _{0e} [kNm] non cal non cal non cal non cal non cal non cal	e e e [mm] [culé (calci culé (calci culé (calci culé (calci culé (calci	Imin (mm) ul unias ul unias ul unias ul unias ul unias	e _{OEd} [mm] xiale uni xiale uni xiale uni xiale uni	Mose [kNm] quemer quemer quemer quemer quemer	λ [-] it) it) it) it) it)	λ _{im} [·]	Flar [-]	mbement	e ₂ [mm	M2)] [kNm

Et la sortie standard :



Ferraillage longitudinal

	Défini		d ₁	Asmin	Asult	ΔΑ _{4.1}	ΔA LEAV	ΔA _{sincr}	Asreg	Asprov	GLprov	Smin	Smax
	N _{e,prov,bas}	Ne,prov,add	[mm]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[kg/m ³]	[mm]	[mm]				
57			43	-	3180	-	-	-	3180	-	-	254	264
22									2.6%	-		-	-
TV				-	-	-	-	-	-	-		0	0
2.									-	-		-	-
Σ			ELU [-]		ELS [-]			A _{s,min}	ΣAsreq	ΣAsprov	A _{s,max}	UCAs,pro	ov.
			N-M	σ-ε	Wiim	$\sigma_{s,lim}$	$\sigma_{c,lim}$	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[-]	
			0.99 🗸	1.00 🗸	-	-	-		3180	0			3.00 ×

Le ferraillage défini serait le même que pour le poteau B1.

Même si un moment de flexion supplémentaire est présent dans la direction z dans le poteau B2, conformément au ratio limite, la méthode uniaxiale a été utilisée, et la même quantité de ferraillage est requise pour les poteaux B1 et B2.

L'utilisateur a la possibilité de forcer l'utilisation de la méthode biaxiale pour le poteau B2 en utilisant les « données béton 1D » dans les propriétés de chaque élément :

Ŷ	8					
	- 1	B	ARRE ((1) > DONNÉES	BÉTON D'ÉLÉMENT 1D (1)	
₿	IJ	ø	P			
				Nom	CMD1D	[
				Élément	B2	
				Type d'élément	Poteau	\sim
► F	PARAMÈ	TRES	DE CO	NCEPTION PAR	DÉFAUT	
• (GÉNÉ	DU SO	OLVEU	R		
Coef	ficient	pour le	e calcu	I de la haute	0.9	
Coef	ficient	pour le	calcu	l du bras de l	0.9	
Coeff	icient p	our la	déterr	mination de l	0.1	
1	FLU	JAGE E	T RET	RAIT		
Age o	lu béto	n à l'ir	stant	considéré [jo	1825.00	
			Humic	lité relative [%]	50	
Туре	d'intro	ductio	n du c	oefficient de	Auto	\sim
Age o	lu béto	n à la	mise e	n charge [jour]	28.00	
Tenir	compt	e du se	échage	et du retrait	Non	~
	ELS	5			~	
	Utiliser	le mo	dule et	ffectif du béton	\bigcirc	
	EFFO	RTS IN	TERNE	S		_
				Element isole		
Im	perfect	ion ge	ometri	que dans l'ELU		_
Im	perfect	tion ge	ometri	ique dans l'ELS		
		E	xcent	ricité minimale	Dans exc. de premier ordre	<u> </u>
	E	Excent	ricité d	le second ordre	Non	<u> </u>
Coeffic	cient de	e fluag	e effec	tif M _{OEqp} /M _{OEd} [-]	1.00	_
	MO	DIFICA	TION E J	DES EFFORTS INT	TERNES	
				Туре	Biaxial	\sim
			Effo	rt normal (N _{Ed})		_
omen	t de fle	xion a	utour	de l'axe Y (M _{Edy})		
omen	t de fle	xion a	utour	de l'axe Z (M _{Edz})		
		Mo	oment	de torsion (T _{Ed})		
	Effort	tranch	ant da	ns l'axe Y (V _{Edy})		
	Effort	tranch	ant da	ne l'ava 7 (V)		

La quantité de ferraillage requis sera légèrement supérieure dans ce cas puisque M_{Edz} est aussi pris en compte.

Cas		N	d [kN]	V _{Edy} [[kN]	VEdz [k	N]	TEd [kNm]	MEdy [kNn	n] Meda	[kNm]
ELU/2			-2175.0		0.0		0.0	0.	0 -285	.0	-43.5
1.35*LC1+1.50*LC2											
perfections et effet	de second ordr	e									
Cas	P	M _{Oe}	e _i e	min	eosd	MOEd	λ	λ _{im} F	lambement	e ₂	M ₂
					-		-		-		

	Défini		d ₁	Asmin	Asult	ΔA _{sT}	ΔA _{LERTY}	ΔAsincr	Asreq	Asprov	GLprov	Smin	Smax
	N _{ø,prov,bas}	Ne,prov,add	[mm]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[kg/m ³]	[mm]	[mm]
57	111		43	-	3770	-	-	-	3770	-		254	264
24									3.08%	-		-	-
TV				-	-	-	-	-	-	-		0	0
21									-	-		-	-
Σ			ELU [-]		ELS [-]			Asmin	ΣAsreg	ΣAsprov	Asmax	UCAspro	ev.
			N-M	σ-ε	Wim	σslim	$\sigma_{c,lim}$	[mm ²]	$[mm^2]$	[mm ²]	[mm ²]	[-]	
			0.00	100.			-		3770	0			2 00 ¥

⇒ Calcul du moment biaxial



Cette méthode permet de calculer le ferraillage pour un effort normal (N_{Ed}) et des moments de flexion biaxiaux. Elle est basée sur une formule d'interaction, équation 5.39 de l'EN 1992-1-1 :

$$\left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}}\right)^{a} + \left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}}\right)^{a} \le 1.0$$

Où :

 $M_{Edz/y}$ est le moment de calcul, incluant un moment de second ordre (si nécessaire) $M_{Rdz/y}$ est le moment résistant

a est l'exposant :

• Pour une section circulaire ou elliptique : a = 1

• Pour une section rectangulaire :

$N_{\text{Ed}}/N_{\text{Rd}}$	0,1	0,7	1,0
a =	1,0	1,5	2,0

Avec interpolation linéaire pour les valeurs intermédiaires

N_{Ed} est la valeur de calcul de l'effort normal

 $N_{Rd} = A_c * (f_{cd} + \mu_s * f_{yd})$ est l'effort normal résistant de la section, avec :

Ac : section brute de la section béton

fcd : résistance à la compression du béton

fyd : limite élastique des armatures

 μ_s : ratio de ferraillage mécanique dans le calcul de l'élancement limite obtenu avec un calcul itératif

4 POTEAU CIRCULAIRE

Pour les poteaux circulaires et ovales, la méthode de calcul est toujours de type biaxial, indépendamment de la méthode de calcul définie dans la « Configuration béton ».

Pour ces poteaux, le nombre nécessaire de barres est réparti de manière égale le long des côtés du poteau.

Exemple : « Poteau circulaire.esa »

<u>Géométrie</u> :

Section : CIRC diamètre 400mm Hauteur : 4,5m Qualité de béton : C45/55

Chargement :

 $N_{Ed} = 2175,00kN$ $M_{yd} = 142,50kN.m$ $M_{zd} = 0kN.m$

Configuration béton :

Les imperfections géométriques et les moments du second ordre sont désactivés :

es : Configuration complète 🛛 👻 Paramètres d'affich 👻		Reprend	lre d	éfaut Chercher				Anr	exe Natio	onale:	
Description		Symbol	e	Valeur	Défaut	U	Chapit	Norme	Stru	Туре	
tous>	P	<tous></tous>	2	<tous></tous>	<tou< th=""><th>P</th><th><to ,<="" th=""><th><tou <math="">\wp</tou></th><th><t p<="" th=""><th><t p<="" th=""><th></th></t></th></t></th></to></th></tou<>	P	<to ,<="" th=""><th><tou <math="">\wp</tou></th><th><t p<="" th=""><th><t p<="" th=""><th></th></t></th></t></th></to>	<tou <math="">\wp</tou>	<t p<="" th=""><th><t p<="" th=""><th></th></t></th></t>	<t p<="" th=""><th></th></t>	
Paramètres de conception par défaut											
▷ Ferraillage											
Enrobage minimum											
Option du solveur											
▷ Général											
 Efforts internes 											
Réduction de l'effort tranchant sur les appuis							6.2.1(8)	EN 1992	Poutr	Option	
Réduction du moment sur les appuis							5.3.2.2 (4)	EN 1992	Poutr	Option	
Décalage de la courbe de moment pour couvrir l'effo	rt d						9.2.1.3(2)	EN 1992	Poutr	Option	
Imperfection géométrique dans l'ELU		ei,ULS					5.2(2)	EN 1992	Poteau	Option	
Imperfection géométrique dans l'ELS		e _{i,SLS}					5.2(3)	EN 1992	Poteau	Option	
Excentricité minimale		e _{min}		Dans exc. de premier ordre	Dans ex	с	6.1(4)	EN 1992	Poteau	Option	
Excentricité de premier ordre avec le moment équiva	lent						5.8.8.2(2)	EN 1992	Poteau	Option	
Excentricité de second ordre		e2		Non	Courbu		5.8.5	EN 1992	Poteau	Option	
Coefficient de fluage effectif M _{OEqp} /M _{OEd}		Coeff		1.00	1.00		5.8.4(2)	EN 1992	Poteau	Option	
Modification des efforts internes											
▷ Calcul As											
Conversion en barres d'armature											

Toutes les dispositions constructives sont prises en compte.

Paramètres de conception par défaut :

Le diamètre des barres est défini à 20mm dans la « Configuration béton » ou bien dans les « Données béton 1D » (si appliquées) :

es : Configuration complète 🛛 Y Paramètres d'affich	•	Reprende	re déf	aut	Chercher	r			Annexe Na	tionale:	
Description		Symbole	1	/aleur	Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Structu	Type de	1
tous>	P	<tous></tous>	2.	<tous></tous>	<tous> 🔎</tous>	<	<tous> 🔎</tous>	<tous> 🔎</tous>	<tou th="" 🔎<=""><th><tou th="" 🔎<=""><th></th></tou></th></tou>	<tou th="" 🔎<=""><th></th></tou>	
Paramètres de conception par défaut											
✓ Ferraillage											
Poutre / Nervure											
▷ Poutre-dalle											
▲ Poteau											
Conception de l'armature fournie			5	2				Independent	Poteau	Paramèt	
Section rectangulaire			C	Column	Column			Independent	Poteau	Paramèt	
Polygone			C	Column	Column			Independent	Poteau	Paramèt	
Ovale			C	Column	Column			Independent	Poteau	Paramèt	
Autre et général			C	Column	Column			Independent	Poteau	Paramèt	
 Longitudinal 											
 Principal (m) 											
Type d'enrobage			ι	Jtilisateur	Auto		4.4.1	EN 1992-1-1	Poteau	Paramèt	
Enrobage (c)		с	3	5.0	30.0	mm	4.4.1	EN 1992-1-1	Poteau	Paramèt	
Diamètre		d _{s,m}	2	0.0	16.0	mm		EN 1992-1-1	Poteau	Paramèt	
Détail (det)											
 Etriers (sw) 											
Diamètre		d _{ss}	8	8.0	8.0	mm		EN 1992-1-1	Poteau	Paramèt	
Nombre de coupes		n	2	0				Independent	Doteau	Daramèt	

<u>Résultats</u> :

Dans le poste de travail « Béton », cliquer sur « Calcul du ferraillage des éléments 1D béton », et demander la valeur de A_{s,req}, et cliquer sur l'action « Regénérer ».

La sortie « standard » donne :



erra	Défini	ngituain	al d.	Α.	Α .	AA .	AA	ΔΑ .	A	A	G	¢ .	c
	N _{e,prov,bas}	N _{e,prov,add}	[mm]	[mm ²]	[mm ²]	[kg/m ³]	[mm]	[mm]					
-	5ø20		53	500	1159	-	-	-	1159	1571	98.1	153	173
	JULU								0.92%	1.25%		-	≤236
Σ	5ø20		ELU [-]		ELS [-]			Asmin	ΣA _{s.req}	ΣA _{s,prov}	A _{s,max}	UCAs,pro	ov
			N-M	σ-ε	Wiim	$\sigma_{s,lim}$	$\sigma_{c,lim}$	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[-]	
			0.95 🗸	1.00 -	-	-	-	500≤	1159	1571	≤5027		0.74

Dans cet exemple, A_{s,req} est déterminé par la quantité minimale de ferraillage selon les dispositions constructives, A_{s,det,min}.

Comme $A_{s,req} = 1159$ mm², le logiciel propose 5 barres de 20mm (5*314mm² = 1571mm² = $A_{s,req,bar}$), qui est la quantité de barres la plus proche pour satisfaire $A_{s,req,bar} > A_{s,req}$.

A noter que SCIA Engineer utilise la section réelle des barres pour calculer la section de ferraillage nécessaire. Donc le ferraillage nécessaire final affiché à l'écran est A_{s,req,bar}.

Remarque 1:

Si l'utilisateur choisit un gabarit sans barres prédéfinies dans les paramètres de conception par défaut, par exemple « Column_Circ-Empty », le logiciel affichera uniquement A_{s,req} et pas A_{s,req,bar} comme mentionné ci-dessus.

Configuration I	béton			et -: 🗹 🕩 🗟	속 & 음 🖻 🖸	
Vues : Config	uration complète 🛛 👻 Paramètres d'	affich 🔻	Reprendre défaut	Column_Circ_Empty)	
Descriptio	n	Symbole	Valeur	Column_Circ_Basic		
<tous></tous>	Q	<tous> ρ</tous>	<tous></tous>	Column_Circ_Basic_	Add	
Paramètr	res de conception par défaut			Column_Circ_Basic_	RadList	
▲ Ferrai	illage					
Þ Po	outre / Nervure			Nom	Column_Circ_Empty	
⊳ Po	outre-dalle			Description	Empty reinforcement layout	
⊿ Po	oteau			Type d'élément	Poteau	
	Conception de l'armature fournie			Section	Polygone	
	Section rectangulaire		Column_Re	Mode	Standard	Z
) i	Polygone		Column_(v	mode		
	Ovale		Column_0			
	Autre et général		Column_Ot			
	Longitudinal					
	 Principal (m) 					
	Type d'enrobage		Utilisateur	4		· · · · · /
	Enrobage (c)	с	35.0			
	Diamètre	d _{s,m}	20.0			
	Détail (det)					
	Etriers (sw)					
	Diamètre	d _{ss}	8.0			
	Nombre de coupes	0	2.0			

Remarque 2 :

Conformément à l'EN 1992-1-1, art. 9.5.2(4), un minimum de nombre de barres dans un poteau circulaire est demandé. Ce paramètre est défini par défaut à 4 dans la « Configuration béton » :

ies :	Configur	ration complète 🛛 👻 Paramètres d'	affich 🔻		Reprendre déf	aut		Cherche	r		Annexe	Nationale:	
De	scription		Symbole		Valeur	Déf	aut	Unité	Chapitre	Norme	Structure	Type de c	
tous	>	Q	<tous></tous>	2	<tous></tous>	P <to< th=""><th>us> 🔎</th><th><t p<="" th=""><th><tous></tous></th><th>Q <tous> Q</tous></th><th><tous> D</tous></th><th><tous> D</tous></th><th></th></t></th></to<>	us> 🔎	<t p<="" th=""><th><tous></tous></th><th>Q <tous> Q</tous></th><th><tous> D</tous></th><th><tous> D</tous></th><th></th></t>	<tous></tous>	Q <tous> Q</tous>	<tous> D</tous>	<tous> D</tous>	
Þ	Flèches												
	Disposi	tions constructives											
	▶ Pout	tre / Nervure			8								
	⊳ Pou	tre-dalle			8								
	A Pote	eau			8				1		1		
	× 1	Longitudinal			8					1			1
		Contrôle de l'espacement minimal				~		1	8.2(2)	EN 1992-1-1	Poteau	Option du s	
		Contrôle de l'espacement maxima				~				Independent	Poteau	Option du s	
		Contrôle de l'espacement maxima			S	1			9.2.3(4)	EN 1992-1-1	Poteau	Option du s	
		Espacement maximal des barres	Slct,max		350	350		mm	9.2.3(4)	EN 1992-1-1	Poteau	Option du s	
		Contrôle de la section minimale d'			Z	~			9.5.2(2)	EN 1992-1-1	Poteau	Option du s	
		Contrôle de la section maximale d'			S	~			9.5.2(3)	EN 1992-1-1	Poteau	Option du s	
		Contrôle du diamètre minimal des				~			9.5.2(1)	EN 1992-1-1	Poteau	Option du s	
		Contrôle du nombre min. de barres			2	~			9.5.2(4)	EN 1992-1-1	Poteau	Option du s	
		Nombre mini. de barres dans un	n _{lo,min}		4.0	4.0			9.5.2(4)	EN 1992-1-1	Poteau	Option du s	
	× 1	Transversal			Ξ								
		Contrôle du diamètre minimal du							8.3(2)	EN 1992-1-1	Poteau	Option du s	
		Contrôle de l'espacement longitud			Image: A start and a start	~			9.5.3(3)	EN 1992-1-1	Poteau	Option du s	
		Contrôle du diamètre minimal dec				1.22			953(1)	EN 1992-1-1	Dateau	Ontion du c	

En augmentant les charges : $F_z = -1250 k N \label{eq:Fz} M = 50 k N.m$

Les résultats deviennent les suivants.



Exemple : « Poteau circulaire avec charges augmentees.esa »

Efforts internes de conception État limite ultime

Cas		N	d [kN]	VEdy	[kN]	VEdz [k	N]	Ted [kNm	MEdy [kNn	1] Meda	[kNm]
C01/2			-2550	0	-		0.0		0.0 -196	.7	-
1.35*LC1+1.50*LC2											
perfections et effet de	second or	dre									
Cas		M _{0e}	e, e	e _{min}	eoed	MOEd	λ	λim	Flambement	e ₂	M ₂
		[kNm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kNm]	[-]	[-]	[-]	[mm]	[kNm]
C01/2	y-y-L	-142.5	21	20	77	-196.7	90.3	4 >17.64	→2nd ordre	0	0.0
	z-z-	non cal	culé (calo	ul unia	axiale un	iquemer	nt)				

Ferraillage longitudinal

	Défini		d ₁	Asmin	Asult	ΔΑ	AA	ΔAsincr	Asreg	Asprov	GLorov	Smin	Smax
	N _{ø,prov,bas}	N _{e,prov,add}	[mm]	[mm ²]	[kg/m ³]	[mm]	[mm]						
	14-20		53	587	3534	-	-	-	3534	4398	275	45	65
-	14020								2.81%	3.5%		-	≤236
Σ	14ø20		ELU [-]		ELS [-]			Asmin	ΣAsreq	ΣAsprov	A _{s,max}	UCAs,pro	av.
			N-M	σ-ε	Wiim	σslim	$\sigma_{c,lim}$	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[-]	
			0.92 🗸	1.00 🖌	-	-	-	587≤	3534	4398	≤5027		0.80 🖌

3.3.2. Calcul des efforts internes

4 DÉTERMINATION SI L'ÉLÉMENT EST EN COMPRESSION

Les effets au second ordre, les imperfections géométriques et l'excentricité minimale sont pris en compte uniquement si :

- Le type d'élément = poteau
- La compression dans le poteau est relativement élevée

Dans SCIA Engineer, un paramètre permet de décider si un élément est en compression ou si la compression est trop faible pour être considérée.

Dans la « Configuration béton », dans la vue « Configuration complète », dans les « Options du solveur » et dans « Général » :

s : Configuration complète 🛛 👻 Paramètres d'affich 🔻	Reprendre d	léfaut	Chercher	1			Annexe Na	tionale:),
Description	Symbole	Valeur	Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Structu	Type de	Π
ous> 🔎	<tous> \wp</tous>	<tous> 🔎</tous>	<tous> 🔎</tous>	<	<tous> ρ</tous>	<tous> \wp</tous>	<tou th="" 🔎<=""><th><tou th="" 🔎<=""><th></th></tou></th></tou>	<tou th="" 🔎<=""><th></th></tou>	
Paramètres de conception par défaut									
▷ Ferraillage									
Enrobage minimum									
Option du solveur									
∡ Général									
Valeur limite du contrôle unité	Contr.limite	1.0	1.0			Independent	Tout (Po	Option d	
Valeur du contrôle unité lorsque le contrôle n'est pas cal	Contr.Ncal	3.0	3.0			Independent	Tout (Po	Option d	
Coefficient pour le calcul de la hauteur statique de la sect	Coeff _d	0.9	0.9			Independent	Tout (Po	Option d	
Coefficient pour le calcul du bras de levier interne	Coeffz	0.9	0.9			Independent	Tout (Po	Option d	
Coefficient pour la détermination de l'élément comprimé	Coeff _{com}	0.1	0.1			Independent	Tout (Po	Option d	ц.
 Fluage et retrait 									
Age du béton à l'instant considéré	t	1825.00	18250.00	jour	3.1.4.B.1-2	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d	
Humidité relative	RH	50	50	%	3.1.4.B.1-2	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d	
Type d'introduction du coefficient de fluage	Type q (t,to)	Auto	Auto		3.1.4(2)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d	
Age du béton à la mise en charge	t ₀	28.00	28.00	jour	3.1.4(2),B1	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d	
Tenir compte du séchage et du retrait autogène	Type s _{cs} (t,ts)	Non	Auto		3.1.4(6)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d	
▲ ELS									
Utiliser le module effectif du béton					7.1(2)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d	

La condition est :

- Si $N_{Ed} \leq$ Coeff_{com} * f_{cd} * A_c : l'élément est en compression
- Si N_{Ed} > Coeff_{com} * f_{cd} * A_c : la compression n'est pas suffisante (nulle ou très petite)

Ce résultat peut être visualisé dans le poste de travail « Béton » et « Calcul des efforts internes des éléments 1D béton ». La note « détaillée » donne :

Élément comprimé	
Effort normal limite pour considérer l'éléme	ent comme comprimé :
$N_{com} = -Coeff_{com} \cdot (f_{cd} \cdot A_c) = -0.1 \cdot (3)$	0-10 ⁶ -0.123)= -368 kN
Condition de contrôle :	
$N_{Ed} < N_{com} = -675 \text{ kN} < -368 \text{ kN} = -675 \text{ kN} < -368 \text{ kN} = -600 \text{ km}$	élément comprimé
Remar.: Les excentricités du premier et du s comme étant comprimé (des efforts norma	econd ordre doivent être prises en compte, car l'élément est considéré aux significatifs sont présents).

↓ CHOIX ENTRE UN CALCUL AU PREMIER ORDRE OU AU SECOND ORDRE

Il faut vérifier le critère d'élancement $\lambda < \lambda_{\rm lim}$:

- Si λ < λ_{lim} : les effets du premier ordre doivent être pris en compte avec imperfection géométrique (art. 5.2)
- Si λ > λ_{lim} : les effets du second ordre doivent être pris en compte avec imperfection géométrique (art. 5.2)

Les valeurs pour λ et λ_{lim} et les contrôles correspondants, se trouvent dans le menu principal « Dimensionnement » / « Béton 1D » / « Élancement de calcul » :

i 🗇 😼		
RÉSULTAT	'S (1)	ÂΧ
Nom	Slenderness(Design)	
▼ SÉLECTION		
Type de sélection	Actuelle	\sim
Filtre	Non	\sim
Résultats dans les sections	Tout	~
▼ CAS DE RÉSULTAT		
Type de charge	Combinaisons	\sim
Combinaison	ELU	\sim
▼ EXTRÊME 1D		
Extrême 1D	Global	\sim
Valeur	λ	\sim
Intervalle	0	
▼ CONFIGURATION DES SORTIES		
Sorties	Bref	\sim
Imprimer la clef des combinaisons		
CONFIGURATION DESSIN 1D		
► CONFIGURATION DES ERREURS, AVER	TISSEMENTS ET NOTES	
Utiliser les fichiers Model Data (Debug)	\bigcirc	
ACTIONS >>>>		
C Régénérer		F5
Nouvelle combinaison à partir de la	clef des combinaisons	
Tableau des résultats		
Prévisualisation note de calcul		

La sortie « standard » montre la vérification de $\lambda > \lambda_{lim}$ et indique si un calcul au premier ou au second ordre doit être effectué :

lancement aleur: λ alcul linéaire ombinaison: ELU ystème de coordonr xtrême 1D: Global élection: B1	(Dimensionne	ement)					
Poteau	B1			RECT (35	0; 350)		
EN 1992-1-1:2	004/A1:2014			Section 0 [d	x = 0 m]		
Élancemen Axe	t Contreventé	L _{z/v} [m]	β _{12/w} [-]	l _{os/v} [m]	λ	λιπε/γ [-]	$\lambda_{z/y} > \lambda_{limz/y}$
y-y-L	Non	4.5	2	9.01	89.2	22.7	2 nd ordre
z-z-L	Non	4.5	2	9.01	89.2	22.7	2 nd ordre

EFFETS DU PREMIER ORDRE

Les effets du premier ordre (excentricité) sont toujours pris en compte.

Il y a deux façons de calculer les moments du premier ordre et l'excentricité dans SCIA Engineer, en fonction de l'option « Excentricité de premier ordre avec le moment équivalent » qui se trouve dans la « Configuration béton », dans la vue « Configuration complète », dans les « Options du solveur » et dans « Efforts internes » :

: Configuration complète Y Paramètres	d'affich ▼	Reprendre d	éfaut		Chercher	A	nnexe Nati	onale:		
Description	Symbole	Valeur	Défaut	Un	Chapitre	Norme	Struc	Type	1	Remarque
ous>	₽ <tou th="" ₽<=""><th><tous> D</tous></th><th><to ,<="" th=""><th></th><th><to ,0<="" th=""><th><tous> }</tous></th><th>) <t p<="" th=""><th><t p<="" th=""><th></th><th></th></t></th></t></th></to></th></to></th></tou>	<tous> D</tous>	<to ,<="" th=""><th></th><th><to ,0<="" th=""><th><tous> }</tous></th><th>) <t p<="" th=""><th><t p<="" th=""><th></th><th></th></t></th></t></th></to></th></to>		<to ,0<="" th=""><th><tous> }</tous></th><th>) <t p<="" th=""><th><t p<="" th=""><th></th><th></th></t></th></t></th></to>	<tous> }</tous>) <t p<="" th=""><th><t p<="" th=""><th></th><th></th></t></th></t>	<t p<="" th=""><th></th><th></th></t>		
Paramètres de conception par défaut										
Option du solveur										
▷ Général										
 Efforts internes 										
Réduction de l'effort tranchant sur les ap	puis				6.2.1(8)	EN 1992	. Poutre	Option		
Réduction du moment sur les appuis					5.3.2.2 (4)	EN 1992	. Poutre	Option		
Décalage de la courbe de moment pour e	ouvri				9.2.1.3(2)	EN 1992	. Poutre	Option		$M_{0.1} = 0.6 \cdot M_{0.0} + 0.4 \cdot M_{0.1} \ge 0.4 \cdot M_{0.0}$
Imperfection géométrique dans l'ELU	ei, ULS				5.2(2)	EN 1992	. Poteau	Option		
Imperfection géométrique dans l'ELS	ei,SLS				5.2(3)	EN 1992	. Poteau	Option	<<	
Excentricité minimale	e _{min}	Dans exc	Dans ex		6.1(4)	EN 1992	. Poteau	Option		
Excentricité de premier ordre avec le mo	ment				5.8.8.2(2)	EN 1992	. Poteau	Option		
Excentricité de second ordre	e2	Rigidité	Courbur		5.8.5	EN 1992	. Poteau	Option		
Coefficient de fluage effectif M _{OEqp} /M _{OEd}	Coeff	1.00	1.00		5.8.4(2)	EN 1992	. Poteau	Option		
Modification des efforts internes										
Calcul As										Le moment de premier ordre est pris en compte en tant
Conversion en barres d'armature										qu'un moment de premier ordre équivalent si cette opti
Diagramme d'interaction										est activée
▷ Cisaillement										

Les deux options sont :

<u>« Excentricité de premier ordre avec le moment équivalent » = OUI</u>

Les moments de flexion aux extrémités du poteau seront pris en compte pour calculer un moment de flexion de premier ordre équivalent. Cela conduit à un moment de premier ordre identique tout le long de la poutre. $e_{oy} = \frac{M_{0ez}}{N_{Ed}} \quad \text{et} \quad e_{oz} = \frac{M_{0ey}}{N_{Ed}}$

Avec :

$$M_{0e} = (0.6 * M_{02}) + (0.6 * M_{01}) \ge 0.4 * M_{02}$$

<u>« Excentricité de premier ordre avec le moment équivalent » = NON</u>
 L'excentricité du premier ordre est calculée à partir des moments de flexion dans la section en cours.
 Du coup, les moments de flexion dans chaque section peuvent être différents :

$$e_{0y} = \frac{M_z}{N_{Ed}} \quad \text{et} \quad e_{0z} = \frac{M_y}{N_{Ed}}$$

Les valeurs d'excentricité et de moments du premier ordre peuvent être visualisées dans le poste de travail « Béton » et « Calcul des efforts internes des éléments 1D béton ».

La sortie « standard » donne :

					RE	CT (350;	350)						
EN 1992-1-1	:2004/A1:20	14			Sec	tion 0 [dx =	: 0 m]						
Longueur éle	ment	L = 4	4.5 m 9.01 m (fiv		Béto	Béton: C45/55 Diagramme contrainte-déformation hi-linéaire							
Flambern	ent z-z	L ₂ =	9.01 m (fix	(e)	Clas	Classe d'exposition: XC3							
forts inte	ernes (N	IEF)											
Extrême: ELU/	2 (ELU)												
Type: Combin	aison (linéai	ire)											
Situation de c	alcul: EN-EL	U (STR/GE	O) Set B										
								V					
			N	N	Л.	M,	V.	٧.		M _x			
Type de cha	rge		N [kN	N] [A, kNm]	M ₂ [kNm]	V _y [kN]	v _z [kN	1	m _x [kNm]			
Type de cha Efforts interr Contenu: 1.3	rge hes (MEF) 5*LC1+1.50	1.02	N [kN -193	N 35.0 0	A y kNm] 1.0	M _z [kNm] 0.0	V _y [kN] 0.0	V ₂ [kN 0.0]	M _x [kNm] 45.0			
Type de cha Efforts interr Contenu: 1.3 fet de 2 nd	rge hes (MEF) 5*LC1+1.50	nc2	N [kN -193	1 [35.0 0	A y kNm] 1.0	M ₂ [kNm] 0.0	V _y [kN] 0.0	v _z [kN 0.0]	[kNm] 45.0			
Type de cha Efforts interr Contenu: 1.3 fet de 2 nd Axe	rge hes (MEF) 5*LC1+1.50 d ordre e N _{Ed}	"LC2 et impe M _{OEdy/z}	N [kN -19: rfectio M _{2y/z}	M 35.0 0 0 M Edy/z	A _y kNm] .0.0 e _{0z/y}	M ₂ [kNm] 0.0 e _{π/y}	V _y [kN] 0.0 e _{0min,z/y}	• z [kN 0.0 • 0Edz/y] e _{2x/y}	[kNm] 45.0 e _{Edz/y}			
Type de cha Efforts interr Contenu: 1.3 fet de 2 ^{nt} Axe	rge bes (MEF) 5*LC1+1.50 d ordre e N _{Ed} [kN]	*LC2 et impe Moseky/z [kNm]	N [kN -19] rfectio M _{2y/z} [kNm]) [35.0 0 ons M _{Edy/z} [kNm]	A _y kNm] 0.0 e _{0π/y} [mm]	M ₂ [kNm] 0.0 e _{iz/y} [mm]	V _y [kN] 0.0 e _{0min,z/y} [mm]	v _z [kN 0.0 e _{0Edz/y} [mm]] e _{2t/y} [mm]	M _x [kNm] 45.0 e _{Edz/y} [mm			
Type de cha Efforts interr Contenu: 1.3: Fet de 2 nd Axe y-y⊥	rge bes (MEF) 5*LC1+1.50 d ordre e N _{Ed} [kN] -1935	*LC2 et impe Moseky/z [kNm] 38.7	N [kN -193 rfectio M _{2y/z} [kNm] 0	Midy/z [kNm] 38.7	A _y kNm] 0.0 e _{0z/y} [mm] 0	M ₂ [kNm] 0.0 e _{iε/γ} [mm] 0	V _y [kN] 0.0 e _{0min,z/y} [mm] -20	• [kN 0.0 • 0.6dz/y [mm] -20) e _{2x/y} [mm] 0	M _x [kNm] 45.0 e _{Edz/y} [mm -20			

[kNm]

38.7

[kNm]

38.7

[kN]

0.0

[kN]

0.0

[kNm]

45.0

[kN]

-1935.0

Efforts de calcul (recalculés)

IMPERFECTION GÉOMÉTRIQUE (art. 5.2)

L'effet des imperfections géométriques doit toujours être pris en compte : à la fois dans le calcul au premier et au second ordre.

L'imperfection géométrique est activée par défaut dans la « Configuration béton », dans la vue « Configuration complète », dans les « Options du solveur » et dans « Efforts internes » :

Configuration complète Y Paramètres d'affich	n 🔻	Reprendre de	éfaut		Chercher	Ar	nnex <mark>e N</mark> ati	onale: ())				
Description	Symbole	Valeur	Défaut	Un	Chapitre	Norme	Struc	Type		Remarque		
<u>م</u>	<tou <math="">\wp</tou>	<tous> \wp</tous>	<to <math="">\rho</to>		<to 9<="" th=""><th><tous> ></tous></th><th><t p<="" th=""><th><t p<="" th=""><th></th><th></th><th></th><th></th></t></th></t></th></to>	<tous> ></tous>	<t p<="" th=""><th><t p<="" th=""><th></th><th></th><th></th><th></th></t></th></t>	<t p<="" th=""><th></th><th></th><th></th><th></th></t>				
Paramètres de conception par défaut												
Option du solveur												
Général												
 Efforts internes 												
Réduction de l'effort tranchant sur les appuis					6.2.1(8)	EN 1992	Poutre	. Option				
Réduction du moment sur les appuis					5.3.2.2 (4)	EN 1992	Poutre	Option		$\Theta_1 = 0$)	
Décalage de la courbe de moment pour couvri					9.2.1.3(2)	EN 1992	Poutre	Option				
Imperfection géométrique dans l'ELU	ei,ULS				5.2(2)	EN 1992	Poteau	Option		$\mathbf{X} = \mathbf{\theta}_{1} = \mathbf{\theta}_{2}$	a · a · a	
Imperfection géométrique dans l'ELS	ei, SLS				5.2(3)	EN 1992	Poteau	Option	<<		0 ~n ~m	
Excentricité minimale	e _{min}	Dans exc	Dans ex		6.1(4)	EN 1992	Poteau	Option				
Excentricité de premier ordre avec le moment			2		5.8.8.2(2)	EN 1992	Poteau	Option				
Excentricité de second ordre	e2	Rigidité	Courbur		5.8.5	EN 1992	Poteau	Option				
Coefficient de fluage effectif M _{0Eqp} /M _{0Ed}	Coeff	1.00	1.00		5.8.4(2)	EN 1992	Poteau	Option				
Modification des efforts internes												
Calcul As										L'imperfection géométriqu	e est prise en compte	pour le
Conversion en barres d'armature								1		calcul de l'excentricité de 1	er ordre si cette optio	on est
Diagramme d'interaction										activée		
▷ Cisaillement												

Dans SCIA Engineer, l'imperfection géométrique est représentée par une inclinaison conformément à la clause 5.2(5) de l'EN 1992-1-1.

Pour les deux axes (y et z SCL), l'inclinaison est calculée comme suit :

$$\theta_{i,y(z)} = \theta_0. \alpha_h. \alpha_{m,y/z}$$

Avec :

$\theta_0 \\ \alpha_h$	valeur de base de l'inclinaison coefficient de réduction pour la longueur de poteau ou la hauteur de la structure : $\alpha_h=2l.\sqrt{l} \ et 2/3\leq \alpha_h\leq 1$
$\alpha_{m,y/z}$	coefficient de réduction pour les nombres d'éléments : $\alpha_{m,y/z} = \sqrt{0,5.\left(1+1/m_{y(z)}\right)}$
Ι	 longueur du poteau ou hauteur de la structure, fonction de : élément isolé I = L, où L est la longueur de l'élément élément non isolé I = H, où H est la hauteur totale de la structure (paramètres de flambement).
m _{y/z}	nombre d'éléments verticaux qui contribuent à l'effet total de l'imperfection perpendiculaire à

n l'axe local SCL y/z.

Les valeurs de l et m_y(z) seront définis dans les données de flambement.

L'effet de l'imperfection pour un poteau isolé ou pour une structure est toujours pris en compte comme une excentricité conformément à la clause 5.2(7a) de l'EN 1992-1-1 :

$$e_{i,y} = \frac{\theta_{i,z} \cdot i_{0,z}}{2}$$
 et $e_{i,z} = \frac{\theta_{i,y} \cdot i_{0,y}}{2}$

L'imperfection doit être prise en compte à l'ELU mais n'est pas nécessaire à l'ELS, cf clauses 5.2(2P) et 5.2(3) de l'EN 1992-1-1.

L'utilisateur peut définir indépendamment si l'imperfection est prise en compte pour l'ELU ou l'ELS dans la « Configuration béton ».

Une excentricité minimale du premier ordre est également calculée conformément à la clause 6.1(4) dans l'EN 1992-1-1. Elle peut être activée dans la « Configuration béton », dans la vue « Configuration complète », dans les « Options du solveur » et dans « Efforts internes » :



Les paramètres pour l et $m_y(z)$ pour le calcul de l'imperfection géométrique peuvent être définis dans les propriétés des poteaux, dans « Longueur de référence et paramètres de flambement » :

8						
BAR	RE (1)	P				
套 I] 🗾 🖉						
Nom	B1					
Calque	Calque1	~ 🛱				
Туре	poteau (100)	~				
Modèle d'analyse	Standard	\sim				
Type EF	défaut					
Section	CS1 - RECT (350; 350) 🗸					
α [deg]	0.00					
Ligne système d'élément	Centre	\sim				
ey [mm]	0					
ez [mm]	0					
SCL	standard	\sim				
Rotation SCL [deg]	0.00					
▼ FLAMBEMENT						
Longueurs de référence et paramètre	Défaut	\sim Ξ				
Matériau et nombre de parties	Béton - 1					
Elément secondaire	\bigcirc					

Longueurs de référence et paramètres de flan	nbement			- (- X
FF 18 F 7 % A C					
	Configuration Résultats Nom BG1 Portée pour la stabilité • y-y z-z = p Points de stabilisation. • Paramètres de portée Coefficients de flamber Coeff. Beta yy Déplacem. y-y Imperfections dans l'au Détermination de la Hauteur totale m y 1	Portée pour la flèche Flèche z = Flèche y = actifs ment <u>Calculer ×</u> Selon configurat × nalyse de second ordre <u>Calculer ×</u>	y-y v z-z v Paramètres par portée p éplacem. y- 1 ⊘	oour l'axe	
			Enregis	trer	Annuler

Lors de l'ouverture du menu de flambement, il faut définir à la fois les « Points de stabilisation actifs » et les « Paramètres de portée » pour le flambement autour de l'axe local y (portée de flambement y-y) et autour de l'axe local z (portée de flambement z-z).

« <u>Détermination de la hauteur totale</u> » : définition du type de calcul de la hauteur totale de la structure ou de la longueur d'un élément isolé :

- « <u>Calculer</u> » : la hauteur totale sera calculée automatiquement comme la somme des longueurs de tous les éléments dans le système de flambement.
- o « Introduction » : saisie manuelle de la hauteur totale de la boite de dialogue

« $\underline{m}_{v/z}$ » : nombre d'éléments verticaux qui contribuent à l'effet total de l'imperfection perpendiculaire à l'axe local SCL y/z.

Les excentricités dues aux imperfections géométriques peuvent être visualisées dans le poste de travail « Béton » et « Calcul des efforts internes des éléments 1D béton » :

et de 2 ^{nc}	ordree	et impe	rfectio	ns						
Axe	N _{Ed} [kN]	M _{OEdy/z} [kNm]	M _{2y/z} [kNm]	M _{Edy/z} [kNm]	e _{0z/y} [mm]	e _{æ/y} [mm]	e _{0min,z/y} [mm]	e _{0Edz/y} [mm]	e _{2z/y} [mm]	e _{Edz/y} [mm]
у-у⊥	-1935	41.1	0	41.1	0	-21.2	-20	-21.2	0	-21.2
z-z-	-1935	41.1	0	41.1	0	-21.2	-20	-21.2	0	-21.2

Après calcul de l'excentricité du premier ordre incluant l'effet d'imperfection, le moment du premier ordre, incluant les imperfections autour de l'axe local SCL y (z) est calculé :

 $M_{0Ed,y(z)} = N_{Ed}.\,e_{0Ed,z(y)}$

 $e_{0Ed,y(z)} = e_{0,y(z)} + e_{i,y(z)} > e_{0,\min,y(z)}$

Avec :

- e_{0,y(z)} excentricité du premier ordre
- ei,y(z) excentricité causé par l'imperfection géométrique
- e_{0,min} excentricité minimale de premier ordre

🞍 EFFETS DU SECOND ORDRE

L'EN 1992-1-1 définit plusieurs méthodes pour les effets de second ordre avec efforts normaux (méthode générale, méthode simplifiée basée sur la rigidité nominale, méthode simplifiée basée sur la courbure nominale, ...).

Dans SCIA Engineer, les méthodes suivantes sont disponibles :

- La méthode générale conformément à la clause 5.8.2(2) basée sur un calcul non linéaire
- La méthode simplifiée basée sur la courbure nominale conformément à la clause 5.8.8

La méthode simplifiée est prise en compte :

- Pour l'état limite ultime (ELU)
- Pour les types d'éléments = poteau avec compression, conformément au chapitre précédent
 « Détermination si l'élément est en compression »
- Si l'option « Effet du second ordre » est activée, dans la « Configuration béton », dans la vue « Configuration complète », dans les « Options du solveur » et dans « Efforts internes ». Cette option est activée par défaut.
- Si l'élancement $\lambda > \lambda_{lim}$: cf le chapitre précédent sur les critères d'élancement.

Le moment nominal du second ordre est calculé conformément à la clause 5.8.8.2(3) de l'EN 1992-1-1 :

$$M_{2,y/z} = N_{Ed} * e_{2,z/y}$$

Avec :

N_{Ed} effort normal de calcul

e_{2,z/y} excentricité du second ordre

Lorsque tous les critères mentionnés ci-dessus sont satisfaits pour la méthode simplifiée, l'excentricité du second ordre est calculée conformément à la formule :

$$\mathbf{e}_{2,y/z} = \left(\frac{1}{r}\right)_{z/y} \cdot \frac{\mathbf{l}_{0z/y}^2}{\mathbf{c}_{z/y}}$$

Sinon :

$$e_{2,y/z} = 0$$

Avec :

- $(1/r)_{z/y}$ courbure autour de z/y, calculée conformément à la clause 5.8.8.3
- I_{0,z/y} Iongueur effective du poteau autour de z/y longueur de flambement
- c_{z/y} coefficient fonction de la répartition de la courbure autour de l'axe z/y conformément à la clause 5.8.8.2(4) :
 - = 8, pour un moment de flexion du premier ordre constant (non nul) le long du poteau et si le moment de flexion équivalent est pris en compte (option « Excentricité de premier ordre avec le moment équivalent » activée).
 - = 11, autrement.

 $\lambda_{z/y}$ élancement

 $\lambda_{z/y,lim}~$ élancement limite

Longueur efficace

La longueur efficace, ou longueur de flambement, est par défaut calculé par SCIA Engineer. A bien noter que ces formules pour le calcul automatique ne sont valables que pour des structures simples ! Autrement, il est également possible de saisir la valeur de la longueur efficace manuellement.

Calcul automatique de la longueur efficace

Le calcul des longueurs efficaces dépend du type de structure, à nœuds déplaçables ou non-déplaçables.

Deux formules approximatives sont utilisées: une formule pour les structures à nœuds non-déplaçables (d'où un coefficient de flambement $\beta \le 1$) et une formule pour les structures à nœuds déplaçables (d'où un coefficient de flambement $\beta \ge 1$):

• Pour une structure à nœuds non-déplaçables:

$$\beta = \frac{(\rho_1\rho_2 + 5\rho_1 + 5\rho_2 + 24)(\rho_1\rho_2 + 4\rho_1 + 4\rho_2 + 12)2}{(2\rho_1\rho_2 + 11\rho_1 + 5\rho_2 + 24)(2\rho_1\rho_2 + 5\rho_1 + 11\rho_2 + 24)}$$

• Pour une structure à nœuds déplaçables:

$$\beta = x \sqrt{\frac{\pi^2}{\rho_1 x} + 4}$$

avec	β	le coefficient de flambement la longueur système / de l'élément
	Ē	le module d'Young
	I	le moment d'inertie
	Ci	La rigidité au nœud i
	Mi	le moment au nœud i
	фі	la rotation au nœud i

$$x = \frac{4\rho_1\rho_2 + \pi^2\rho_1}{\pi^2(\rho_1 + \rho_2) + 8\rho_1\rho_2}$$
$$\rho_i = \frac{C_iL}{EI}$$
$$C_i = \frac{M_i}{\Phi_i}$$

Les valeurs pour M_i et ϕ_i sont approximativement déterminées par les efforts internes et les déformations, calculés par les cas de charges qui génèrent les formes de flambement, ayant une ressemblance avec la forme de flambement.

Le calcul des ratios β est automatiquement effectué lors du calcul linéaire de la structure. Pour cela, deux cas de charges additionnels sont calculés en arrière-plan:

- Cas de charge 1:
 - Sur les poutres, les charges réparties $q_y = 1N/m$ et $q_z = -100N/m$ sont utilisées,
 - $\circ~$ Sur les poteaux, les charges réparties globales Qx = 10000N/m et Qy = 10000N/m sont utilisées.
 - Cas de charge 2:
 - Sur les poutres, les charges réparties $q_y = -1$ N/m et $q_z = -100$ N/m sont utilisées,
 - Sur les poteaux, les charges réparties globales Q_x = -10000N/m et Q_y = -10000N/m sont utilisées.

Comme ces cas de charges, et donc les coefficients de flambement, sont calculés pendant l'analyse linéaire, il est nécessaire de toujours effectuer un calcul linéaire de la structure.

NB: L'approche utilisée donne de bons résultats pour les structures en portique avec assemblages rigides ou semi-rigides. Pour les autres cas, l'utilisateur doit évaluer les ratios de flambement proposés.

Par défaut, la structure est considérée comme déplaçable dans les directions y et z. Cela peut être modifié pour la totalité du projet dans la « Configuration Béton », dans l'onglet « Général » et « Type [déplac./nondépl.] :

Configuration complète Y Paramètres d'affich Y	Reprendre défaut	C	hercher			,	Annexe Nat	ionale:
Description	Symbole	Valeur	Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Struct	Type d
us> 🔎	<tous></tous>	<tous> ρ</tous>	<tou th="" 🔎<=""><th></th><th><tous> \wp</tous></th><th><tous> 🔎</tous></th><th><to <math="">\wp</to></th><th><to <math="">\wp</to></th></tou>		<tous> \wp</tous>	<tous> 🔎</tous>	<to <math="">\wp</to>	<to <math="">\wp</to>
Paramètres de conception par défaut								
Ferraillage								
Enrobage minimum								
Option du solveur								
⊿ Général								
Valeur limite du contrôle unité	Contr.limite	1.0	1.0			Independent	Tout (P	Option
Valeur du contrôle unité lorsque le contrôle n'est pas cal	Contr.Ncal	3.0	3.0			Independent	Tout (P	Option
Coefficient pour le calcul de la hauteur statique de la sect	Coeff _d	0.9	0.9			Independent	Tout (P	Option
Coefficient pour le calcul du bras de levier interne	Coeffz	0.9	0.9			Independent	Tout (P	Option
Coefficient pour la détermination de l'élément comprimé	Coeff _{com}	0.1	0.1			Independent	Tout (P	Option
 Fluage et retrait 								
Age du béton à l'instant considéré	t	18250.00	18250.00	jour	3.1.4.B.1-2	EN 1992-1-1	Tout (P	Option
Humidité relative	RH	50	50	%	3.1.4.B.1-2	EN 1992-1-1	Tout (P	Option
Type d'introduction du coefficient de fluage	Type q (t,to)	Auto	Auto		3.1.4(2)	EN 1992-1-1	Tout (P	Option
Age du béton à la mise en charge	t ₀	28.00	28.00	jour	3.1.4(2),B1	EN 1992-1-1	Tout (P	Option
Tenir compte du séchage et du retrait autogène	Type s _{cs} (t,ts)	Auto	Auto		3.1.4(6)	EN 1992-1-1	Tout (P	Option
Âge du béton au début du retrait de séchage	ts	7.00	7.00	jour	3.1.4(6),B2	EN 1992-1-1	Tout (P	Option
∠ ELS								
Utiliser le module effectif du béton					7.1(2)	EN 1992-1-1	Tout (P	Option
 Type [déplac. / non dépl.] par défaut 								
Déplaçable autour de l'axe y	Noeuds dépl. yy		2			Independent	Tout (P	Option
Déplaçable autour de l'axe z	Noeuds dépl. zz		×			Independent	Tout (P	Option
Efforts internes								
▷ Calcul As								
Conversion en barres d'armature								

L'utilisateur peut facilement modifier ces valeurs par défaut pour un poteau en particulier dans un projet, depuis le menu de flambement. Ce menu est accessible, comme explicité précédemment, dans les propriétés du poteau et dans « Longueurs de référence et paramètres de flambement » :

RRE (1)	F
B1	
Calque1	\sim Ξ
poteau (100)	\sim
Standard	\sim
défaut	\sim
CS1 - RECT (350; 350)	$\sim \Xi$
0.00	
Centre	\sim
0	
0	
standard	\sim
0.00	
Défaut	\sim Ξ
Béton - 1	
\bigcirc	
	RRE (1) B1 Calque1 poteau (100) Standard défaut CS1 - RECT (350; 350) 0.00 Centre 0 10.00 Standard bénon Défaut Défaut

Longueurs de référence et paramètres de flar	nbement					×
FF 48+73 AB						
	Configuration Résultats					
	Nom BG1					
	Portée pour la stabilité	Portée pour la flèche				
	• у-у	Flèche z =	у-у 👻			
	z-z ∨	Flèche y =	z-z v			
	 Points de stabilisation ac Paramètres de portée Coefficients de flambeme Coeff. Beta yy 	tifs ent Calculer ♥	Paramètres par port	ée pour l'axe	2	
	Déplacem. y-y	Selon configurat 👻	éplacem. y-			
	Imperfections dans l'ana	lyse de second ordre	1			
1	Détermination de la	Calculer 👻				
	Hauteur totale					
	m y 1					
to the second se						
A CONTRACT OF A						
C and the second						
i () 🖓 🖗 🗳 🌣						
			Enr	egistrer	Annu	ler

Ce nouveau paramétrage a le nom BG1 ici, que l'utilisateur peut attribuer à d'autres poteaux depuis la fenêtre de propriétés :

5							
Ξ					BAR	RE (1)	\$
₿	I]	ø	07	5			
					Nom	B1	
					Calque	Calque1	$\sim \Xi$
	Тур					poteau (100)	~
			Мо	odèle d	d'analyse	Standard	\sim
					Type EF	défaut	\sim
					Section	CS1 - RECT (350; 350)	$\sim \Xi$
					α [deg]	0.00	
		Lig	ne syst	ème d	l'élément	Centre	\sim
					ey [mm]	0	
					ez [mm]	0	
					SCL	standard	~
			Rota	ation S	SCL [deg]	0.00	
▼ FL	AMBE	MENT					
Longu	ieurs o	le réfé	rence	et para	amètre	BG1	\sim Ξ
	Ma	tériau	et nor	nbre d	le parties	Défaut	
			Elém	ent se	condaire		-
▼ GÉ	OMÉT	TRIE					

La longueur efficace calculée peut être visualisée dans le menu principal « Dimensionnement » / « Béton 1D » / Élancement de calcul »:

Élancement Valeur: λ Calcul linéaire	(Dimensionne	ment)						
	MIXTE			Digidi	*4			
. 🗰	Metre du terraillage			β λ Élanc	ement pour	les contrôles		
19	 Déformation à long terme avec fiss Métré du ferraillage 			M Effort	s			
6	Éclater le ferraillage	en barres lib	ores	Conce	eption du fe	rraillage		
	Béton 2D		•	a Elancement de calcul				
	Béton 1D		•	Effort	s internes d	e calcul		
	Configuration bétor	i	•					
	Assemblages en acie	er	•					
	Éléments en acier		•					

Saisie manuelle de la longueur efficace

La même option, que pour le calcul automatique, permet de définir manuellement la longueur de flambement du système. L'option « <u>Coefficients de flambement</u> » est disponible dans la section « <u>Paramètres de portée</u> ». Dans le tableau « <u>Paramètres de portée pour l'axe y-y</u> », il est possible d'insérer la longueur de flambement qui doit être prise en compte.

Longueurs de référence et paramètres de flan	bement					×
ff 18f7 5 / 6						
	Configuration Résultats Nom BG1 Portée pour la stabilité Portéé • y-y Flè z-z = z-z × P Points de stabilisation actifs • Ramming de partie	– e pour la flèche cche z = cche y =	<u>y-y</u> ♥ <u>z-z</u> ♥	-		
	Coefficients de flambement Coeff. Beta yy Lon Déplacem. y-y Selo Imperfections dans l'analyse de Détermination de la Calo Hauteur totale m y 1	gueur v n configurat v second ordre :uler v	Paramètres par j	portée pour l'axe	~	
				Enregistrer	Annu	ler

4 EFFORTS INTERNES RECALCULÉS

On les trouve dans le poste de travail « Béton » et « Calcul des efforts internes des éléments 1D béton ».

Le moment de calcul M_{Ed} est égal à :

 $M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2$

Avec :

M₂ moment de flexion de second ordre

MoEd moment de flexion tenant compte des imperfections géométriques et du premier ordre

Exemple : « 2nd Ordre.esa »

Géométrie :

Section du poteau : RECT 350x350mm² Hauteur : 4,5m Qualité de béton : C45/55

Configuration béton :

Toutes les valeurs par défaut sont conservées. Cela signifie que les imperfections géométriques et les effets du second ordre sont pris en compte.

Chargement :

$$\begin{split} N_{d} &= 405,00 \text{kN} \\ M_{yd} &= 40,50 \text{kN.m} \\ M_{zd} &= 0 \text{kN.m} \end{split}$$

Donnée de flambement :

Le type « déplaçable » est défini par défaut.

Le calcul de la longueur efficace est effectué automatiquement par le logiciel.

Critère d'élancement :

L'art. 5.8.3.1 précise si un calcul au second ordre est requis ou non. Ici, puisque $\lambda > \lambda_{lim}$, un calcul au second ordre sera nécessaire.

NB : le programme prendra automatiquement en compte un moment du second ordre si nécessaire, donc ce contrôle est simplement une information supplémentaire pour l'utilisateur.

Efforts internes :

Dans le poste de travail « Béton » et « Calcul des efforts internes des éléments 1D béton », demander M_{Ed} . La sortie « standard » donne :

forts internes (MEF)						
Extrême: ULS/2 (ELU) Type: Combinaison (linéaire) Situation de calcul: EN-ELU (STR	/GEO) Set B					
Type de charge	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	V _y [kN]	V <u>.</u> [kN]	M _x [kNm]
	-405.0	-40.5	0.0	0.0	0.0	0.0

Effet de 2nd ordre et imperfections

Axe	N _{Ed} [kN]	M _{OEdy/z} [kNm]	M _{2y/z} [kNm]	M _{Edy/z} [kNm]	e _{0z/y} [mm]	e _{iz/y} [mm]	e _{0min,z/y} [mm]	e _{0Edz/y} [mm]	e _{2z/y} [mm]	e _{Edz/y} [mm]
у-у⊥	-405	-49.1	-65.3	-114	100	21.2	20	121	161	283
z-z	-405	8.1	0	8.1	0	0	-20	-20	0	-20

forts de calcul (recalcul	és)					
Type de charge	N _{Ed} [kN]	M _{Ed.y} [kNm]	M _{Ed.z} [kNm]	V _{Ed,y} [kN]	V _{Ed,z} [kN]	M _{Ed,x} [kNm]
Efforts de calcul (recalculés)	-405.0	-114.4	0.0	0.0	0.0	0.0

<u>Résultats</u> : Les résultats pour le ferraillage sont affichés ci-après :

Ca	s			N _{Ed} [k	N]	VEdy [kN]	VEdz	[kN]	T _{Ed} [kN	m] M	Edy [kNm] M _{Edz}	[kNm]
ELU	J/2				-405.0		-	0.0		0.0	-122	3	-
1.35	5*LC1												
erf	ections et e	ffet de secon	d ordre										
Ca	s		Mos	e,	emi	n e _{DEd}	MOEd	λ	λim	Flamb	pement	e ₂	M ₂
			[kN	lm] (m	m] [m	m] [mr	n] [kNr	n] [-]	[-]	[-]		[mm]	[kNm
ELU	J/2	у	-y4	0.5	21	20 1	21 -49	.1 89.1	8 >36.8	8 ->21	nd ordre	181	-73.2
		Z	-z⊥ nor	n calcule	é (calcul	uniaxiale	uniquen	nent)					
rra	illage lo	ngitudina	al										
rra	illage lo Défini	ngitudina	al d1	Aamin	A _{sult}	ΔΑ _{εΤ}	ΔΑ	ΔA _{sincr}	Asreo	Asprov	GLprov	Smin	Smax
rra	illage lo Défini N _{e.prov.bas}	ngitudina Na, prov. add	al dı [mm]	A _{s.min} [mm ²]	A _{sult}	ΔΑ _{sT}	ΔA	ΔA _{sincr} [mm ²]	A _{s/eq} [mm ²]	A _{s,prov} [mm ²]	G _{Lprov} [kg/m ³]	s _{min}	s _{max} [mm]
rra	illage lo Défini Na,prov.bas	ngitudina N _{e,prov,add}	al d ₁ [mm] 46	A _{amin} [mm ²] 246	A _{sult} [mm ²]	ΔΑ _{sT} [[mm ²]	ΔA _{serv} [mm ²]	ΔA _{sincr} [mm ²]	A _{s/req} [mm ²] 1074	A _{sprov} [mm ²] 804	G _{Lprov} [kg/m ³] 103	s _{min} [mm] 242	s _{max} [mm] 258
rra ΣZ	illage lo Défini N _{e,prov.bas} 4ø16	ngitudina N _{e,prov.add}	al d ₁ [mm] 46	A _{s.min} [mm ²] 246	A _{sult} [mm ²] 1074	ΔΑ _{sT}] [mm ²] 4 -	ΔA _{ssev} [mm ²]	ΔA _{sincr} [mm ²]	A _{s.req} [mm ²] 1074 0.88%	A _{s.prov} [mm ²] 804 0.66%	G _{Lprov} [kg/m ³] 103	s _{min} [mm] 242 ≥37	s _{max} [mm] 250 ≤350
rra ΣZ	Défini N _{e,prov.bas} 4ø16	ngitudina N _{e,prov,add}	al d ₁ [mm] 46	A _{s,min} [mm ²] 246	A _{sult} [mm ²]	ΔΑ _{±T} [mm ²] 4	ΔΑ _{3.8877} [mm ²]	ΔA _{sincr} [mm ²]	A _{sreq} [mm ²] 1074 0.88%	A _{sprov} [mm ²] 804 0.66% 804	G _{Lprov} [kg/m ³] 103	s _{min} [mm] 242 ≥37 70	s _{max} [mm] 258 ≤350 80
rra Σz ΣY	illage lo Défini N _{e,prov.bas} 4ø16 4ø16	Ngitudina Ne,prov.add	al d ₁ [mm] 46 46	A _{s,min} [mm ²] 246	A _{sult} [mm ²]	ΔΑ _{±1}] [mm ²] 4	ΔΑ _{3.8877} [mm ²]	ΔA _{siner} [mm ²]	A _{areq} [mm ²] 1074 0.88%	A _{sprov} [mm ²] 804 0.66% 804 0.66%	G _{Lprov} [kg/m ³] 103	s _{min} [[mm] 242 ≥37 70 ≥37	s _{max} [mm] 258 ≤350 8 ≤350
rra ΣZ ΣY Σ	illage lo Défini N _{e,prov.bas} 4ø16 4ø16 8ø16	Ne,prov.add	al d ₁ [mm] 46 46 ELU [-]	A _{smin} [mm ²] 246	A _{sult} [mm ²] 1074 ELS [-]	ΔA _{sT}] [mm ²] 4 -	ΔΑ _{1.00} , [mm ²]	ΔA _{siner} [mm ²]	A _{s/req} [mm ²] 1074 0.88% - ΣΑ _{s/req}	A _{s.prov} [mm ²] 804 0.66% 804 0.66% ΣA _{s.prov}	G _{Lprov} [kg/m ³] 103 A _{smax}	s _{min} [mm] 242 ≥37 70 ≥37 UC _{As,pr}	s _{max} [mm] 256 ≤350 8 ≤350
rra ΣΖ ΣΥ	illage lo Défini N _{e,prov.bas} 4ø16 4ø16 8ø16	Ne,prov.add	al d1 46 46 ELU [-] N-M	A _{smin} [mm ²] 246	A _{sult} [mm ²] 1074 ELS [-] W _{lim}	ΔΑ _{sT} [mm ²] 4 -	ΔΑ _{starry} [mm ²]	ΔA _{sincr} [mm ²]	A _{s,req} [mm ²] 1074 0.88% - ΣΑ _{s,req} [mm ²]	A _{sprov} [mm ²] 804 0.66% ΣA _{sprov} [mm ²]	GLprov [kg/m ³] 103 A _{s.max} [mm ²]	s _{min} [mm] 242 ≥37 70 ≥37 UC _{Aap} r [-]	s _{max} [mm] 258 ≤350 80 ≤350

A noter que la méthode biaxiale a été utilisée pour le calcul du ferraillage.

3.4. Calcul de plaque

3.4.1. Définition de l'exemple

GÉOMÉTRIE

Dans le menu Fichier / Paramètres du projet, définir l'environnement en 2D de type « Plaque XY ».

 DONNÉES			MATÉRIALI	
Nom:	-		Béton Matériau	✓ C25/30 ×
Partie:	-		Matériau ferraillag	B 500A 🗸 🗸
Description:	-		Acier Maçonnerie	
Auteur: Date:	8/4/2023		Aluminium Bois Béton de fibres mé Autres	
Structure:	😴 Plaque XY	×	NORME	
Environnement	🔌 standard		Norme Nationale:	۰
Modèle:	🕅 Simple	*	Annexe Nationale:	
	info versi	on 64bit	EN standard	· · · ·

La matériau pour les armatures (B500A) définissent la qualité de l'acier qui sera utilisé pour le calcul du ferraillage théorique.



Les propriétés de la dalle et des appuis sont les suivantes :

Macro 2D				×
	Nom	D1		
	Type d'élément	Standard		٧
	Comportement	Standard MEF		
4	Туре	dalle (90)		۷
	Matériau	C20/25	*	
	Modèle éléments finis	Isotrope		٧
	Modèle MEF non-linéaire	aucun		٧
62	Type d'épaisseur	constante		
↓∠	Epaisseur [mm]	250		
	Type de SCL	Standard		~
	Angle SCL [deg]	0.00		
z	Calque	Calque 1	*	
	Modèle de structure			
X Y				
			OK Annule	er



4 CHARGEMENT

⇒ Cas de charges & groupes de charges

Cas de charge	Type d'action	Groupe de charge	Relation	EC1 – Type de charge
Poids propre	Permanent	LG1	/	1
Murs	Permanent	LG1	1	1
Exploitation	Variable	LG2	Standard	Cat B : bureaux

📧 Groupes de charg	ges		×
et -: 🗹 🗈 🖬	۰ ا	Tout	× T
LG1	Nom	LG2	
LG2	Relation	Standard	`
	Charge	Variable	`
	Structure	Bâtiment	
	Type de charge	Cat B : Bureaux	`

📧 Cas de charge				2	×
et -: 🖸 🗈 🛢 🖷	• • • • •	Tout	*	T	
LC1 - Poids propre	Nom	LC3			
LC2 - Murs	Description	Exploitation			
LC3 - Exploitation	Type d'action	Variable			*
	Groupe de charges	LG2		۷	
	Type de charge	Statique			٧
	Spécification	Standard			٧
	Durée	Brève			۷
	Cas de charge maître	Aucun			۷
	Vent 3D				

⇒ Charges

Dans LC2, deux murs sont représentés par deux charges de -25kN/m sur les 3/4 des plus longs bords :



Dans LC3, on a une charge surfacique libre de -25kN/m² définie par les coordonnées ci-dessous :



⇒ Combinaisons de charges

Type EN-ELU (STR/GEO) Set B Type EN-ELS Caractéristiques Type EN-ELS Quasi-permanentes



⇒ Classes de résultats

Tous ELU + ELS


MAILLAGE ÉLÉMENTS FINIS

⇒ Introduction

Deux types d'éléments finis sont implémentés dans SCIA Engineer :

- l'élément Mindlin qui inclue les déformations d'effort tranchant, qui est le standard dans le logiciel. La théorie de Mindlin est valide pour le calcul des plaques fines comme épaisses.
- l'élément Kirchhoff sans déformation d'effort tranchant, qui peut être utilisé pour calculer uniquement des plaques fines.

Ce type d'élément utilisé pour le calcul est défini dans le menu principal « Outils » / « Calcul et maillage » / « Configuration du solveur » :

Configuration du solveur			
	Nom	SolverSetup1	
	Spécifier les cas de charge pour le calcul linéaire		
Spécifier	les combinaisons pour le calcul de stabilité linéaire		
Spécifier les c	ombinaisons pour le calcul de stabilité non-linéaire		
Configuration avancée du solveur			
Général			
Néglige	r les déformations d'effort tranchant (Ay, Az >> A)		
	Négliger l'excentricité d'effort tranchant		
The	orie flexionnelle pour l'analyse des plaques/coques	Mindlin	Y
_	Type de solveur	Direct	۷
	Nombre minimal de sections sur l'élément	10	
Avertisseme	nt lorsque la translation max est supérieure à [mm]	1000.0	
Avertissem	ent lorsque la rotation max est supérieure à [mrad]	100.0	
	Coefficient pour le ferraillage	1	
1 1 1		ОК	Annule

⇒ Génération du maillage

Le maillage peut se générer par le menu « Outils » / « Calcul et maillage » / « Génération du maillage ».

⇒ Raffinement du maillage

Dans le menu principal « Outils » / « Calcul et maillage » / « Configuration du maillage », la taille moyenne de l'élément de maillage 2D par défaut est de 1m :

Configuration du maillage		×
Nom	MeshSetup1	
Nombre moyen d'éléments de maillage 1D sur les éléments 1D droits	1	
Taille moyenne de l'élément de maillage 1D sur les éléments 1D courbes [m]	0.200	
Taille moyenne de l'élément de maillage 2D [m]	1.000	
Connecter les barres/noeuds		
Configuration de connection des entités structurelles		
Configuration avancée du maillage		
Taille moyenne de l'élément de maillage 2D		
	OK	nnuler

La taille de maille peut également être modifiée dans la fenêtre d'analyse EF avant le lancement du calcul :

Analyse EF			×
Calculs	4 Configuration du maillage		
✓ Analyse linéaire Cas de charge: 3	Nombre moyen d'éléments de maillage 1D sur les élémen Taille moyenne de l'élément de maillage 1D sur les élémer	1 0.200	
Cas de charge: 3 Autres processus Contrôle des données Sauvegarder le projet après analyse Spécifi Spécifi De Confi	Taille moyenne de l'élément de maillage 2D [m]	1.000	
Contrôle des données	Connecter les barres/noeuds Configuration de connection des entités structurelles		
	* Configuration du maillage Nombre moyen d'éléments de maillage 1D sur les élémen 1 Taille moyenne de l'élément de maillage 1D sur les élémen 0.200 Taille moyenne de l'élément de maillage 1D sur les élémen 0.200 Taille moyenne de l'élément de maillage 1D sur les élémen 1 Taille moyenne de l'élément de maillage 1D sur les élémen 0.200 Taille moyenne de l'élément de maillage 2D [m] 1.000 Connecter les barres/noeuds Configuration avancée du maillage * Configuration du solveur > Configuration du solveur Spécifier les cas de charge pour le calcul linéaire Spécifier les combinaisons pour le calcul de stabilité linéa Spécifier les combinaisons pour le calcul de stabilité non- > Configuration avancée du solveur Configuration avancée du solveur		
Sauvegarder le projet après analyse	Configuration du solveur		
	Spécifier les cas de charge pour le calcul linéaire		
	Spécifier les combinaisons pour le calcul de stabilité linéa		
	Spécifier les combinaisons pour le calcul de stabilité non-		
	Configuration avancée du solveur		
Calculer			

La règle de base pour la taille de maille des éléments 2D : prendre 1 à 2 fois l'épaisseur des plaques du projet. Pour cet exemple, prendre une taille de maille de 0,25m.

⇒ Affichage graphique du maillage

Après avoir lancé le calcul, cliquer sur « Paramètres d'affichage de toutes les entités » ou bien par un clic droit sur l'écran, ou bien comme l'image ci-dessous par l'option « Autres options » :



Dans l'onglet « Structure », dans « Maillage », cocher « Dessiner le maillage ». Dans l'onglet « Étiquettes », également dans « Maillage », on pourrait éventuellement cocher « Afficher l'étiquette ».

On obtient :



3.4.2. Résultats du calcul linéaire

4 SPÉCIFICATION DES RÉSULTATS

Dans le poste de travail « Résultats », cliquer sur « Efforts internes 2D », et demander :

RÉSULTAT	(1)	×
Nom	Efforts internes 2D	
▼ SÉLECTION		
Type de sélection	Tout	~
Filtre	Non	~
 CAS DE RÉSULTAT 		
Type de charge	Combinaisons	~
Combinaison	ELU-Set B (auto)	~
Enveloppe (pour dessin 2D)	Extrême absolu	~
Lissage des pointes	\bigcirc	
Position	Aux noeuds, moyenne sur macro	~
Système	SCL maillage EF	~
Extrême	Global	~
Type des valeurs	Valeurs de base	~
Valeur	m_x	~
 CONFIGURATION DES SORTIES 		
Imprimer la clef des combinaisons		
Résultats standard		
Résultats dans les coupes	\bigcirc	
Résultats sur les bords	\bigcirc	
CONFIGURATION DE TABLEAU		
CONFIGURATION DES ERREURS, AVER	TISSEMENTS ET NOTES	
ACTIONS >>>>		
C Régénérer		F5
Nouvelle combinaison à partir de la	clef des combinaisons	
Configuration du dessin 2D		
Tableau des résultats		
Prévisualisation note de calcul		

« <u>Système</u> » :

- « SCL maillage EF » : selon les axes locaux de chaque élément fini.
- « SCL maillage 2D » : selon les axes locaux de l'élément 2D (attention dans le cas des coques !).

« Position » :

4 différentes manières de demander les résultats (cf chapitre des résultats un peu plus loin dans ce tutoriel).

« <u>Type de valeurs</u> » :

Valeurs de base, principales, élémentaires de dimensionnement, résultante.

« Configuration du dessin 2D » :

Il est possible ici de modifier l'affichage des résultats 2D (isobandes, isolignes, résultats numériques, ...), modifier les paramètres minimum et maximum, ...

Après modification dans les propriétés, cliquer sur « Regénérer » pour rafraichir les résultats.

TYPE DE RÉSULTATS

⇒ Valeurs de base

 $\begin{array}{l} Combinaison: ELU\\ Type \ de \ valeurs: valeur \ de \ base\\ Enveloppe: minimum\\ Valeur: \ m_x \end{array}$



Ce sont les valeurs caractéristiques provenant de l'analyse EF au centre de la plaque.

⇒ Valeurs élémentaires de dimensionnement

 $\begin{array}{l} Combinaison: ELU\\ Type \ de \ valeurs: valeur \ élémentaire \ de \ dimensionnement\\ Enveloppe: maximum\\ Valeur: m_{xD^+} \end{array}$



NB : La convention de signe des moments a été modifiée depuis la version 17. Maintenant, un moment est positif lorsqu'il entraine un effort de traction dans la partie inférieure de la plaque, et est négatif lorsqu'il entraine un effort de traction dans le partie supérieure de la plaque. Dans la version 16, un moment est positif lorsqu'il faut ferrailler pour ce moment. Cela signifie que pour une valeur positive de M_{xD+} , il y a un effort de traction dans la partie inférieure de la plaque. Et pour une valeur positive de M_{xD-} , il y a un effort de traction dans la partie inférieure de la plaque.

Les valeurs disponibles sont m_{xD} , m_{yD} et m_{cD} , où « D » est « Design », soit « Calcul ». Le « + » et « - » correspondent respectivement aux faces supérieures et inférieures selon l'axe local z de l'élément 2D.

Donc par exemple, la valeur m_{xD+} est le moment qui sera utilisé pour le calcul du ferraillage supérieur dans la direction locale x de l'élément 2D.

Le calcul des moments pour les plaques et coques conformément à l'EC2 suit la charte de la norme CSN P ENV 1992-1-1, annexe 2, paragraphe A2.8.



Ce qui se passe, c'est que pour les 3 moments caractéristiques (flexion et torsion), on a 3 moments de calcul équivalents qui sont calculés :

mx		m_{xD}
my	\approx	m_{yD}
m _{xy}		m_{cD}

Il est clair que m_{xD} et m_{yD} sont les moments qui doivent être utilisés pour le calcul du ferraillage dans les directions respectives. La quantité m_{cD} est le moment de calcul qui doit être pris par le béton. L'Eurocode ne mentionne aucun contrôle pour cette valeur, mais elle est toutefois disponible dans SCIA Engineer par raison d'exhaustivité.

Le calcul des efforts pour les murs conformément à l'EC2 suit la charte de la CSN P ENV 1992-1-1, annexe 2, paragraphe A2.9.



Par analogie, si des effets des membrane sont présents, pour les 3 efforts de membranes caractéristiques, on a 3 efforts de calcul équivalents qui sont calculés :

nx		n _{xD}
ny	\approx	n _{yD}
n _{xy}		ncD

Ici, la quantité n_{cD} a une signification bien claire : c'est l'effort de compression qui est repris par les bielles de compression de béton. C'est pourquoi, pour être sure que l'écrasement du béton ne se produira pas, la valeur n_{cD} doit être contrôlée pour être inférieure ou égale à f_{cd} .

<u>Attention</u> : ces valeurs de dimensionnement ne sont pas celles utilisées par SCIA Engineer pour le calcul du ferraillage dans le poste de travail « Béton ». Une procédure de transformation plus raffinée est implémentée dans cette partie pour calculer les valeurs de calcul à partir des valeurs de base.

⇒ Valeurs principales

Dans le poste de travail « Résultats », cliquer sur « Contraintes / Déformations 2D », et demander :

 $\begin{array}{l} Combinaison: ELU\\ Type \ de \ valeurs: \ contrainte \ principale\\ Enveloppe: \ maximum\\ Valeur: \ \sigma_{1+} \end{array}$



« 1 » et « 2 » réfèrent aux directions principales, calculées sur la base du cercle de Mohr. La première direction est la direction de la traction maximale (ou du minimum de compression). La seconde direction est la direction de la compression maximale (ou du minimum de traction).

Il faut bien garder à l'esprit que les chemins de ferraillage les plus économiques sont ceux qui suivent les trajectoires des directions principales !

4 COMPARAISON MINDLIN / KICHHOFF

 $\Rightarrow \quad \text{Effort de cisaillement V}_x$

 $\begin{array}{l} Combinaison: ELU\\ Type \ de \ valeurs: valeurs \ de \ base\\ Enveloppe: maximum\\ Valeur: v_x \end{array}$

Mindlin :



Selon une coupe tout en bas avec un maillage de 0,25m :







Selon une coupe tout en bas avec un maillage de 0,25m :



Selon une coupe tout en bas avec un maillage de 0,50m :



⇒ Moment de torsion M_{xy}

 $\begin{array}{l} Combinaison: ELU\\ Type \ de \ valeurs: valeurs \ de \ base\\ Enveloppe: maximum\\ Valeur: m_{xy} \end{array}$

Mindlin :



Selon une coupe tout en bas avec un maillage de 0,25m :



Selon une coupe tout en bas avec un maillage de 0,50m :







Selon une coupe tout en bas avec un maillage de 0,25m :



Selon une coupe tout en bas avec un maillage de 0,50m :



Conclusion :

Kirchhoff donne les efforts de cisaillement attendus. Mindlin donne les moments de torsion attendus.

3.4.3. Configurations de béton

4 CONFIGURATION GÉNÉRALE

⇒ Configuration 1 : paramètres de l'annexe nationale

Ces paramètres se trouvent dans le menu Fichier / Paramètres du projet, en cliquant sur « Annexe nationale » et « EN 1992-1-1 ».

On les retrouve également en cliquant sur le drapeau en haut à droite de l'interface de SCIA Engineer et sur « Gérer les annexes » et « EN 1992-1-1 ».

Type des valeurs	EN standard	Nom EN standard
AN bâtiment 🗹	🖻 - Béton	4 Béton
AN bătiment V Type de fonctionnalité Poutres alvéolées V Précontrainte V	Beton Général Béton Armature prócontrainte Armature prócontrainte Durabilité et enrobage ELU Général Général Général Général Oispositions constructives Dispositions constructives commut Structures 2D et dalles Poinconnement	 Béton Général Béton Béton Annexe nationale EN_1992_1_1 Y_{SH}-coefficient partiel pour l'effet di Valeur [-] 1.00 Y_G - coefficient partiel pour les valet Valeur [-] 1.00 Y_G - coefficient partiel pour les valet Valeur [-] 1.50 / 1.20 f_{ek,max} - valeur maximale de la rési Valeur [-] 1.00 a_{oc} - coefficient pour la prise en cor Valeur [-] 1.00 a_{oc} - coefficient pour la prise en cor Valeur [-] 1.00 k_{Lred} - coefficient pour le calcul du Valeur [-] 0.44 k_{2,red} - coefficient pour le calcul du Formule k_{3,red} - coefficient pour le calcul du Valeur [-] 0.54 k_{4,red} - coefficient pour le calcul du
		Formule Formule

⇒ Configuration 2 : configuration béton

Cette configuration se trouve dans le poste de travail « Béton » : on a l'icône « Configuration béton ».

s :	Configurat	ion complète 🛛 👻	Paramètres d'affich	n 🔻	Reprendre d	A	Annexe Nationale:				
D	escription			Symbole	Valeur	Défaut	Un	Chapitre	Norme	Struc	Type d
tous> ♀			<tou ,<="" th=""><th><tous> \wp</tous></th><th><to <math="">\wp</to></th><th></th><th><tou ,<="" th=""><th><tous> D</tous></th><th><t p<="" th=""><th><to <math="">\wp</to></th></t></th></tou></th></tou>	<tous> \wp</tous>	<to <math="">\wp</to>		<tou ,<="" th=""><th><tous> D</tous></th><th><t p<="" th=""><th><to <math="">\wp</to></th></t></th></tou>	<tous> D</tous>	<t p<="" th=""><th><to <math="">\wp</to></th></t>	<to <math="">\wp</to>	
Pa	ramètres c	de conception par dé	faut								
Þ	Ferraillag	<u>ge</u>									
Þ	Enrobage	minimum									
4 0	otion du sol	veur									
	Général										
	Valeur	mètres de conception par défaut erraillage nrobage minimum on du solveur énéral Valeur limite du contrôle unité Valeur du contrôle unité lorsque le contrôle n Coefficient pour le calcul du bras de levier int Coefficient pour le calcul du bras de levier int Coefficient pour le calcul du bras de levier int Coefficient pour la détermination de l'élémen Fluage et retrait Age du béton à l'instant considéré Humidité relative Type d'introduction du coefficient de flua		Contr.li	1.0	1.0			Independ	Tout (Option
	Valeur	du contrôle unité lors	sque le contrôle n'	Contr.Ncal	3.0	3.0			Independ	Tout (Option
	Coeffic	ient pour le calcul de	la hauteur statiqu	Coeff _d	0.9	0.9			Independ	Tout (Option
	Coeffic	ient pour le calcul du	bras de levier inte	Coeffz	0.9	0.9			Independ	Tout (Option
	Coeffic	ient pour la détermin	ation de l'élément	Coeff _{com}	0.1	0.1			Independ	Tout (Option
	 Fluage 	e et retrait									
	Ag	e du béton à l'instant	considéré	t	18250.00	18250.00	jour	3.1.4.B.1-2	EN 1992-1	Tout (Option
	Hu	midité relative		RH	50	50	%	3.1.4.B.1-2	EN 1992-1	Tout (Option
	Ту	pe d'introduction du c	oefficient de fluage	Type q (t	Auto	Auto		3.1.4(2)	EN 1992-1	Tout (Option
	A	ge du béton à la mise	en charge	t ₀	28.00	28.00	jour	3.1.4(2),B1	EN 1992-1	Tout (Option
	Ter	nir compte du séchag	e et du retrait auto	Type s _{cs} (t;	Auto	Auto		3.1.4(6)	EN 1992-1	Tout (Option
	A	ge du béton au début	du retrait de séch	ts	7.00	7.00	jour	3.1.4(6),B2	EN 1992-1	Tout (Option
	ELS										
	1 lti	liser le module effectif	du héton					7 1(2)	EN 1002-1	Tout (Ontion

Tous les ajustements faits dans l'une ou l'autre de ces configurations sont valables <u>pour l'ensemble du projet</u>, sauf pour les éléments qui ont une « donnée d'élément » modifiée.

4 DONNÉE BÉTON D'ÉLÉMENT

Il est possible d'<u>écraser</u> les données des configurations générales précédentes pour chaque élément, en modifiant les « Données béton d'élément » qui se trouvent dans les propriétés d'un élément.

		MAG	CRO 20) (1) >	DONI	NÉES	BÉTON	D'ÉL	ÉMI	ENT	2D	(1)		
₩		ø			T		2	7						
					No	m (MD2D		-					[
				N	lacro 2	D	01							
			1	lype d	éléme	nt F	laque						1	~
► P	ARAMÈ	TRES	DE CAI	CUL P	AR DÉ	FAUT								
▼ 0	PTION GÉNÉ	I DU SO RAL	OLVEU	2										
Coeff	ficient	pour le	e calcu	l de la	haute	0	.9							
Coeff	icient p	oour le	calcu	du br	as de l	(.9							
Coeffi	cient p	our la	déterr	ninatio	on de l	(.1							
	FLU	JAGE E	T RET	TIAS										_
Age d	u béto	n à l'in	stant	onsid	éré [jo	1	8250.	00						
			Humid	ité rela	ative [9	6] 5	0							
Туре	d'intro	ductio	n du c	oefficie	ent de	1	uto						1	~
Age d	u béto	n à la	mise e	n char	ge [jou	r] 2	8.00							
Tenir	compt	e du se	ichage	et du	retrait	7	luto							~
Âge d	lu béto	n au d	ébut d	u retra	it de s	7	.00							
	ELS	5				_								-
1	Utiliser	le mo	dule ef	fectif	du béte	on (Σ							
	EFFO	RTS IN	TERNE	S										
Déca	lage d	e la co	urbe d	e mon	nent p									
	CALC	UL AS												

Lorsqu'une donnée est modifiée, elle apparait en orange dans les propriétés, et une étiquette « CMD2D » (= Concrete Member Data 2D) apparait sur l'élément 2D qui a été modifié :



Cette étiquette peut être sélectionnée à tout moment pour adapter les données.

L'option « Charger les propriétés de la configuration », en bas de la feuille de propriétés, permet d'effacer toutes les modifications et de revenir aux configurations générales. L'étiquette CMD2D s'enlève alors automatiquement.

3.4.4. Calcul ELU

4 CALCUL DU FERRAILLAGE THÉORIQUE / DÉFINI

⇒ Efforts internes

Les efforts internes sont disponibles depuis le poste de travail « Béton » et « Calcul des efforts internes des éléments 2D béton ».

L'utilisateur peut choisir entre le type de valeurs suivantes :

- « Efforts internes de base » : ces valeurs sont exactement les mêmes que celles du poste de travail « Résultats », elles sont calculées par le solveur MEF.
- « Efforts internes de conception » : ces valeurs sont différentes de celles du poste de travail « Résultats ».
 - Les « valeurs élémentaires de dimensionnement » du poste de travail « Résultats » sont calculées par le <u>solveur MEF</u> selon de simples formules définies dans l'EC-EN.
 - Les « efforts internes de conception » dans le poste de travail « Béton » sont calculées par le <u>solveur NEDIM</u>, par lequel une procédure de transformation plus fine est implémentée, basée sur la <u>théorie de Baumann</u>. Ce sont ces valeurs qui seront utilisées pour le calcul du ferraillage dans SCIA Engineer.

Théorie de Baumann :

1) Calcul du bras de levier

Le bras de levier est nécessaire pour le calcul des efforts surfaciques. La valeur z sera calculée dans la direction de l'angle du premier moment principal. Les efforts seront recalculés et une série de sections sera créée dans cette direction. Le ferraillage sera calculé pour ces efforts recalculés et, à partir du ferraillage calculé, le bras de levier sera calculé.

Estimation du bras de levier interne
Contraintes principales et directions sur les deux faces
$\sigma_{l.} = 0.42 \text{ MPa } \sigma_{ll.} = 0.03 \text{ MPa} \rightarrow \alpha_{z.} = 2.44 = 2.44^{\circ}$
σ ₁₊ = -0.03 MPa σ ₁₁₊ = -0.42 MPa -> α ₂₊ = 2.44 °
-> direction pour le calcul du bras de levier interne $\alpha_z = 2.44$
Moment de flexion recalculé en direction du bras de levier intérieur m _z = 4420.2 (l'effort normal n'est pas pris en compte pour le calcul du bras de levier intérieur)

Bras de levier interne et ses parties

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{cc}}{\gamma_{C}} = \frac{1 \cdot 20 \cdot 10^{6}}{1.5} = 13.33 \text{ MPa}$$

$$d = 210 \text{ mm}$$

$$\eta = 1 - 0.5 \cdot \frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_{cu2}} = 1 - 0.5 \cdot \frac{0.0018}{0.0035} = 0.75$$

$$\beta = 1 - \frac{\frac{\varepsilon_{cu2}}{2} - \frac{\varepsilon_{c2}}{2}}{\varepsilon_{cu2} - \frac{\varepsilon_{cu2}}{2}} = 1 - \frac{\frac{0.0035^{2}}{2} - \frac{0.0018^{2}}{6}}{0.0035^{2} - \frac{0.0018^{2}}{2}} = 0.389$$

$$\xi_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2} + \frac{f_{jk}}{\gamma_{S} \cdot \xi_{S}}} = \frac{0.0035}{0.0035 + \frac{500}{1.15 \cdot 200000}} = 0.617$$

$$x_{bal} = \xi_{bal} \cdot d = 0.617 \cdot 210 = 0.13$$

$$x = \frac{d}{2 \cdot \beta} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - 4 \cdot \beta \cdot \frac{abs(m_{2})}{b \cdot d_{*}^{2} \cdot \eta \cdot f_{cd}}}\right)$$

$$= \frac{0.21}{2 \cdot 0.389} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - 4 \cdot 0.389 \cdot \frac{abs(4420)}{1000 \cdot 0.21^{2} \cdot 0.75 \cdot 13.33}}\right) = 2 \text{ mm}$$

$$z = d - \beta \cdot x = 210 - 0.389 \cdot 2 = 209 \text{ mm}$$

$$z_{+} = 124 \text{ mm}$$

Si la valeur z ne peut pas être calculée, alors elle sera prise égale à 0,9*d.

2) Calcul des efforts normaux aux deux faces de l'élément 2D

Les efforts internes saisis seront recalculés aux deux faces selon les formules suivantes :

Efforts membranaires de base sur la face inférieure

$$n_{x-} = \frac{n_x}{2} + \frac{m_x}{z} = \frac{0}{2} + \frac{4.41}{0.209} = 21.1 \text{ kN/m}$$

$$n_{y-} = \frac{n_y}{2} + \frac{m_y}{z} = \frac{0}{2} + \frac{0.309}{0.209} = 1.5 \text{ kN/m}$$

$$n_{xy-} = \frac{n_{xy}}{2} + \frac{m_{xy}}{z} = \frac{0}{2} + \frac{0.175}{0.209} = 0.8 \text{ kN/m}$$
Efforts membranaires de base sur la face supérieure

$$n_{x+} = \frac{n_x}{2} - \frac{m_x}{z} = \frac{0}{2} - \frac{4.41}{0.209} = -21.1 \text{ kN/m}$$

$$n_{y+} = \frac{n_y}{2} - \frac{m_y}{z} = \frac{0}{2} - \frac{0.309}{0.209} = -1.5 \text{ kN/m}$$

$$n_{xy+} = \frac{n_{xy}}{2} - \frac{m_{xy}}{z} = \frac{0}{2} - \frac{0.175}{0.209} = -0.8 \text{ kN/m}$$

3) Calcul des efforts principaux aux deux faces de l'élément 2D

Les efforts principaux aux deux faces et la direction du premier effort principal seront calculés selon les formules suivantes :





4) Recalcul des efforts principaux aux deux faces des directions saisies

Le recalcul des efforts principaux à la direction saisie sera effectué séparément pour les deux faces en utilisant les formules de transformation de Baumann.





5) Calcul des efforts fictifs aux deux faces des directions saisies

Les efforts virtuels sont nécessaires pour convertir les efforts de compression / traction depuis une face jusqu'au centre de la plaque. L'effort virtuel représente l'effort équivalent de l'autre côté de la plaque.

6) Recalcul des efforts aux deux faces du centre de gravité de la section

En utilisant les efforts transformés et les efforts virtuels, les efforts internes au centre de la plaque peuvent alors être calculés :

```
Efforts membranaires de conception dans les directions du ferraillage sur la face inférieure recalculés selon l'axe médian n_{Ed1-} = n_1 + n_{1+,vint} = 21.9 + 20.3 = 1.7 \text{ kN/m}

m_{Ed1-} = n_1 + 2 - n_{1+,vint} + 2 = 21.9 + 85 - 20.3 + 124 = 4.4 \text{ kNm/m}

n_{Ed2-} = n_2 + n_{2+,vint} = 2.3 + 0.6 = 1.7 \text{ kN/m}

m_{Ed2-} = n_2 + n_{2+,vint} = 2.3 + 0.6 = 1.7 \text{ kN/m}

m_{Ed2-} = n_2 + n_{2+,vint} + 2 = 2.3 + 85 - 0.6 + 124 = 0.3 \text{ kNm/m}

n_{Ed3-} = n_2 + n_{2+,vint} + 2 = 2.3 + 85 - 0.6 + 124 = 0.3 \text{ kNm/m}

m_{Ed3-} = n_2 + n_{2+,vint} + 2 = -1.7 + 1.7 = -3.3 \text{ kN/m}

m_{Ed3-} = n_2 + 2 - n_{2+,vint} + 2 = -1.7 + 85 - -1.7 + 124 = 0.1 \text{ kNm/m}

Efforts membranaires de conception dans les directions du ferraillage sur la face supérieure recalculés selon l'axe médian

n_{Ed1+} = n_{1+} + n_{1-,vint} + 21.9 = 1.7 \text{ kN/m}

m_{Ed2+} = n_{2+} + n_{2-,vint} + 21.9 = 1.7 \text{ kN/m}

m_{Ed2+} = n_{2+} + n_{2-,vint} + 2 = -20.3 + 124 + 21.9 + 85 = 4.4 \text{ kNm/m}

n_{Ed2+} = n_{2+} + n_{2-,vint} + 2 = -0.6 + 124 + 2.3 + 85 = 0.3 \text{ kNm/m}

m_{Ed2+} = n_{2+} + n_{2-,vint} + 2 = -0.6 + 124 + 2.3 + 85 = 0.3 \text{ kNm/m}

n_{Ed3+} = n_{2+} + n_{2-,vint} = -1.7 + -1.7 = -3.3 \text{ kN/m}

m_{Ed3+} = n_{2+} + n_{2-,vint} + 2 = -1.7 + 1.7 + 3.8 \text{ kN/m}

m_{Ed3+} = n_{2+} + n_{2-,vint} = -1.7 + -1.7 = -3.3 \text{ kN/m}
```

Les valeurs disponibles sont les suivantes : $m_{Ed,1+}$, $m_{Ed,2+}$, $m_{Ed,1-}$, $m_{Ed,2-}$, $m_{Ed,c-}$, $n_{Ed,1+}$, $n_{Ed,2+}$, $n_{Ed,c+}$, $n_{Ed,2-}$, $n_{Ed,c-}$, $n_{Ed,2-}$

Les signes + et – sont pour les valeurs de calcul sur, respectivement, la face positive et la face négative de l'axe local z de l'élément 2D.

« 1 » et « 2 » sont pour les directions de ferraillage, qui sont par défaut, respectivement, la direction des axes locaux x et y de l'élément 2D.

Les valeurs m_{Ed,c+} et m_{Ed,c-} sont les moments de calcul qui devraient être repris par le béton, mais ils n'ont pas de réel signification pour le calcul du ferraillage.

Combinaison : ELU

Type de valeurs : efforts internes de conception Valeur : $m_{Ed,1+}$



Comparons ce résultat $m_{Ed,1+}$ (du poste de travail « Béton ») avec le résultat de l'effort élémentaire de conception m_{xD+} du poste de travail « Résultats » (cf chapitre précédent).

Malgré les différentes procédures de transformation, l'image générale des résultats sera similaire pour les directions de ferraillage orthogonales (c'est-à-dire selon les axes locaux x et y). La différence la plus grande est causée par le décalage de la courbe de moment qui n'est prise en compte que dans les efforts internes de conception par le solveur NEDIM (valeurs m_{Ed,1} et m_{Ed,2}).

Le décalage de la courbe de moment prend en compte l'effort de traction supplémentaire dû à l'effort de cisaillement par le décalage de la ligne de moment par une distance a_i , a_i étant déterminée comme sur l'image ci-dessous :



L'option de décalage de la courbe de moment se trouve dans la « Configuration béton » :

es : Configuration complète 🛛 🖌 Paramètres d'affi	:h 🔻	Reprendre	léfaut		Cherche	r4	Annexe Nat	ionale:		
Description	Symbole	Valeur	Défaut	Un	Chapitre	Norme	Struc	Type	F	Remarque
tous> 🔎	<tou)<="" td=""><td><tous> D</tous></td><td><to <math="">\rho</to></td><td></td><td><tou)<="" td=""><td><tous> }</tous></td><td>) <t p<="" td=""><td><to 0<="" td=""><td></td><td></td></to></td></t></td></tou></td></tou>	<tous> D</tous>	<to <math="">\rho</to>		<tou)<="" td=""><td><tous> }</tous></td><td>) <t p<="" td=""><td><to 0<="" td=""><td></td><td></td></to></td></t></td></tou>	<tous> }</tous>) <t p<="" td=""><td><to 0<="" td=""><td></td><td></td></to></td></t>	<to 0<="" td=""><td></td><td></td></to>		
Paramètres de conception par défaut										
▷ Ferraillage										
▷ Enrobage minimum										
Option du solveur										
Ø Général										
 Efforts internes 										
Réduction de l'effort tranchant sur les appuis					6.2.1(8)	EN 1992-1	Poutre	Option		1D: a _i = Coeff _z · d · (cot θ - cot α) / 2
Réduction du moment sur les appuis					5.3.2.2 (4)	EN 1992-1	Poutre	Option		2D: a, = d
Décalage de la courbe de moment pour couvr					9.2.1.3(2)	EN 1992-1	Poutre	Option	<<	
Imperfection géométrique dans l'ELU	9,ULS				5.2(2)	EN 1992-1	Poteau	Option		
Imperfection géométrique dans l'ELS	ei.sls				5.2(3)	EN 1992-1	Poteau	Option		
Excentricité minimale	emin	Dans exc	Dans ex		6.1(4)	EN 1992-1	Poteau	Option		
Excentricité de premier ordre avec le moment		Image: A start and a start	1		5.8.8.2(2)	EN 1992-1	Poteau	Option		
Excentricité de second ordre	e2	Courbure	Courbu		5.8.5	EN 1992-1	Poteau	Option		
Coefficient de fluage effectif M _{DEqp} /M _{DEd}	Coeff	1.00	1.00		5.8.4(2)	EN 1992-1	Poteau	Option	S	i cette option est activée, l'effort de traction addition
Modification des efforts internes									c	ausé par l'effort tranchant est pris en compte à l'aide
Calcul As									d	écalage du diagramme des moments de flexion
Conversion en barres d'armature										
N Diagramme d'interaction										

Si on décoche cette option, l'image est plus proche de celle que l'on a pour l'effort élémentaire de conception m_{xD^+} du poste de travail « Résultats » (cf chapitre précédent) :



⇒ Ferraillage défini

Avant de calcul le ferraillage théorique, il est possible d'ajouter un gabarit de ferraillage à la plaque. Ce gabarit peut être utilisé pour :

- Comparer le gabarit avec le ferraillage théorique calculé. Par cela, il est facile de voir où ce gabarit de base n'est pas suffisant.
- Effectuer le calcul du poinçonnement, le contrôle d'ouverture de fissures et de flèche (CDD).

Le ferraillage ajouté par le gabarit est appelé « Ferraillage défini ».

Un ferraillage défini peut être ajouté dans la « Configuration béton » :

: Cor	nfigu	ratio	on complète 🛛 👻	Paramètres d'affich 🔻		Reprend	lre d	léfaut	Cherche	r			Annexe Na	ationale: 🤾	2
Descri	iptior	1				Symbol	e	Valeur	Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Structu	Type de	Π
us> 🔎			<tous></tous>	2	<tous></tous>	<tous> D</tous>	<	<tous> D</tous>	<tous> ρ</tous>	<tou ,<="" td=""><td><tou <math="">{\cal P}</tou></td><td></td></tou>	<tou <math="">{\cal P}</tou>				
aram	nètre	s de	e conception par déf	faut											
Fe	rrail	lage	•												Ш
Þ	Pou	tre	/ Nervure												
Þ	Pou	tre	-dalle												Ш
Þ	Pot	eau	I												
∡ Plaque		que													
	 Longitudinal 														
			Conception de l'arma	ature fournie					Image: A start of the start			Independent	Plaque,C	Paramèt	
			Modèle de concepti	ion de l'armature définie				Plate .	. Plate			Independent	Plaque,C	Paramèt	н
		4	Sup (z+)												
			Type d'enrobage			Type _{c+}		Auto	Auto		4.4.1	EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt	
			Diamètre du 1er l	lit		d _{s1+}		10.0	10.0	mm		EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt	
			Angle de la direct	ion du premier lit		a ₁₊		0.00	0.00	deg		EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt	
			Diamètre du 2e lit	t		d _{s2+}		10.0	10.0	mm		EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt	
			Angle de la direct	ion du second lit		a2+		90.00	90.00	deg		EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt	
		4	Inf (z-)												
			Type d'enrobage			Type _{c-}		Auto	Auto		4.4.1	EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt	
			Diamètre du 1er l	lit		ds1-		10.0	10.0	mm		EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt	
			Angle de la direct	ion du premier lit		a1.		0.00	0.00	deg		EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt	

En cliquant sur les trois points en face de « Modèle de conception de l'armature définie », une fenêtre s'ouvre avec le gabarit par défaut :



Vous pouvez sélectionner l'un des gabarits, s'il y en a plusieurs, en créer un nouveau, ou modifier un existant. Ici sélectionner et modifier le seul disponible :

le l'armature définie (dimensionnement) - Plate							_		\times
standard v	Armatures long	tudinales mature de ba	E Par dia	mètra V					
∧ -		C	e base (As,ba	s)		Addition	nel (As,add)		
Λ^2	Calque	Diamètre	Espacem	As	Туре	Diamètre	Espacem	As	
		[mm]	[mm]	[mm^2/m]	-	[mm]	[mm]	[mm^2/n	m]
	[1+]	10.0	200	393	Liste par e	10.0	0;100;200		8,
	[2+]	10.0	200	393	Liste par e	10.0	0;100;200		8;
(2)	[1-]	10.0	200	393	Liste par e	10.0	0;100;200		8°
	[2-]	10.0	200	393	Liste par e	10.0	0;100;200	0;785;393	B.;
							ок	Annule	er

Dans cette fenêtre, le ferraillage peut être défini. Il existe deux types de ferraillage dans le gabarit :

- Le <u>ferraillage de base</u> : ce ferraillage est ajouté à toute la plaque.
- Le <u>ferraillage additionnel</u> : ce ferraillage est ajouté uniquement dans les zones où, selon le ferraillage théorique calculé, des armatures supplémentaires sont nécessaires. On peut imposer un diamètre et un espacement, ou alors on peut imposer un diamètre et définir une liste d'espacement, ou bien à l'inverse imposer un espacement et définir une liste de diamètres.

NB :

- Le diamètre utilisé pour le ferraillage additionnel est également utilisé pour effectuer le calcul du ferraillage théorique.
- Dans la « Configuration béton », on peut changer les directions de ferraillage. Ces directions sont respectées aussi bien pour le ferraillage défini que pour le ferraillage théorique.

: Configuration complète 🛛 Y Paramètres d'affich 🔻	F	eprend	lre d	éfaut		Cherche	r			Annexe Na	ationale:
Description	S	ymbol	e	Valeur		Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Structu	Type de
us>	2	tous>	2	<tous></tous>	P	<tous> D</tous>	<	<tous> D</tous>	<tous> ρ</tous>	<tou ,<="" th=""><th><tou d<="" th=""></tou></th></tou>	<tou d<="" th=""></tou>
Paramètres de conception par défaut					_						
4 Ferraillage											
Poutre / Nervure											
▷ Poutre-dalle											
⊳ Poteau											
▲ Plaque											
 Longitudinal 											
Conception de l'armature fournie				Z					Independent	Plaque,C	Paramèt
Modèle de conception de l'armature définie				Plate		Plate			Independent	Plaque,C	Paramèt
∡ Sup (z+)											
Type d'enrobage	T	ype _{c+}		Auto		Auto		4.4.1	EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt
Diamètre du 1er lit	d	s1+		10.0		10.0	mm		EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt
Angle de la direction du premier lit	α	1+		0.00		0.00	deg		EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt
Diamètre du 2e lit	d	52+		10.0		10.0	mm		EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt
Angle de la direction du second lit	a	2+		90.00		90.00	deg		EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt
∡ Inf (z-)											
Type d'enrobage	T	ype _{c-}		Auto		Auto		4.4.1	EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt
Diamètre du 1er lit	d	s1-		10.0		10.0	mm		EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt
Angle de la direction du premier lit	α	-		0.00		0.00	deg		EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt
Diamètre du 2e lit	d	\$2-		10.0		10.0	mm		EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt
Angle de la direction du second lit	a	2-		90.00		90.00	deg		EN 1992-1-1	Plaque,C	Paramèt

⇒ Ferraillage théorique

Le ferraillage théorique peut être affiché via le poste de travail « Béton » et « Calcul du ferraillage des éléments 2D béton ».

Dans le « Type de valeurs », on a :

- Le <u>ferraillage requis</u> : ces valeurs représentent le ferraillage théorique calculé par SCIA Engineer. Il prend en compte les dispositions constructives.

4 P	laque, Coque(Plaque)		-				
	Longitudinal		-				
	Contrôle taux min. armature principale			~		9.3.1.1(1)	EN 1992-1-1
	Type d'armature principale tendue pour la face supérie		Auto	Auto			Independent
	Type d'armature principale tendue pour la face inférieu		Auto	Auto			Independent
	Appliquer le pourcentage de ferraillage mini.		Dans la zon	Dans la		9.3.1.1(1)	EN 1992-1-1
	Contrôle taux max. armature principale		Z	~		9.3.1.1(1)	EN 1992-1-1
	Contrôle taux transversal min. armature secondaire					9.3.1.1(2)	EN 1992-1-1
	Contrôle de l'espacement minimal des barres		Image: A start and a start	~		8.2(2)	EN 1992-1-1
	Distance minimale entre barres :	slp.min	20	20	mm	8.2(2)	EN 1992-1-1
	Contrôle espac. max. arm. principale longitudinale		Image: A state of the state	~		9.3.1.1(3)	EN 1992-1-1
	Contrôle espac. max. armature secondaire longitudinale			¥		9.3.1.1(3)	EN 1992-1-1
	Cisaillement		-				
	Contrôler le taux min. d'armature d'effort tranchant		~	V		9.3.2(2)	EN 1992-1-1
	Contrôler l'ép. min. des élts avec armature d'effort tranch			~		9.3.2(1)	EN 1992-1-1
	Ép. min. des élts avec armature d'effort tranchant	h _{min}	200	200	mm	9.3.2(1)	EN 1992-1-1
	Contrôler espacem. max. des étriers			~		9.3.2(4)	EN 1992-1-1
	Espacement max. des étriers	Coeff _{smax.p.s}	0.8	0.8		9.3.2(4)	EN 1992-1-1

Par exemple sous poids propre, on a $A_{s,req,1+}$ égal à :



A_{s,req,1+} est le ferraillage théorique nécessaire sur la face supérieure de la plaque (direction z positif) dans la première direction de ferraillage. Les dispositions constructives sont prises en compte.

 Le <u>ferraillage requis - statiquement</u> : ces valeurs représentent le ferraillage théorique calculé par SCIA Engineer SANS prendre en compte les dispositions constructives.

Par exemple sous poids propre, on a As,ult,1+ égal à :



A_{s,ult,1+} est le ferraillage théorique nécessaire sur la face supérieure de la plaque (direction z positif) dans la première direction de ferraillage, SANS prise en compte des dispositions constructives.

 Le <u>ferraillage requis – non couvert</u> : ces valeurs montrent s'il manque du ferraillage, après vérification du ferraillage défini.

Dans les zones où s'affiche 0, alors il n'y a pas besoin de plus de ferraillage (comparé au ferraillage défini). Dans les zones où une valeur autre que 0 s'affiche, alors le ferraillage défini n'est pas suffisant.

Par exemple sous poids propre, on a $\Delta A_{s,req,1+}$ égal à :



 $\Delta A_{s,req,1+}$ est le ferraillage théorique manquant (en plus du ferraillage défini) sur la face supérieure de la plaque (direction z positif) dans la première direction de ferraillage.

Autre exemple sous combinaisons ELU :



Le ferraillage défini : ces valeurs représentent le ferraillage qui a été défini dans le gabarit.

Par exemple sous poids propre, on a $N_{\varphi,prov,1+}$ égal à :



 $N_{\phi,prov,1+}$ est le ferraillage défini sur la plaque. Les zones rouges montrent que le ferraillage additionnel dans le gabarit n'est pas suffisant.

⇒ Calcul du ferraillage longitudinal

Le ferraillage longitudinal théorique est calculé à partir des efforts internes de conception.





⇒ Calcul du ferraillage d'effort tranchant

Avant le calcul du ferraillage d'effort tranchant, deux vérifications sont faites :

 V_{Ed} ≤ V_{Rd,max} : les efforts internes de calcul sur la plaque doivent être inférieurs ou égaux à la résistance en cisaillement maximale de la plaque.

$$V_{\rm Rd,max} = \frac{\alpha_{\rm cw}.\,b_{\rm w}.\,z.\,\nu_1.\,f_{\rm cd}}{({\rm cotg}\theta + {\rm tg}\theta)}$$

 V_{Ed} < V_{Rdc}: dans ce cas, aucune armature d'effort tranchant n'est nécessaire. Si ce n'est pas le cas, un ferraillage de poinçonnement sera automatiquement calculé par SCIA Engineer.

$$\begin{split} v_{Rdc} &= max \left(10^{6} \cdot \left(C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_{1} \cdot f_{dc})^{\frac{1}{3}} + k_{1} \cdot \sigma_{qp} \right) \cdot d_{1}0 \right) \\ &= max \left(10^{6} \cdot \left(0.12 \cdot 1.98 \cdot (100 \cdot 3.24 \cdot 10^{-3} \cdot 20)^{\frac{1}{3}} + 0.15 \cdot 0 \right) \cdot 0.21; 0 \right) = 92.8 \text{ kN/m} \\ v_{Rdcmin} &= max \left(10^{6} \cdot (v_{min} + k_{1} \cdot \sigma_{qp}) \cdot d_{1}0 \right) = max \left(10^{6} \cdot (0.435 + 0.15 \cdot 0) \cdot 0.21; 0 \right) = 91.3 \text{ kN/m} \\ v_{Rdc} &= max \left(v_{Rdc} \cdot v_{Rdcmin} \right) = max \left(92.8 \text{ kN/m}; 91.3 \text{ kN/m} \right) = 92.8 \text{ kN/m} \end{split}$$

Contrôle v _{Rd,max} v _{Ed} = 783 kN/m > v _{Rd,max} = 578 kN/m (PAS OK)
Warning: La résistance de la bielle virtuelle de béton comprimé pour l'effort tranchant est épuisée (vEd > vRd,max).
Contrôle v _{Rdc} v _{Ed} = 783 kN/m > v _{Rdc} = 92.8 kN/m (PAS OK, armature d'effort tranchant nécessaire)

Lorsque $V_{Ed} > V_{Rd,max}$, l'avertissement ci-dessus apparait dans la sortie du calcul du ferraillage.

Ce message avertit sur les endroits où on peut observer des pics de contraintes de cisaillement. La plupart du temps, ces pics sont des singularités qui ne reflètent pas la réalité. On a alors deux options : ou bien ignorer ces pics de valeurs, ou bien les moyenner en utilisant par exemple les bandes de lissage.

4 CALCUL DU FERRAILLAGE PRATIQUE

En plus du ferraillage théorique et défini, il est possible de définir un ferraillage <u>pratique</u>, aussi appelé <u>utilisateur</u>. Ce type de ferraillage peut être ajouté à une plaque par le poste de travail « Béton » et « Ferraillage élément 2D ».



Ce ferraillage doit être ajouté séparément sur la face supérieure et inférieure, et dans les différentes directions de ferraillage.



NB : L'utilisateur peut ajouter plusieurs couches de ferraillage sur une même zone. Le ferraillage dans cette zone est la somme de toutes ces couches.

PRISE EN COMPTE A LA FOIS DU FERRAILLAGE DÉFINI ET DU FERRAILLAGE UTILISATEUR

Après calcul du ferraillage, il est possible que le ferraillage défini soit insuffisant dans certaines zones. Cela signifie que l'utilisateur devrait introduire du ferraillage supplémentaire. Dans ce cas, l'utilisateur a deux possibilités :

- Ou bien définir tout le ferraillage comme « utilisateur »,
- Ou bien combiner le ferraillage défini et le ferraillage pratique / utilisateur, qui sera uniquement défini dans les zones où un ferraillage supplémentaire est nécessaire.

Ce principe est explicité ci-après en utilisant l'exemple pour le ferraillage ELU, dans la direction 1 (ou local x). Dans la « Configuration béton », l'utilisateur peut paramétrer un gabarit de ferraillage défini qui sera utilisé dans le calcul du ferraillage : le ferraillage de base sera du ϕ 10 tous les 150mm, et le ferraillage additionnel sera mis à 0 :

Armatures longitudinales Armatures longitudinales Définition de l'armature de base: Par diamètre v De base (As,bas) Additionnel (As,add) Calque Diamètre Espacem As Type Diamètre Es	lition de l'an ype d'éléme ection	mature définie (dimensionnemen nt Plaque, Coque(Plaque) v	t) - Plate									>
Image: constraint of the second se	lode	Standard Y	Arma	tures longit	udinales	■₀ ■₀						
Image: constraint of the system Z Image: constraint of the system As Type Diamètre Espacem As Type Diamètre Espacem As (1)			Définit	tion de l'arn	nature de bas	e: Par dia	mètre 🔻					
Calque Diamètre Espacem As Type Diamètre Espacem As (mm) (mm) <td></td> <td>∧₇</td> <td></td> <td></td> <td>D</td> <td>e base (As,ba</td> <td>s)</td> <td></td> <td>Addition</td> <td>nel (As,add)</td> <td></td> <td></td>		∧ ₇			D	e base (As,ba	s)		Addition	nel (As,add)		
+) (m) (mm) (mm) <t< td=""><td></td><td></td><td></td><td>Calque</td><td>Diamètre</td><td>Espacem</td><td>As</td><td>Туре</td><td>Diamètre</td><td>Espacem</td><td>As</td><td>s</td></t<>				Calque	Diamètre	Espacem	As	Туре	Diamètre	Espacem	As	s
+) (1) (2) (2) (1-1) (1-2) (1-					[mm]	[mm]	[mm^2/m]	-	[mm]	[mm]	[mm^2	2/m
+) (1) (2) (2) (2) (1-1) (1-2)				1+]	10.0	150	524	Liste par e	10.0	0		
(1) 100 150 524 Liste par e 10.0 0 0 [2:] 10.0 150 524 Liste par e 10.0 0 0	+)		[2	2+]	10.0	150	524	Liste par e	10.0	0		
		(1)	(2)	1-]	10.0	150	524	Liste par e	10.0	0		
	(-) X											

Lorsqu'on demande l'affichage de N_{ϕ ,prov,1-} pour les combinaisons ELU, on voit que le ferraillage défini de ϕ 10 tous les 150mm est insuffisant pour répondre aux charges appliquées. Un ferraillage supplémentaire est donc nécessaire.



Si on demande l'affichage de $\Delta A_{s,req,1-}$, l'utilisateur peut voir la quantité exact de ferraillage en mm²/m qui doit être ajoutée en plus du ferraillage défini. Dans ce cas, un ferraillage supplémentaire de 591mm²/m est nécessaire.



Cette valeur peut être traduite par la configuration de ϕ 10 tous les 100mm avec un ferraillage pratique / utilisateur. Comme il n'y a pas besoin de ferraillage supplémentaire dans la direction 2, une seule direction de ferraillage sera ajoutée à l'élément 2D.

Ferraillage 2D			×
	Nom Macro 2D	RR1 D1	
1111111	4 Armature		
	Туре	Barres	*
	Matériau	B 500A 🗸	
	Surface	Inf	*
	Nombre de directions	1	*
	Angle 1ère direction [deg]	0.00	
	Diamètre (dl) [mm]	10.0	
ļ	Enrobage (cl,cu) [mm]	40	
1	Décalage [mm]	0	
• • • • •	Espacement (sl) [mm]	100	
cl	Aire d'acier [mm^2/m]	785	
sl sl ødi	Poids total [kg]	359.44	
+ + + <i>p</i>	▲ Géométrie		
	Géométrie définie par	Polygone	*
		Reprendre config. base >>	>
		OK Annu	ler



Lorsqu'on génère à nouveau l'affichage de $N_{\phi,prov,1-}$ en activant l'option « Prendre en compte le ferraillage utilisateur », on voit que les ϕ 10 tous les 100mm (ferraillage pratique / utilisateur) ont été ajoutés au ferraillage basique de ϕ 10 tous les 150mm (qui avaient été définis par le ferraillage défini basique) :



Les valeurs appliquées sont visibles dans la sortie du calcul de ferraillage :

	Défini		d ₁	Asmin	Asut	ΔA _{sserv}	Asreg	Asprov	Asmax	GL,prov	Smin	Smax	UCAspro
	N _{e,prov,bas}	Nø,provædd	[mm]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	$[kg/m^3]$	[mm]	[mm]	[-]
[1+]	ø10/150		35	279	1147	-	1147	525	10000	16.5	58	60	2.19 ¥
0°							0.46%	0.21%			≥21	≤400	
[2+]	ø10/150		45	267	1444	-	1444	525	10000	16.5	58	60	2.76 ¥
90°							0.58%	0.21%			≥21	≤400	
[1-]	ø10/150	ø10/100	35	279	852	-	852	1309	10000	41.1	55	60	0.65
0°							0.34%	0.52%			≥21	≤400	
[2-]	ø10/150		45	267	554	-	554	525	10000	0 16.5	58	60	1.06 🗶
90°							0.22%	0.21%			≥21	≤400	

 $A_{4,NQ}$ - aire d'armature requise en tant que max($A_{4,ut}A_{4,mit}$)+ $\Delta A_{4,5mit}$, $A_{6,5mit}$ - aire d'armature fournie; $A_{4,min,max}$ - aire d'armature min/max; $S_{max(mit)}$ - espacement maximum des barres (distance libre minimum entre les barres)

L'option « Prendre en compte le ferraillage utilisateur » est également accessible pour tous les contrôles de ferraillage : ouverture de fissures, poinçonnement et flèche CDD. Cela permet à l'utilisateur de facilement vérifier le ferraillage introduit via le gabarit et aussi par le ferraillage pratique / utilisateur.

3.4.5. Calcul ELS des éléments 2D – Ouverture de fissures et limitation de contraintes

En plus du calcul ELUS des éléments 2D, l'Eurocode définit également quelques restrictions liées au calcul ELS, plus particulièrement l'ouverture de fissures et la limitation des contraintes de traction dans les armatures. A cause de ces conditions ELS, l'utilisateur pourrait avoir besoin d'augmenter la quantité de ferraillage qui doit être suffisante pour satisfaire les efforts ELU. La quantité totale de ferraillage pour remplir à la fois les conditions ELU et ELS peut être calculée dans SCIA, de même que l'augmentation du ferraillage requis statiquement.

Le principe de cette méthode de calcul sera expliquée par l'exemple suivant d'une plaque 2D. Sur cet élément, une donnée béton 2D (CMD = Concrete Member Data) sera appliquée dans laquelle une ouverture limite de fissures dans la première direction sur la face inférieure sera définie à 0,100mm. La contrainte de traction dans les armatures peut être limitée à la fois dans la « Configuration béton » et dans la donnée béton 2D (CMD). Dans cet exemple, la limite sera définie à 150MPa.

		MAG	CRO 2D	(1) >	DONN	NÉES E	BÉTON	D'ÉLÉ	MENT 2	D (1)	
₿		ø					7	4	74		
Âge d	lu béto	n au d	ébut d	u retra	it de s	7	.00				
1	ELS	5				_					
	Utiliser	le mo	dule ef	fectif d	lu béto	on (\sum				
	EFFO	RTS IN	TERNE	S							
Déca	lage d	e la co	urbe d	e mon	nent p	(Σ				
4	CALC	UL AS AQUE,	VOILE,	coqu	E(PLA	QUE),	co				
Coeffi	cient p	our au	igment	er l'air	re stat	0	.00				
Coeffi	cient p	our au	igment	er l'air	re stat	0	.00				
1	DIAG	RAMME	D'INTI	RACT	ION						
Mét	hode	du diag	gramm	e d'int	eractio	on N	RdMR	d			
	CISAI	LLEME	NT								
Туре	de cal	cul/int	roduct	ion de	l'angl		tilisat	eur (a	ngle)		
P	Ingle d	le la bi	elle cor	nprim	ée [de	g] _4	0.00				
Cota	ingent	e de l'a	ngle d	e la bie	elle co	1	.19175	53592	59421		
	LIMIT	ATION	DES CO	ONTRA	INTES						
		Contra	inte lin	nite ar	matur	es S	aisie u	tilisat	eur		
Contr	ainte li	mite d	ans l'a	rmatu	re [MP	a] 1	50.0				
Trees	EFFO	RTS DE	FISSU	RATIO	N		[atum]				
туре	de resi	stance	pour	e calci	u de la		{ctm}				
Valeu	r de la	résista	ince po	our le c	alcul	t	_{ct,ef	1}			
Tun	OUVE	RTUR	DE FI	SSURE	avima		arcon	alicá	nour diff	óranta	c f
Тур	e u ou	oficcu	e ue na	anali			100	latise	pour un	erente	51
Ouver	ture d	e fissu	e perso	nnaus	sée po	0	100				
Ouver	ELÈCI		le perso	maus	see po		.100				
Coeffi	cient	le mai	oration	de l'a	rmatu	re 1					
	Fl	èche to	otale m	axima	le [mr	n] 2	5				
Flè	che ad	dition	nelle m	axima	le [mr	n] 1	5				
1	DISPO	OSITIO	NS CO	NSTRU	CTIVE	s		-			_
	PL/	QUE,	COQUE	(PLAQ	UE)						
Appl	iquer l	e pour	centag	e de fe	rrailla	D	ans la	zone	tendue u	niquen	nent
1	PO	INÇON	NEMEN	т							
Arran	ger au	tomat	queme	ent les	périm		\odot				

nitation des contraintes		
Charge indirecte (déformation imposée)		7.2(5)
Contrainte limite armatures	Auto 🔺 Auto	7.2(5)
orts de fissuration	Auto	
verture de fissure	Limite d'élasticité	
ches	Saisie utilisateur	
	nitation des contraintes Charge indirecte (déformation imposée) Contrainte limite armatures orts de fissuration verture de fissure ches	hitation des contraintes Charge indirecte (déformation imposée) Contrainte limite armatures Auto Auto Auto Auto Verture de fissure Charge Char

Puisque cette méthode de calcul est applicable pour l'ELU et pour l'ELS, il est important de sélectionner une classe de résultat qui contient à la fois les combinaisons ELU et ELS :

RÉSULTA	TS (1)	
Nom	Dimensionnement du f	erraillage 2D
SÉLECTION		
Type de sélection	Tout	\sim
Filtre	Non	\sim
CAS DE RÉSULTAT		
Type de charge	Classes	\sim
Classe	Tous ELU+ELS	\sim
Enveloppe (pour dessin 2D)	Extrême absolu	~

La première étape de la procédure de calcul consiste en la détermination de A_{s,req} à l'ELU pour chaque direction et pour chaque face. Pendant cette étape, SCIA déterminera deux valeurs, et plus particulièrement :

- As,ult : le ferraillage requis statiquement pour supporter les charges ELU.
- A_{s,req} : le ferraillage requis incluant les dispositions constructives de l'EN.

Dans l'exemple donné, le ferraillage théorique $A_{s,req,1-}$ est égal à 1619mm²/m. Le ferraillage requis statiquement $A_{s,ult,1-}$ est égal à 1115mm²/m. Cette valeur est un plus basse puisque ne contient pas l'augmentation du ferraillage longitudinal du au calcul ELS.





Après le calcul de A_{s,ult}, l'utilisateur peut choisir d'intégrer la restriction ELS et a alors trois possibilités :

- Combinaison du calcul ELU et ELS basé sur l'ouverture des fissures.
- Combinaison du calcul ELU et ELS basé sur la limitation des contraintes.
- Combinaison du calcul ELU et ELS basé sur l'ouverture des fissures et la limitation des contraintes.

Cela peut être défini dans les propriétés du calcul du ferraillage :

 CONDITION D'ÉTAT LI 	MITE
Co	nception ELU
Dimensionnement ELS (ou	verture fiss 💽
Dimensionnement ELS (co	ontraintes a 💽

Après avoir activé ces options, l'augmentation du ferraillage longitudinal peut être générée, dans ce cas la valeur $\Delta A_{s_{serv,1-}}$. SCIA déterminera les efforts principaux m_{Ed,cara} et m_{Ed,QP} dans le but de calculer l'apparition des fissures à partir de A_{s,ult}, le ferraillage ELU calculé. En plus des efforts principaux, il est aussi nécessaire de calculer la quantité de ferraillage dans la direction des efforts principaux.

Dans l'étape suivante, SCIA déterminera l'ouverture de fissures maximale autorisée conformément à l'art. 7.3.4 de l'EN 1992-1-1 :2004 et la comparera à la limite définie :



Si les ouvertures de fissures se trouvent dans la limite, alors $A_{s,ult}$ est suffisant pour remplir les restrictions de l'ELU et aussi de l'ELS. Sinon, alors SCIA démarrera le processus d'itération pour augmenter $A_{s,ult}$ par une quantité supplémentaire de ferraillage pour s'assurer que l'ouverture de fissures soit dans les limites. En regardant le tableau ci-dessous, on peut voir qu'une quantité supplémentaire de 516mm²/m pour la première direction en partie inférieure de l'élément doit être ajoutée au ferraillage $A_{s,ult,1-}$:

	Défini		d ₁	Asmin	Asult	AA	Asreo	Asprov	A _{s.max}	GLprov	Smin	Smax	UCAS.DID																		
	N _{e,prov,bas}	N _{e,prov,add}	[mm]	[mm ²]	[kg/m ³]	[mm]	[mm]	[-]																							
[1+]	ø10/150		35	-	-	0	-	524	10000	16.5	58	60	0.00																		
0°							-	0.21%			≥21	≤400																			
[2+]	ø10/150		45	267	114	0	267	524	10000	16.5	58	60	0.51																		
90°							0.11%	0.21%			≥21	≤400																			
[1-]	ø10/150	ø10/100 [°]	35	ø10/100° 35	279	1103	516	1619	1310 10000	10000	0 10000	0 10000	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	55	60	1.24 ×
0°							0.65%	0.52%			≥21	≤400																			
[2-]	ø10/150		45	267	89	0	267	524	10000	16.5	58	60	0.51																		
90°							0.11%	0.21%			≥21	≤400																			

(ini - espacement maximum des barres (distance libre minimum entre les barres

Lorsqu'on regarde la sortie pour $\Delta A_{s_{serv},1-}$:

min/max; smaxt



Si cette valeur de $\Delta A_{s_{serv},1-}$ est ajoutée à $A_{s,ult,1-}$, il en résulte alors $A_{s,req,1-}$. Pour faire court, on peut résumer comme suit :

- A_{s,req,i,+/-} : section de ferraillage théorique pour l'ELU et l'ELS incluant les dispositions constructives pour la direction spécifique (1,2) et la face spécifique (+,-).
- A_{s,ult,i,+/-}: ferraillage requis statiquement basé sur l'ELU pour la direction spécifique (1,2) et la face spécifique (+,-).
- ΔA_{sserv,i,+/-}: augmentation du ferraillage requis statiquement basé sur l'ELS pour la direction spécifique (1,2) et la face spécifique (+,-).

La même procédure peut être appliqué pour la limite de la contrainte en traction dans les armatures. Dans ce cas, SCIA déterminera la quantité de ferraillage à l'ELU et utilisera ce ferraillage pour calculer les contraintes dans les barres. Cette valeur sera ensuite comparée à la limite définie. La limite peut être définie dans la « Configuration béton » ou bien dans les données béton 2D. L'utilisateur a trois possibilités pour définir la limite des contraintes :

- « Auto » : basé sur la définition de l'annexe nationale, art. 7.2(5)
- « Limite d'élasticité » : la limite est déterminée à partir de f_{yk} (limite élastique caractéristique du ferraillage)
- « Saisie utilisateur » : la limite doit être décidée par l'utilisateur.

Cela peut être contrôlé dans la sortie. Dans cet exemple, l'utilisateur avait défini une valeur de 150MPa que l'on peut retrouver :

```
\begin{array}{l} \hline Contrainte principale \ g[-]=-7.62^{\circ}\\ m_{\text{Ed.chw}} = 64 \ \text{kNm/m} \ |\ n_{\text{Ed.chw}} = 0 \ \text{kN/m}\\ m_{\text{Ed.qp}} = 46.6 \ \text{kNm/m} \ |\ n_{\text{Ed.qp}} = 0 \ \text{kN/m}\\ \hline Recalcul des aire requises dans la direction des contraintes principales\\ A_{\text{subtor}} = A_{\text{subt.1}} \cdot \cos\left(\Delta\alpha_{1}\cdot\right)^{2} + A_{\text{subt.2}} \cdot \cos\left(\Delta\alpha_{2}\cdot\right)^{2}\\ = 1103 \cdot \cos\left(-8\right)^{2} + 267 \cdot \cos\left(-98\right)^{2} = 1088 \ \text{mm}^{2}\\ A_{\text{subtor}} = A_{\text{subtor}} + \Delta A_{\text{subtor}} \cdot \cos\left(\Delta\alpha_{1}\cdot\right)^{2} + \Delta A_{\text{subtor}} \cdot \cos\left(\Delta\alpha_{2}\cdot\right)^{2}\\ = 1088 + 516 \cdot \cos\left(-8\right)^{2} + 0 \cdot \cos\left(-98\right)^{2} = 1595 \ \text{mm}^{2}\\ \hline \end{array}
Contrôle d'apparition de fissuration \left(\text{57.1(2)}\right)
f_{\text{ct.eff}} = 2.2 \ \text{MPa}
\sigma_{\text{ct}} = 5.604 \ \text{MPa} > \sigma_{\text{cr}} = 2.2 \ \text{MPa} = > \text{apparition de fissures} 
($7.2(5))
```
Comme précédemment mentionné, lorsque les restrictions ELS ne sont pas satisfaites, une augmentation doit être calculée. Le coefficient serv_coeff sera calculé en fonction des conditions ci-dessous :

- En cas d'ouvertures de fissures uniquement : serv_{coeff} = w_{k,coeff} = (w_k / w_{k,max})^{0,5} + 0,01
- En cas de limitation des contraintes : serv_{coeff} = s_{s,coeff} = (s_s / s_{s,lim}) + 0,005
- En cas de limitation des contraintes et des ouvertures de fissures : serv_{coeff} = max (s_{s,coeff} ; w_{k,coeff})

Lorsque le ferraillage requis statiquement est calculé sur la base de l'ELU + ELS, la vérification des dispositions constructives doit être faite. La même procédure et avertissements que pour le calcul ELU seront appliqués pour le calcul ELU + ELS, en une seule étape par la suite. La section de ferraillage finale $A_{s,req}$ pour les directions (1,2) et pour les faces (+,-) sera déterminée par la formule suivante, prenant en compte les sections mini et maxi des dispositions constructives :

$$A_{s,req,1,2,\pm} = \min \begin{cases} max \begin{cases} A_{s,ult,1,2,\pm} \\ A_{s,serv,1,2,\pm} \\ A_{s,min} \\ A_{s,max} \end{cases}$$

3.4.6. Contrôle de la fissuration

HYPOTHÈSES

⇒ Ouverture de fissures maximale

Les valeurs de l'ouverture maximale des fissures (w_{max}) sont déterminées par l'annexe nationale, fonction de la classe d'exposition choisie. C'est pourquoi, cette valeur peut se trouver dans les paramètres de l'annexe nationale, via le menu Fichier / Paramètres du projet, « Annexe nationale » / « EN 1992-1-1 » ... ou en cliquant sur le drapeau en haut à droite de l'interface de SCIA Engineer et « Gérer les annexes » :



⇒ Type de ferraillage utilisé

Le contrôle d'ouverture de fissures peut être effectué pour les trois types de ferraillage (requis, défini et utilisateur / pratique). Le contrôle est effectué sur les combinaisons ELS QP (Quasi-Permanentes).

Si le type de ferraillage utilisé pour le contrôle d'ouverture de fissures est le requis ou le défini, alors une combinaisons ELU doit être choisi. Cela est nécessaire puisque le ferraillage requis / défini est basé sur les combinaisons ELU. Après que ce ferraillage ait été calculé, il peut être utilisé pour effectuer le contrôle de l'ouverture des fissures. Tout cela est fait automatiquement et peut être défini dans la fenêtre de propriétés de contrôle des ouvertures de fissures.







⇒ Théorie

 \Rightarrow

Apparition des fissures

Si la condition ci-dessous est satisfaite, aucune fissure n'apparaitra dans le béton :

$$\sigma_{ct,max\pm} \leq f_{ct,eff}$$

Avec :

 $\sigma_{ct,max\pm} = \frac{n_{i\pm}}{A_{i,i\pm}} + \frac{m_{i\pm}}{I_{i,i\pm}} \cdot z_{t,max,\pm} : \text{résistance normale du béton sous une section non fissurée à la fibre la plus tendue}$

fct,eff : valeur moyenne de la résistance à la traction du béton effectif

Calcul de l'ouverture de fissures

$$w = \varepsilon_{sm_cm} \cdot S_{r,max}$$

Avec :

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})_{i\pm} = max \left[\frac{\sigma_{s,i\pm} - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff,i\pm}} \cdot \left(1 + \alpha_{e,i\pm} \cdot \rho_{p,eff,i\pm}\right)}{E_{s,i\pm}} \right]$$
$$0,6.\frac{\sigma_{s,i\pm}}{E_{s,i\pm}}$$

$$S_{r,max,i\pm} = \begin{cases} si \ s_{s,i\pm} \le 5. \left(c_{i\pm} + 0.5d_{s,i\pm} \right): & min \left[k_3 c_{i\pm} + \frac{k_{1,i\pm}k_{2,i\pm}k_4d_{s,i\pm}}{\rho_{p,eff,i\pm}}; 1,3. \left(h - x_{i\pm} \right) \right] \\ si \ s_{s,i\pm} > 5. \left(c_{i\pm} + 0.5d_{s,i\pm} \right): & 1,3. \left(h - x_{i\pm} \right) \end{cases}$$

4 RÉSULTATS POUR LE FERRAILLAGE THÉORIQUE

Dans le poste de travail « Béton », cliquer sur « Ouverture de fissure ELS des éléments 2D béton », l'utilisateur peut demander l'affichage des valeurs d'ouverture de fissures :

Combinaison : ELS Type de ferraillage : requis Valeur : w+



Combinaison : ELS Type de ferraillage : requis Valeur : w-



Combinaison : ELS Type de ferraillage : requis Valeur : UC



Une valeur verte signifie que le contrôle unité est inférieur ou égal à 1 ($w_{calc} \le w_{max}$). Une valeur grise signifie que le contrôle unité est inférieur ou égal à 0,25. Une valeur rouge signifie que w_{max} est dépassée.

3.5. **Poinçonnement**

3.5.1. Rappels théoriques

🔸 GÉNÉRAL

Le cisaillement par poinçonnement peut découler d'une charge ponctuelle ou d'une réaction sur une relative petite surface, appelée « aire chargée » Aload d'une dalle ou d'une semelle.

Les situations les plus courantes dans lesquelles le cisaillement par poinçonnement doit être pris en compte sont les régions à proximité immédiate d'un poteau d'une dalle plate de plafond, ou bien d'un poteau porté par une dalle de fondation.

Les types de problèmes suivants peuvent être distingués : poteau intérieur, de bord et d'angle. Le calcul du ferraillage de poinçonnement est basé sur la clause 6.4 de l'EN 1992-1-1 :2004 / A1 :2014 + annexes nationales.

La vérification révèle ou bien que la capacité portante du béton armé est largement suffisante, ou alors qu'un ferraillage de poinçonnement doit être calculé et mis en place. Si les limites de la vérification sont atteintes, le résultat du contrôle est noté comme non admissible. Dans ce cas, l'utilisateur doit revoir la modélisation ou sélectionner une alternative de calcul adaptée.

La vérification de la résistance au poinçonnement à l'ELU peut se résumer comme suit :

- Contrôle de la résistance au cisaillement au nu du poteau, noté u₀, et au contour de contrôle de référence, noté u₁.
- Si un ferraillage d'effort tranchant est requis, un périmètre plus grand u_{out,ef} doit être trouvé, là où le ferraillage d'effort tranchant n'est plus nécessaire.

Ces contours de contrôle sont présentés dans les images suivantes :



4 RÉPARTITION DES CHARGES ET CONTOUR DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE

⇒ Contour de contrôle de référence u1

Le contour de contrôle de référence u₁ est pris égal à une distance 2d de l'aire chargée, où d est la hauteur utile.



Dans le cas où l'aire chargée se trouve proche d'un bord ou d'un angle :



La clause 6.4.2(3) réfère aux cas d'aires chargées situées au voisinage de trémies. Si la plus faible distance entre le contour de l'aire chargée et le bord de la trémie est inférieure ou égale à 6*d*, la partie du contour de contrôle comprise entre deux tangentes à la trémie issues du centre de l'aire chargée est considérée comme non participante.



Dans SCIA Engineer, les ouvertures sont automatiquement prises en compte conformément aux critères précédents.

⇒ Hauteur utile d_{eff}

La hauteur utile de la dalle d_{eff}, est supposée constante et est calculée selon la formule 6.32 de l'EN 1992-1-1 :

$$d_{eff} = \frac{\left(d_y + d_z\right)}{2}$$

Où dy et dz sont les hauteurs utiles des ferraillages dans les deux directions orthogonales.

4 CALCUL DU POINCONNEMENT DE CISAILLEMENT

Le calcul au poinçonnement est effectué conformément à l'EN 1992-1-1 art.6.4.3.

Tout d'abord, on définit les valeurs de calcul des résistances au poinçonnement le long des sections de contrôle :

- v_{Rd,c} est la valeur de calcul de la résistance au poinçonnement d'une dalle sans armatures de poinçonnement le long de la section de contrôle considérée
- v_{Rd,cs} est la valeur de calcul de la résistance au poinçonnement d'une dalle avec armatures de poinçonnement le long de la section de contrôle considérée
- v_{Rd,max} est la valeur maximale de calcul de la résistance au poinçonnement le long de la section de contrôle considérée.

On peut ensuite procéder aux vérifications suivantes.

⇒ Contrôle au nu du poteau u₀

Le long du contour du poteau ou du contour de l'aire chargée, il convient de ne pas dépasser la valeur maximale de la résistance au poinçonnement :

$$V_{Ed0} \leq V_{Rd,max}$$

Avec :

 $\begin{array}{ll} V_{Ed0} & \mbox{contrainte de cisaillement de calcul au nu du poteau } u_0 \\ V_{Rd,max} & = 0,4^*\nu^*f_{cd} \\ \nu & = 1-f_{ck}/250 \end{array}$

⇒ Contrôle au contour de référence u₁

Au niveau du contour de contrôle de référence u1 :

 $\begin{array}{ll} \text{Si } v_{Ed} \leq v_{Rd,c} & \text{ le ferraillage de poinçonnement n'est pas nécessaire} \\ \text{Si } v_{Ed} > v_{Rd,c} & \text{ le ferraillage de poinçonnement est nécessaire} \end{array}$

La résistance au poinçonnement d'une dalle $v_{Rd,c}$ est évaluée conformément à la formule 6.47 de l'EN 1992-1-1 :

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \ge (v_{min} + k_1 \sigma_{cp})^{1/3}$$

Avec :

 $\begin{array}{ll} \rho_l & \mbox{ratio de ferraillage moyen à une distance spécifique autour du poteau} \\ résistance caractéristique à la compression du béton en MPa \\ \nu_{min} & \\ \nu_{min} = 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} \\ C_{Rd,c} & \\ C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} \end{array}$

k

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \le 2,0$$

d en mm

La contrainte de cisaillement maximale v_{Ed} est calculée pour le contour de contrôle considéré conformément à la clause 6.4.3(1) comme suit :

$$v_{Ed} = \beta. \frac{V_{Ed}}{\gamma_c}$$

Le coefficient β permet de considérer le transfert non-uniforme du chargement (à cause de moment de flexion non équilibré). Si le transfert de charge n'est pas uniforme, les pics locaux de charges devraient être compensés avec l'aide de ce coefficient β .

Pour les structures pour lesquelles la stabilité latérale ne dépend pas du fonctionnement en portique des dalles et des poteaux et où les longueurs de travées adjacentes ne diffèrent pas de plus de 25 %, on peut utiliser des valeurs approchées de β conformément à la clause 6.4.3(6).

Dans SCIA Engineer, l'utilisateur doit décider si ces valeurs approximatives peuvent être utilisées, car le programme ne peut pas vérifier les prérequis décrits ci-dessus.

Par défaut, les valeurs recommandées approximativement sont :



Ces valeurs peuvent être différentes selon les annexes nationales et peuvent être visualisées dans le logiciel dans la configuration des annexes nationales :

Configuration béton			×
 Configuration beton Type des éléments AN bâtiment Type de fonctionnalité Poutres alvéolées Précontrainte P	Standard EN Genéral Genéral Contrainte Contrainte Contrainte admissible Contrainte admissible Contrainte admissible Contrainte admissible Dispositions constructives Dispositions constructives commun Poteaux Poutres Structures 2D et dalles Poinconnement	Creation Annexe nationale Creation Creation Valeur [-] 0.18 k1 - coeff. pour l'effet de la charge ax Valeur [-] 0.10 Vmin - valeur minimale de la résistanc Formule Vradymax - valeur de calcul de la résist Formule Vradymax - valeur de calcul de la résist Formule Valeur [-] 1.15 βedge - coeff. de majoration de l'effort Valeur [-] 1.40 βedge - coeff. de majoration de l'effort Valeur [-] 1.50 kmax - coefficient pour la limitation d Valeur [-] 1.50 kmax - coefficient définissant l'emplac Valeur [-] 1.50 ELS Contrainte admissible Dispositions constructives	
Tout Rien	Régénérer	Charger défauts selon AN OK Ann	uler

Sinon, comme décrit dans l'art. 6.4.3, le coefficient β peut être calculé par la formule générale cidessous :

$$\beta = 1 + \sqrt{\left(k_y.\frac{M_{Ed,y}}{V_{Ed}}.\frac{u_1}{W_{1y}}\right)^2 + \left(k_z.\frac{M_{Ed,z}}{V_{Ed}}.\frac{u_1}{W_{1z}}\right)^2}$$

Le calcul du coefficient β avec la formule générale peut être défini dans la « Configuration béton », et « Poinçonnement » :

nfigu	ration	béton													_ 0	
25 :	Config	guration complète 🛛 👻 Paramètres d'affich 💌	Reprendre	e défa	ut		Cher	cher						Annexe Na	ationale: 🔣	
De	scripti	ion	Symbole	Va	leur		Défaut		Unité	Chapitr	e	Norme		Structu	Type de	II.
ous		Q	<tous></tous>	Ω <t< td=""><td>ous></td><td>P</td><td><tous></tous></td><td>2</td><td><p< td=""><td><tous></tous></td><td>P</td><td><tous></tous></td><td>P</td><td><tou <math="">\wp</tou></td><td><tou <math="">\wp</tou></td><td></td></p<></td></t<>	ous>	P	<tous></tous>	2	<p< td=""><td><tous></tous></td><td>P</td><td><tous></tous></td><td>P</td><td><tou <math="">\wp</tou></td><td><tou <math="">\wp</tou></td><td></td></p<>	<tous></tous>	P	<tous></tous>	P	<tou <math="">\wp</tou>	<tou <math="">\wp</tou>	
Þ	Calcu	ul As														
Þ	Conv	ersion en barres d'armature														
Þ	Diag	ramme d'interaction														н.
Þ	Cisai	llement														
Þ	Torsi	on														
	Poin	çonnement														
	4 C	alcul de la contrainte de cisaillement														
	Þ	Type de coefficient Beta	Туре β	Ap	proché	~	Approc	hé		6.4.3(3-6)	EN 1992-3	1-1	Plaque	Option d	
		Réduction de la contrainte de cisaillement par la pres		App	oroché					6.4.4(2)		EN 1992-1	1-1	Plaque	Option d	
	4 P	érimètre de contrôle		For	mule (l	DIN EI	۷)									
		Distance du périmètre de contrôle pour une dalle	coeff ku1.or	eil 2.0	0		2.00		-	6.4.2(1)		EN 1992-1	1-1	Plaque	Option d	
		Distance du périmètre de contrôle pour un radier	coeff ku1,fo	un 2.0	00		1.00			6.4.2(1)		EN 1992-3	1-1	Plaque	Option d	
		Distance du nu du poteau pour la prise en compte de	coeff k _{open}	6.0	0		6.00			6.4.2(3)		EN 1992-1	1-1	Plaque	Option d	
		Distance à partir du bord du poteau pour collecter le	coeff k _{reinf}	3.0	0		3.00			6.4.4(1)		EN 1992-3	1-1	Plaque	Option d	
Þ	Limit	tation des contraintes														
Þ	Effor	ts de fissuration														
Þ	Ouve	rture de fissure														
Þ	Flèch	nes														
~	Dien	constructives														

⇒ Calcul du ferraillage de poinçonnement si nécessaire

Dans le cas où v_{Ed} > v_{Rd,max}, un ferraillage de poinçonnement doit être calculé.

Si un ferraillage de poinçonnement est nécessaire, ll convient de déterminer le contour de contrôle u_{out} pour lequel aucune armature de poinçonnement n'est requise conformément à la clause 6.4.5(4):

$$u_{out,ef} = \frac{\beta. V_{Ed}}{v_{Rdc}. d}$$

Calcul du ferraillage de poinçonnement

Dans SCIA Engineer, le ferraillage d'effort tranchant est calculé en utilisant les hypothèses suivantes :

- la répartition des armatures d'effort tranchant est considérée comme radiale uniquement
- seuls les armatures d'effort tranchant verticales sont prises en charge
- la forme des contours de ferraillage autour du poteau est le même que pour la forme du contour de contrôle de référence.

La section nécessaire A_{sw,req} d'un contour de ferraillage d'effort tranchant autour du poteau, ayant une répartition supposée radiale des armatures d'effort tranchant, est calculée comme suit :

$$A_{sw,req} = \frac{(v_{Ed,u1} - 0.75.v_{Rd,c}).u_1.s_r}{1.5.f_{ywd,ef}}$$

Avec :

 $f_{ywd,ef}$ résistance de calcul effective du ferraillage de poinçonnement selon la formule : $f_{ywd,ef} = 200 + 0.25.\,d_{eff} \leq f_{ywd}$

Dispositions constructives du ferraillage de poinçonnement

La section nécessaire pourrait être ajustée pour remplir les conditions de dispositions constructives conformément à la clause 9.4.3(1), pour que le nombre d'armatures d'effort tranchant n_s pour chaque contour de ferraillage soit égal à:

$$n_{s} = \max\left\{\frac{4.A_{sw,req}}{\pi.d_{s}^{2}}; \frac{u_{1,last}}{s_{t,max,u1}}; \frac{u_{s,last}}{s_{t,max,out}}\right\}$$

Avec :

ds diamètre des armatures d'effort tranchant

 condition de l'espacement tangentiel maximal des contours d'armatures d'effort tranchant, contours placés dans le contour de contrôle de référence (u_{1,last} est la longueur du dernier contour de ferraillage de cisaillement).

condition de l'espacement tangentiel maximal des contours d'armatures d'effort tranchant, contours placés à l'extérieur du contour de contrôle de référence (u_{s,last} est la longueur du dernier contour de ferraillage de cisaillement).



Dans SCIA Engineer, la limitation des espacements st.max.u1 et st.max.out se trouvent dans la « Configuration béton », dans les « Dispositions constructives » et dans « Poinçonnement » :

		Generalize complition of December 11.00 to 1		(fearly)		(hard)					and a second second	
: _	or	Figuration complete Y Parametres d'affich Y	Reprendre d	lefaut		Chercher				Annexe Na	ationale:	
Des	cri	ption	Symbole	Valeur		Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Structu	Type de	Ľ
us>		Q	<tous> D</tous>	<tous></tous>	2	<tous> \wp</tous>	<	<tous> D</tous>	<tous> ρ</tous>	<tou 9<="" td=""><td><tou td="" 🔎<=""><td>L</td></tou></td></tou>	<tou td="" 🔎<=""><td>L</td></tou>	L
V		Inçonnement			_							L
P		nitation des contraintes			_							L
P -	ЕП	orts de fissuration	-	-	_							L
P		verture de fissure										L
P -		ches		-	_							L
1		Deutes (Neurone										L
	P	Poutre / Nervure			_							1
	2	Potecu										
	~	Plaque (oque/Plaque)			-							
	~	Voile Come (voile)										
	~	Boutre-cloison										
		Poinconnement										
		Contrôle armature minimale de poinconnement		0	-			9.4.3(2)	EN 1992-1-1	Plaque	Option d.	
		Contrôle distance premier périmètre d'étriers						9.4.3(1.4)	EN 1992-1-1	Plaque	Option d	
		Distance minimale au nu du poteau	coeff so min	0.30	_	0.30	-	9.4.3(1)	EN 1992-1-1	Plaque	Option d	
		Distance maximale au nu du poteau	coeff so may	0.50	_	0.50	-	9.4.3(4)	EN 1992-1-1	Plaque	Option d	
		Contrôle epacement radial maximal étriers	U,IIIdx		_	~		9.4.3(1)	EN 1992-1-1	Plaque	Option d	
		Espacement max. des étriers	coeff sr max	0.75		0.75	-	9.4.3(1)	EN 1992-1-1	Plaque	Option d	
		Contrôle espacement tangentiel maximal étriers			-	V		9.4.3(1)	EN 1992-1-1	Plaque	Option d	
		Espacement tangentiel maximal à l'intérieur du per	coeff st.max.u	1.50		1.50	-	9.4.3(1)	EN 1992-1-1	Plaque	Option d	
		Espacement tangentiel maximal à l'extérieur du pe	coeff st,max.o	2.00		2.00	-	9.4.3(1)	EN 1992-1-1	Plaque	Option d	
		Contrôle nombre minimal de périmètres d'étriers		 Image: A set of the set of the		~		9.4.3(1)	EN 1992-1-1	Plaque	Option d	
		Nombre minimal de périmètres d'étriers	n _{per,min}	2		2		9.4.3(1)	EN 1992-1-1	Plaque	Option d	
		Arranger automatiquement les périmètres d'étriers						9.4.3	EN 1992-1-1	Plaque,C	Option d	

La dernière condition, qui doit être remplie conformément à la clause 9.4.3(2) est la section de ferraillage minimale de chaque armature d'effort tranchant $A_{sw1,min}$, conformément à la formule (9.11) :

$$A_{sw1,min} = \frac{0.08. \sqrt{f_{ck}/f_{ywk}} \cdot s_r \cdot s_t}{1.5}$$

Avec :

sr espacement des armatures d'effort tranchant dans la direction radiale

st espacement des armatures d'effort tranchant dans la direction tangentielle

La section finale de chaque contour de ferraillage d'effort tranchant autour du poteau est :

$$A_{sw} = \frac{n_s * \pi * d_s^2}{4} \ge n_s * A_{sw1,min}$$

Le nombre requis de contours de ferraillage d'effort tranchant autour des poteaux, n_{per} , est déterminé à partir de la clause 6.4.5(4), qui spécifie que le contour de ferraillage d'effort tranchant le plus éloigné, $a_{s,last} = s_0 + s_r * n_{per}$, doit être placé à une distance maximale de $k_{out} * d_{eff}$ à l'intérieur de u_{out} . La formule suivante pour n_{per} est dérivée :

$$n_{\text{per}} = \left[\frac{a_{\text{out}} - s_0 - k_{\text{out}} * d_{\text{eff}}}{s_r} + 1\right] \ge n_{\text{per,min}}$$

Avec :

k_{out} coefficient qui détermine la distance maximale du dernier contour à partir de u_{out}. La valeur par défaut est 1,5. Ceci est un paramètre de l'annexe nationale.

- N_{per,min} nombre minimum de contours de ferraillage autour du poteau nécessaire selon la clause 9.4.3(1). La valeur par défaut est 2 dans la « Configuration béton », dans les « Dispositions constructives » et dans le « Poinçonnement ».
- Aout distance du contour extérieur uout.

La quantité totale de ferraillage d'effort tranchant $A_{sw,tot}$ autour du poteau est calculée comme suit : $A_{sw,tot} = n_{per} \ast A_{sw}$

3.5.2. Vérification au poinçonnement

CONFIGURATION

La vérification au poinçonnement dans SCIA Engineer n'est disponible que lorsqu'un poteau ou un appui ponctuel à un nœud ont été connectés à une plaque. Aucun contrôle au poinçonnement ne sera effectué pour une charge ponctuelle ou une petite charge surfacique appliquées à une plaque.

SCIA Engineer ne prend en charge que les poteaux rectangulaires et circulaires pour le poinçonnement.

La position du poteau par rapport aux bords de plaque et aux ouvertures est bien reconnue. <u>Aussi, pour la vérification au poinçonnement, tous les bords et angles de la plaque sont pris droits ... si ce n'est pas le cas dans le modèle, le logiciel fait une approximation.</u>

SCIA Engineer ne prend pas en charge tous les cas de poinçonnement d'un assemblage poteau-plaque. La liste de toutes les limitations actuelles se trouve sur l'aide en ligne. Chaque configuration non supportée est mentionnée dans la liste des erreurs / avertissements / notes de la note de poinçonnement.

Par exemple :

Dime	ensio	nnement au	poinçonnem	ent								
Valeur: U Calcul lin Combina Extrême: Sélection Synthès	JC ison: EL Global : Tout e	U										
Nom	Cas	Cas de poinçonnement	Forme de poinçonnement	UC _{vR4,r} [-]	nax UC,	/Rd,c -]	Périmètre d'étriers	s UC _{vR4C}	UC _{Asw}	vdet [Con	UC [-] 1trôle	E/A/N
N55	ELU/1	N/A	N/A	3	.00 3	3.00	N/A	-	-	3.00 PAS	ок	W6/125, W6/131
Béton												
Nom	Cas	Cas de poinçonnement β [-]	Forme de poinçonnement	V⊠ [kN] ∆V⊠ [kN]	MEdy [kNm] MEdz [kNm]	Plac h (m	que Matér 1 f _c m] [MP	riau der ı [mm 'a] pı [%	f U0 1] [m] U1] [m]	V Ed, 40 [MPa] V Ed, 41 [MPa]	VRd,ma [MPa VRd,c [MPa	x UCvRd,max] [-] UCvRd,c] [-]
N55	ELU/1	N/A -	N/A		-	N/A -	N/A -	-	-	-	-	3.00 3.00
E/A/N W6/125 W6/131	Affic N55 N55	cher sur les élémen	ts									
E/A/N	1	Des	cription		Marke			Solution		and and and	-	
100/125	Le fei	rraillage longitudinal (lètement absent dans	de la surface chargée s le périmètre de cor	e est htrôle.	sélectio	onné /applic	pour vous as pué dans le p	surer qu'il e sérimètre de	st correct contrôle.	ement		
W6/131	Noeu potea	d non calculable au p au connecté n'est pas	prise en charge.	ection du	Chang forme	pris e	ype de section n charge (re	n du potea ctangulaire	u en un ty ou circulai	/pe de ire)		

4 CHOIX DU FERRAILLAGE

Pour le calcul au poinçonnement, le logiciel va vérifier si le ferraillage longitudinal A_s dans la plaque est suffisant pour résister à l'effort tranchant autour d'une liaison poteau-plaque ou appui ponctuel-plaque.

Dans SCIA Engineer, l'utilisateur peut choisir entre trois types de ferraillage pour le contrôle / calcul du poinçonnement :

- As,requis calculé par le logiciel pour une combinaison donnée
- As, défini gabarit définir par l'utilisateur dans la « Configuration béton »
- As, utilisateur ferraillage pratique saisi par l'utilisateur manuellement

Le choix entre les trois est fait dans la fenêtre de propriétés du poinçonnement. Cette fenêtre est accessible par le poste de travail « Béton » ou bien par le menu principal « Dimensionnement » / « Béton 2D » / « Contrôle ELU de poinçonnement » :

	👁 🛱 🕰		Clique
	Configuration béton	•	
	Béton 1D	•	
	Béton 2D	•	Efforts internes de calcul
Gr	Éclater le ferraillage en barres libres		Conception du ferraillage
F	Métré du ferraillage		Effort internes pour les contrôles
	Géotechnique	•	Contrôle ELU de capacité flexionnelle
	Outils externes	•	Contrôle ELU de poinçonnement
if(Gestionnaire de contrôles		Contrôle d'ouverture des fissures à l'
If	Mettre à jour les données de contrôle		
	Design forms		

(P)			
	RÉSULTAT	°S (1)	×
	Nom	Poinçonnement	
▼ SI	ÉLECTION		_
	Type de sélection	Tout	\sim
	Filtre	Non	\sim
- C	AS DE RÉSULTAT		
	Type de charge	Combinaisons	\sim
	Combinaison	ELU	\vee
▼ A	RMATURE		
	Type de ferraillage	Requis	\sim
1	CONDITION D'ÉTAT LIMITE	Requis	
	Conception ELU	Défini	
	Lissage des pointes	Utilisateur	 _
	Position	Aux noeuds, moyenne	\sim
	Système	SCL maillage EF	~
T E	KTRÊME		_
	Extrême	Global	\vee
	Valeur	UC	\sim
► C	ONFIGURATION DES SORTIES		_
► C	ONFIGURATION DES ERREURS, AVER	TISSEMENTS ET NOTES	
A	CTIONS >>>>		
C	Régénérer		F5
\odot	Nouvelle combinaison à partir de la	clef des combinaisons	
\odot	Tableau des résultats		
	Prévisualisation note de calcul		

CONTRÔLE AU POINÇONNEMENT

Exemple : « 3.5 – Poinconnement.esa »

Géométrie :

Classe de béton : C30/37 Classe de ferraillage : B500B Épaisseur de dalle : 200mm Section de poteau : 10 x R 300x300mm² (rectangulaire) et 6 x C400mm² (circulaire)

La dalle et les poteaux sont connectés les uns aux autres via l'action « Connecter les barres / nœuds », qui ait faite automatiquement lors du calcul, ou que l'on retrouve par le menu « Éditer » / « Modifier ».

Chargement :

Cas de charge :

PP : poids propre

- G : charges permanentes :
 - charge surfacique de 1kN/m²
 - o charges linéaires sur bords de 1kN/m
- Q1 : charges variables
 - charge surfacique de 1kN/m²
- Q2 : charges variables
 - $\circ\,$ charge surfacique de -25kN/m², qui sera prise en compte dans un prochain paragraphe

Combinaisons :

ELU (type EN – ELU (STR/GEO Set B)) = PP, G, Q1 ELS (type EN – ELS Quasi-permanentes) = PP, G, Q1



Méthode de travail :

Sélectionner la commande « Contrôle ELU de poinçonnement » ou bien par le poste de travail « Béton » ou bien par le menu principal « Dimensionnement » et « Béton 2D ».

La commande est disponible, lorsque la norme EC-EN est sélectionnée dans les « Paramètres du projet », et qu'une analyse linéaire ou non-linéaire a été effectuée pour une modélisation contenant des éléments 2D en un matériau béton. Une fois que la commande est sélectionnée, les paramètres appropriés sont sélectionnés et peuvent être ajustés dans la fenêtre de propriétés avec les options suivantes :

()		
RÉSULTAT	'S (1)	\land ×
Nom	Poinçonnement	
▼ SÉLECTION		
Type de sélection	Tout	\sim
Filtre	Non	\sim
▼ CAS DE RÉSULTAT		
Type de charge	Combinaisons	\sim
Combinaison	ELU	\sim
▼ ARMATURE		
Type de ferraillage	Requis	\sim
CONDITION D'ÉTAT LIMITE		
Conception ELU		
Lissage des pointes		
Position	Aux noeuds, moyenne	\sim
Système	SCL maillage EF	\sim
▼ EXTRÊME		
Extrême	Noeud	~
Valeur	UC	\sim
 CONFIGURATION DES SORTIES 		
Sorties	Bref	~
Afficher l'explication des symboles	\bigcirc	
Imprimer la clef des combinaisons		
▼ CONFIGURATION DES ERREURS, AVER	TISSEMENTS ET NOTES	
Afficher les infos d'avertissements dan	\bigcirc	
Affichier les codes d'erreur	Aucun	\sim
Afficher les codes d'avertissement	Aucun	\sim
Afficher les notes	Aucun	~
ACTIONS >>>>		
🤁 Régénérer		F5
Nouvelle combinaison à partir de la	clef des combinaisons	
> Tableau des résultats		
Prévisualisation note de calcul		

Définir le type de sélection sur « Tout », le type de charge sur « Combinaisons ELU » et le type de ferraillage sur « Requis ».

Le contrôle unité s'affiche pour chaque nœud avec le contour de contrôle en couleur. Trois couleurs sont possibles :

- Vert : la résistance au cisaillement sans ferraillage est suffisante :

$$UC_{v_{Rd,c}} \le 1.0$$
 et $UC_{v_{Rd,max}} \le 1.0$

- Bleu : la résistance au cisaillement <u>avec</u> ferraillage est suffisante : $UC_{v_{Rd,c}} > 1,0$ mais $UC_{v_{Rd,max}} \le 1,0$
- Rouge : la plaque n'est pas calculable même avec application d'un ferraillage, ou la résistance au cisaillement maximale du béton adjacent au poteau n'est pas suffisante :

 $UC_{v_{Rd,cs}} > 1,0$ ou $UC_{v_{Rd,max}} > 1,0$



La présentation des résultats sous forme numérique est possible via l'aperçu de la note ou via le tableau de résultats. Pour le poinçonnement, deux types de sorties sont disponibles :

- La sortie brève : ne contient qu'un tableau résumé avec les résultats de base :

Valeur: Calcul li Combin Extrême Sélectio Synthè	UC néaire aison: EL : Noeud n: Tout se	U							
Nom	Cas	Cas de poinçonnement	Forme de poinçonnement	UC _{vRd,max} [-]	UC _{vRd,c} [-]	Périmètres d'étriers	UC _{vRd,cs}	UC _{Asw,det} [-]	UC [-] Contrôle
N15	ELU/1	Poteau d'angle	Rectangle (300;300)	0.82	0.96	non requis	-	•	0.96 OK
N20	ELU/1	Poteau d'angle	Rectangle (300;300)	0.86	1.01	3x 9Ø8(radial) 80+2x80=240	0.68	1.00	1.00 OK, MAIS
N53	ELU/1	Poteau intérieur	Cercle (400)	0.37	1.09	3x 12Ø8(radial) 80+2x80=240	0.73	1.00	1.00 OK, MAIS
N55	ELU/1	Poteau intérieur	Cercle (400)	0.12	0.37	non requis	-	-	0.37 OK
N57	ELU/1	Poteau intérieur	Cercle (400)	0.37	1.09	3x 12Ø8(radial) 80+2x80=240	0.73	1.00	1.00 OK, MAIS
N59	ELU/1	Poteau intérieur	Cercle (400)	0.36	1.07	3x 12Ø8(radial) 80+2x80=240	0.71	1.00	1.00 OK, MAIS
N61	ELU/1	Poteau intérieur	Cercle (400)	0.17	0.51	non requis	-	-	0.51 OK
N63	ELU/1	Poteau intérieur	Cercle (400)	0.37	1.09	3x 12Ø8(radial) 80+2x80=240	0.73	1.00	1.00 OK, MAIS
N88	ELU/1	Poteau de bord	Rectangle (300:300)	0.43	0.98	non requis		- 9	0.98 OK
N90	ELU/1	Poteau de bord	Rectangle (300;300)	0.43	0.97	non requis	•		0.97 OK
N95	ELU/1	Poteau d'angle	Rectangle (300:300)	0.21	0.44	non requis		-	0.44 OK, MAIS
N97	ELU/1	Poteau de bord	Rectangle (300;300)	0.42	0.97	non requis	-	-	0.97 OK
N99	ELU/1	Poteau de bord	Rectangle (300;300)	0.42	0.97	non requis	-	-	0.97 OK
N101	ELU/1	Poteau d'angle	Rectangle (300;300)	0.25	0.51	non requis		-	0.51 OK, MAIS
N103	ELU/1	Poteau de bord	Rectangle (300;300)	0.32	0.73	non requis	-	-	0.73 OK, MAIS
N104	ELU/1	Poteau de bord	Rectangle (300:300)	0.31	0.72	non requis		-	0.72 OK, MAIS

- La sortie standard : contient le même tableau résumé accompagné d'autres tableaux supplémentaires avec davantage de résultats.

⇒ Résistance au cisaillement sans ferraillage suffisante

Sélectionner le nœud N61 et changer le type de sélection en « actuelle ». La sortie brève montre :

Dime Valeur: Calcul lir Combina Extrême: Sélection Synthès	UC néaire aison: EL : Noeud n: N61 se	nnement au v	poinçonnem	ent					
Nom	Cas	Cas de poinçonnement	Forme de poinçonnement	UC _{vRd,max} [-]	UC _{vRd,c} [-]	Périmètres d'étriers	UC _{vRd,cs} [-]	UC _{Asw,det} [-]	UC [-]
N61	ELU/1	Poteau intérieur	Cercle (400)	0.17	0.51	non requis	-		0.51 OK
Nom ELU/1	Cl	é des combinaisons W + 1.35*DL + 1.50	*LL						

On peut voir que le contrôle unité est inférieur à 1. Afficher maintenant la sortie standard pour ce même nœud :

Dime Valeur: Calcul lin Combina Extrême Sélection Synthès	UC néaire aison: EL : Noeud n: N61 se	nnement au	poinçonnem	ent								
Nom	Cas	Cas de poinçonnement	Forme de poinçonnement	UC _{vRd,max} [-]	UC _{VR4}	c Périm ďétr	iers UC _v	-]	Asw,det [-]	UC [-] Contrôle		
N61	ELU/1	Poteau intérieur	Cercle (400)	0.17	7 0.5	1 non req	juis -	-	_	0.51 OK		
Béton												
Nom	Cas	Cas de poinçonnement β [-]	Forme de poinçonnement	Vы [kN] ∆Vы [kN]	MEdy [kNm] MEdz [kNm]	Plaque h [mm]	Matériau f _{cd} [MPa]	den [mm] pi [%]	00 [m] U1 [m]	VEd,u0 [MPa] VEd,u1 [MPa]	V Rd,max [MPa] VRd,c [MPa]	UCvRd,max [-] UCvRd,c [-]
N61	ELU/1	Poteau intérieur 1.15	Cercle (400)	127.40 0.00	0.07	Plafond 200.00	C30/37 20.00	160.00 0.17	1.257 3.267	0.73	4.22	0.17

On peut voir que $V_{Ed,u1} = 0.28MPa < V_{Rd,c} = 0.55MPa$, donc la résistance au cisaillement sans ferraillage est suffisante. Le contour de contrôle est affiché en vert.

⇒ Résistance au cisaillement avec ferraillage suffisante

Sélectionner maintenant le nœud N59 et afficher la note standard :

Dime Valeur: Calcul li Combin Extrême Sélection Synthès	UC néaire aison: EL :: Noeud n: N59 se	nnement au	poinço	onnem	ient								
Nom	Cas	Cas de poinçonnement	Forn poinçor	ne de mement	UC _{vRd,max} [-]	UC _{VR4}	c Périr ďét	nètres riers	UC _{vRd,cs} [-]	UC _{Asw,det} [-]	UC [-] Contró	ile	
N59	ELU/1	Poteau intérieur	Cercle (4	00)	0.3	6 1.0	07 3x 12Ø8(ra 80+2x8	adial) 0=240	0.71	1.00	0 1.00 OK, MA	IS	
Béton													
Nom	Cas	Cas de poinçonnement β [-]	Forn poinçor	ne de mement	Vεd [kN] ΔVεd [kN]	M _{Ed,y} [kNm] M _{Ed,z} [kNm]	Plaque h [mm]	Matéria f _{cd} [MPa]	u d _{en} [mm] Pi [%]	u ₀ [m] U1 [m]	VEd,u0 [MPa] VEd,u1 [MPa]	V Rd,max [MPa] VRd,c [MPa]	UC _{vRd,max} [-] UC _{vRd,c} [-]
N59	ELU/1	Poteau intérieur 1.15	Cercle (4	00)	266.29 0.00	25.16 5.67	Plafond 200.00	C30/37 20.00	160.0 0.3	0 1.257 5 3.267	1.52 0.59	4.22	0.36
Armatu	Ire		- 61 -								1. 1.	-0	
Nom	Cas	Périmètres d'étriers	Uout Si [m] [n a _{out} St [mm] [n	tut hmi] .out (d	Périmètre contrôle istance/cap	s de : pacité)	Matériau f _{ywd,e} [MPa]	Asw.red [mm ²] Asw1,mi [mm ²]	Asw [mm ²] Asw.tot [mm ²]	VR4ci [MPa k _{max} vr [MPa	: UC\] [\dc UC_i] [rRd,cs -] sw,det -]	
N59	ELU/1	3x 12Ø8(radial) 80+2x80=240	3.488 354	230 320/ 230	71%	Ĝ	B 500B 290.0	1	05 60 11 181	3 1 0 0	1.42).82	0.71 1.00	

On peut voir ici que V_{Ed,u1} = 0,59MPa > V_{Rd,c} = 0,55MPa, et que UC_{v_{Rd,c} = 1,07 > 1.}

Le ferraillage d'effort tranchant doit alors être calculé. La valeur finale est A_{sw,tot} = 1810mm² qui tient compte des dispositions constructives. Le contour de contrôle est affiché en bleu.

On peut également visualiser Asw,tot graphiquement :



⇒ Utilisation du ferraillage défini

Ajoutons du ferraillage défini à la plaque.

Dans la « Configuration béton », dans les « Paramètres de conception par défaut » :

Description USP Paramètres de conception par défaut Perrailtage Poutre / Nervure Poutre dalle Poture dalle Po	Symbole	Valeur <tous></tous>	Défa <tou< th=""><th>ut Unité Ch s> \mathcal{P} < \mathcal{P} <to< th=""><th>napitre cous> 🔎</th><th>Norme <tous></tous></th><th>Structu Content of the structure of</th><th>Type de <tou <math="">\wp</tou></th><th></th><th></th></to<></th></tou<>	ut Unité Ch s> \mathcal{P} < \mathcal{P} <to< th=""><th>napitre cous> 🔎</th><th>Norme <tous></tous></th><th>Structu Content of the structure of</th><th>Type de <tou <math="">\wp</tou></th><th></th><th></th></to<>	napitre cous> 🔎	Norme <tous></tous>	Structu Content of the structure of	Type de <tou <math="">\wp</tou>		
JS> C Paramètres de conception par défaut Fernaillage Poutre / Nervure Poutre - dalle Poteau) <tous> ♪</tous>	<tous> ↓</tous>	> <tou< th=""><th>s> Q < Q <t< th=""><th>ous> P</th><th><tous></tous></th><th>⊂ <tou ,<="" th=""><th><tou <math="">P</tou></th><th></th><th></th></tou></th></t<></th></tou<>	s> Q < Q <t< th=""><th>ous> P</th><th><tous></tous></th><th>⊂ <tou ,<="" th=""><th><tou <math="">P</tou></th><th></th><th></th></tou></th></t<>	ous> P	<tous></tous>	⊂ <tou ,<="" th=""><th><tou <math="">P</tou></th><th></th><th></th></tou>	<tou <math="">P</tou>		
Paramètres de conception par défaut Fernalilage P Poutre / Nervure P Poutre-calle P Poteau										
Fernaillage Poutre / Nervure Poutre / Nervure Poutre dalle Potreau										
 ▷ Poutre / Nervure ▷ Poutre-dalle ▷ Poteau 			-							
 Poutre-dalle Poteau 										
▷ Poteau				Armature d	léfinie (dim	ensionneme	nt)			
				et al De Bh		A 94 C				
▲ Plaque						~ n •	- <u>-</u>			
 Longitudinal 				Plate_Basic_Lo	wer					
Conception de l'armature fournie				Plate_Basic_Bo	oth					
Modèle de conception de l'armature définie		Plate_E v	Plate	Plate_Basic_Ad	Id_L					
▲ Sup (z+)				Plate_Basic_Ad	ld					
Type d'enrobage	Typec+	Auto	Auto	Plate_Basic_Ad	dLi					
Diamètre du 1er lit	d _{s1+}	10	10	Dist. Dist. Ad	Nom P			Λz		
Angle de la direction du premier lit	a1+	0.00	0.00	Deseri	intion 0			/[\		
Diamètre du 2e lit	d _{s2+}	10	10	Descri	puon o					
Angle de la direction du second lit	a2+	90.00	90.00	Type d ele	ment P					
 Inf (z-) 				Se	ection R	(-	~
Type d'enrobage	Typec-	Auto	Auto	1	Mode SI	(+)	. le		-	
Diamètre du 1er lit	d ₅₁₋	10	10	1			(1)		(2	
Angle de la direction du premier lit	a1.	0.00	0.00	1		0				
Diamètre du 2e lit	d _{\$2} .	10	10	1			0			/
Angle de la direction du second lit	a2.	90.00	90.00				0			(
 Cisaillement 						(-)	1	OI		()
Diamètre du ferraillage d'effort tranchant		8	8			1	0	- 10		X
Mur / Poutre-cloison						X	-			
Encolage minimum								0		

Ici, on peut choisir entre les différents gabarits / modèles.

On peut donner un ferraillage de base sans ferraillage additionnel ou permettre à SCIA Engineer de calculer un ferraillage additionnel si besoin.

Pour cet exemple, définir un ferraillage de base sans ferraillage additionnel : ϕ 16 avec un espacement tous les 150mm :



Afficher de nouveau la sortie standard pour le nœud N59. Avec le ferraillage requis, il fallait un ferraillage de poinçonnement, mais avec le ferraillage défini (comme ci-dessus), aucun ferraillage n'est nécessaire :

Dime Valeur: Calcul lir Combina Extrême Sélectior Synthès	ension uc néaire aison: ELl : Noeud n: N59 ie	nnement au J	poinçonnem	ent									
Nom	Cas	Cas de poinçonnement	Forme de poinçonnement	UC _{vRd,max} [-]	UC _{vR4}	: Périm d'étr	iètres iers	UC _{vR}	Les UC	Asw,det [-]	UC [-] Contrôle		
N59	ELU/1	Poteau intérieur	Cercle (400)	0.36	0.8	3 non rec	quis	-	-		0.83 OK		
Béton													
Nom	Cas	Cas de poinçonnement β [-]	Forme de poinçonnement	V⊠ [kN] ∆V⊠ [kN]	ME4,y [ktNm] ME4,z [ktNm]	Plaque h [mm]	Matér f _{ce} [MP	iau 1 a]	derr [mm] pı [%]	00 [m] U1 [m]	VEd,u0 [MPa] VEd,u1 [MPa]	V Rd,max [MPa] VRd,c [MPa]	UCvRd,max [-] UCvRd,c [-]
N59	ELU/1	Poteau intérieur 1.15	Cercle (400)	266.29 0.00	25.16 5.67	Plafond 200.00	C30/37 20.00		160.00 0.84	1.257 3.267	1.52 0.59	4.22 0.71	0.36 0.83

On peut voir que $V_{Ed,u1} = 0,59$ MPa < $V_{Rd,c} = 0,71$ MPa, donc la résistance au cisaillement sans ferraillage est suffisante. Le contour de contrôle est maintenant affiché en vert au lieu de bleu.

⇒ Contrôle unité n'est pas ok : le périmètre de contrôle est rouge



Modifier le « type de charge » en « Cas de charge Q2 » et afficher le résultat pour le nœud N59 :

Le contour de contrôle est maintenant affiché en rouge et le contrôle unité est de 1,45 > 1.

Dimensionnement au poinçonnement Valeur: UC Calcul linéaire Cas de charge: Q2 Extrême: Noeud Sélection: N59 Synthèse détr [-] [-] N59 Q2 oteau intérieur Cercle (400) 0.96 2.18 7x 19Ø8(radial) 1.45 1.00 1.45 80+6×110=740 PASO Béton **[-1** N59 Q2 Cercle (400) 711.93 C30/3 1.25 0.96 10.86 200.00 1.15 0.00 20.00 0.84 3.267 1.57 0.72 2.18 Armature N59 Q2 7x 19Ø8(radial) 80+6x110=740 7.113 165 320/145%, 640/90%, 311 960/66% B 500B 290.0 955 1.45 1.70 931 6685 1.08 1.00

Regarder la sortie standard :

On peut aussi afficher les erreurs et avertissements dans la sortie en cochant ces options dans la fenêtre de propriétés :



3.6. Flèche (CDD)

3.6.1. Introduction

La CDD (Code Dependant Deflection = Flèche selon la norme) est un calcul rigoureux de la flèche. La procédure de calcul est la même que pour la méthode simplifiée, mais avec les différences suivantes :

- 3 types de combinaisons sont utilisés pour calculer les flèches
- Le calcul de la rigidité est plus précis

Pour pouvoir utiliser cette méthode dans SCIA Engineer, les paramètres suivants doivent au préalable être définis :

1. Utiliser l'environnement de post-traitement « Standard » dans les « Paramètres du projet » :

onnees de ba	se Fonctionnalités	Actions Système d'unités	Protectio	on		
	DONNÉES			MATÉRIAU		
11	Nom:	-		Béton	 Image: A set of the set of the	
				Matériau	C30/37	×
	Partie:	-		Matériau ferraillag	B 500A	۰.
	Description'			Acier		
	Description.			Maçonnerie		
	Auteur:	-		Aluminium		
				Bois		
	Date:			Béton de fibres mé		
				Autres		
	Structure:	🜓 Portique XZ	¥	NORME		
	<u> </u>			Norme Nationale:		
	Environnement de	🔌 standard	~	C - EN		<u> </u>
	Modèle:	🕅 Simple	*	Annexe Nationale:		
		info version 64bi	t	Standard El	N 1	<u> </u>

2. Dans le poste de travail « Béton », apparait alors un nouveau contrôle « CDD » :



3.6.2. Types de combinaisons pour la CDD

Les combinaisons utilisées dans le calcul de la CDD peuvent être ou bien générées automatiquement ou bien insérées manuellement par l'utilisateur.

⇒ Création automatique des combinaisons pour la CDD

Trois combinaisons différentes sont automatiquement créées par le logiciel en arrière-plan pour calculer la flèche :

1. Combinaisons pour le calcul de la flèche totale

Elles sont générées directement à partir du choix de combinaisons de l'utilisateur dans la fenêtre de propriétés de contrôle de la CDD :

(†)			
	RÉSULTA	TS (1)	∧ ×
	Nom	Déformation à lor	ng ter
▼ SÉLEC	TION		
	Type de sélection	Tout	\sim
	Filtre	Non	\sim
Autom	aticCombination		
▼ CAS D	E RÉSULTATS POUR	R LA FLÈCHE	
	Type de charge	Combinaisons	\sim
	Combinaison	ELS	\sim
Enveloppe	(pour dessin 2D)	Extrême absolu	\sim
Ţ	ype de ferraillage	Utilisateur	\sim
▼ EXTRÊ	ME 1D		
	Extrême 1D	Global	\sim
Résultats	dans les sections	Tout	\sim
	Direction (local)	z (1D/2D)	\sim
	Valeur	CU	\sim
	Sorties	Bref	\sim
Imprimer	la clef des com		
Afficher l'e	explication des	\bigcirc	

2. Combinaisons pour le calcul de la flèche immédiate

Le logiciel utilise les combinaisons générées pour la flèche totale et retire les cas de charges variables ayant pour durée « moyenne », « brève » ou « instantanée ». Le type de durée est défini dans les propriétés du cas de charges :

💽 Cas de charge			×				
et -: 🗹 🕩 🗟 🗉		Tout	• T				
LC1 - PP	Nom	LC3					
LC2 - G	Description	Q					
LC3 - Q	Type d'action	on Variable					
	Groupe de charges	LG2	¥				
	Type de charge	Statique	*				
	Spécification	Standard	~				
	Durée	Brève	^				
	Cas de charge maître	Longue Moyenne					
		Brève					
		Instantanée					

3. Combinaisons pour le calcul de la flèche due au fluage

Le logiciel utilise les combinaisons générées pour la flèche totale et multiplie les cas de charges variables par un coefficient défini dans la « Configuration béton » et « Flèches » :

•	Configuration complète 👻 Paramètres d'affich 💌	Reprendr	e dé	faut	Chercher			,	Annexe Natio	onale:
De	scription	Symbol	e	Valeur	Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Structure	Type de
us>	م ب	<tous></tous>	P	<tous></tous>	<tous></tous>	< P	<tous> D</tous>	<tous> ρ</tous>	<tou ,<="" td=""><td><tous> D</tous></td></tou>	<tous> D</tous>
Par	amètres de conception par défaut									
Þ	Ferraillage									
Þ	Enrobage minimum									
Dp	tion du solveur									
Þ	Général									
Þ	Efforts internes									
Þ	Calcul As									
Þ	Conversion en barres d'armature									
Þ	Diagramme d'interaction									
Þ	Cisaillement									
Þ	Torsion									
Þ	Limitation des contraintes									
Þ	Efforts de fissuration									
Þ	Ouverture de fissure									
4	Flèches									
	Coefficient de majoration de l'armature	Coeffreint	F	1.0	1.0			Independent	Tout (Po	Option d
	Flèche totale maximale L/x; x =	Xtot		250.0	250.0		7.4.1(4)	EN 1992-1-1	1D (Pout	Option d
	Flèche additionnelle maximale L/x; x =	Xadd		500.0	500.0		7.4.1(5)	EN 1992-1-1	1D (Pout	Option d
	Type de coefficient de charge variable pour la génération)	(Utiliser coef	Utiliser co			Independent	Tout (Po	Option d
Þ	Dispositions constructives			Utiliser coeffic	ient Psi2					
				Saisie utilisate	ur					

Des combinaisons caractéristiques supplémentaires sont générées pour chacune des combinaisons mentionnées précédemment pour déterminer si la section est fissurée ou non-fissurée.

⇒ Création manuelle des combinaisons pour la CDD

Il est possible pour l'utilisateur de créer ses propres combinaisons pour le calcul de la flèche immédiate et de la flèche due au fluage.

Pour introduire ces combinaisons manuelles, l'option de combinaisons automatiques doit être décochée dans la fenêtre de propriétés du contrôle de la CDD.

Deux nouvelles sections (« Cas de résultats : flèche due au fluage » et « Cas de résultats : flèche immédiate ») apparaissent dans la fenêtre de propriétés dans laquelle vous pouvez choisir les combinaisons pour les flèches due au fluage et immédiate.

Ces combinaisons doivent être des combinaisons linéaires (ni En ni Auto), cela signifie que les flèches due au fluage et immédiate seront les mêmes pour toutes les sous-combinaisons générées à partir des combinaisons pour la flèche totale.

(i)			
	RÉSULTA	TS (1)	Ω×
	Nom	Déformation à long terme a	vec f
 SÉLECT 	ION		
	Type de sélection	Tout	\sim
	Filtre	Non	\sim
	AutomaticCombination	\bigcirc	
CAS DE	RÉSULTAT : FLÈCHE TOTALE		
	Type de charge	Combinaisons	\sim
	Combinaison	ELS	\sim
E	nveloppe (pour dessin 2D)	Extrême absolu	\sim
CAS DE	RÉSULTAT : FLÈCHE DUE AU	FLUAGE	
	Type de charge	Combinaisons	~
	Combinaison	ELS - flèche due au fluage	\sim
CAS DE	RÉSULTAT : FLÈCHE IMMÉDI	ATE	
	Type de charge	Combinaisons	~
	Combinaison	ELS - flèche immédiate	\sim
	Type de ferraillage	Utilisateur	\sim
EXTRÊM	IE 1D		
	Extrême 1D	Global	\sim
	Résultats dans les sections	Tout	\sim
	Direction (local)	z (1D/2D)	\sim
	Valeur	CU	\sim
	Sorties	Bref	\sim
Imprime	r la clef des combinaisons		
Afficher	l'explication des symboles	\bigcirc	

Les combinaisons pour le calcul de la flèche totale restent générées directement depuis le choix de l'utilisateur des combinaisons dans la fenêtre de propriétés du contrôle de la CDD.

3.6.3. Type de ferraillage

Pour la méthode CDD, il est possible de calculer la flèche avec le ferraillage requis, défini ou utilisateur. Ce choix est fait dans la fenêtre de propriétés du contrôle de la CDD :

向	
E RÉSULTA	ATS (1)
Nom	Déformation à long terme avec f
▼ SÉLECTION	
Type de sélection	Tout 🗸
Filtre	Non 🗸
AutomaticCombination	
▼ CAS DE RÉSULTATS POUR LA FLÈCH	Æ
Type de charge	Combinaisons \checkmark
Combinaison	ELS 🗸
Enveloppe (pour dessin 2D)	Extrême absolu 🗸 🗸 🗸
Type de ferraillage	Utilisateur 🗸 🗸
▼ EXTRÊME 1D	Requis
Extrême 1D	Défini
Résultats dans les sections	Tout V
Direction (local)	z (1D/2D) 🗸
Valeur	CU 🗸
Sorties	Bref 🗸 🗸
Imprimer la clef des combinaisons	
Afficher l'explication des symboles	\bigcirc

3.6.4. Calcul de la rigidité pour les éléments 1D

Les éléments, qui ne sont pas attendus à être chargés au-dessus d'un niveau qui entrainerait le dépassement de la résistance à la traction du béton n'importe où dans l'élément, doivent être considérés comme non-fissurés. Les éléments qui sont attendus à fissurer, mais peut-être pas totalement fissurés, auront un comportement intermédiaire, entre conditions fissurées et non-fissurées. Une nouvelle rigidité (rigidité qui prend en compte la fissuration) est calculée au centre de chaque élément 1D.

Deux types de rigidité sont calculées :

- La <u>rigidité à court-terme</u>, qui est calculée en utilisant le module d'élasticité à 28 jours E_c = E_{cm} : il en résulte que la valeur de rigidité est chargée directement des propriétés du matériau béton.
- La <u>rigidité à long-terme</u>, qui est calculée en utilisant le module d'élasticité effectif E basé sur un coefficient de fluage pour les charges agissantes : il en résulte que :

$$E_{c} = E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{(1+\varphi)}$$

NB : le module élastique effectif du béton est basé sur l'équation 5.27 de l'EN 1992-1-1, mais plutôt que le coefficient de fluage effectif ϕ_{ef} , seul le coefficient de fluage ϕ est utilisé.

La procédure suivante est utilisée pour le calcul des rigidités :

- 1. Les caractéristiques de la section transformée de la section non-fissurée (Ai, li, ti, ...) sont calculées.
- Les rigidités de la section non-fissurée ((E_{iy})_I, (E_{iz})_I, (EA)_I) au centre de la section transformée nonfissurée sont calculées.
- La valeur maximale de la contrainte de traction de la section non-fissurée (σ_{ct,res}) pour la combinaison caractéristique respective (N_{cara,res}, M_{cara,res,z}) est calculée.
- La valeur maximale de la contrainte de traction de la section non-fissurée (σ_{ct,imm}) pour la combinaison caractéristique immédiate (N_{cara,imm}, M_{cara,imm,y}, M_{cara,imm,z}) est calculée.
- 5. Les valeurs σ_{ct} et $\sigma_{ct,imm}$ sont comparées.

Si $\sigma_{ct} \ge \sigma_{ct,imm}$: la combinaison caractéristique respective sera utilisée pour le calcul :

$$\begin{split} N_{cara} &= N_{cara,res} \\ M_{cara,y} &= M_{cara,res,y} \\ M_{cara,z} &= M_{cara,res,z} \\ \sigma_{ct} &= \sigma_{ct,res} \end{split}$$

Si $\sigma_{ct} \leq \sigma_{ct,imm}$: la combinaison caractéristique immédiate sera utilisée pour le calcul :

- $$\begin{split} N_{cara} &= N_{cara,imm} \\ M_{cara,y} &= M_{cara,imm,y} \\ M_{cara,z} &= M_{cara,imm,z} \\ \sigma_{ct} &= \sigma_{ct,imm} \end{split}$$
- 6. Les valeurs σ_{ct} et σ_{cr} sont comparées.

Si $\sigma_{ct} \leq \sigma_{cr}$: la section est non-fissurée :

- Rigidité de flexion autour de l'axe y : $(EI_y) = (EI_y)_{T}$
- Rigidité de flexion autour de l'axe z : $(EI_z) = (EI_z)_I$
- Rigidité axiale : $(EA) = (EA)_I$

Si $\sigma_{ct} \ge \sigma_{cr}$: la section est fissurée et la rigidité moyenne est calculée.

7. Les caractéristiques transformées Css de la section fissurée (Air, lir, tir, ...) sont calculées.

- 8. Les rigidités de la section totalement fissurée $((EI_y)_{II}, (EI_z)_{II}, (EA)_{II})$ au centre de la section transformée fissurée sont calculées.
- La contrainte dans le ferraillage tendu de la section totalement fissurée (σ_{sr}) pour les combinaisons caractéristiques (N_{cara}, M_{cara,y}, M_{cara,z}) est calculée.

- 10. La contrainte dans le ferraillage tendu de la section totalement fissurée (σ_s) pour les combinaisons respectives (N, M_y, M_z) est calculée.
- 11. Le coefficient de répartition ζ conformément à l'équation 7.19 de l'EN 1992-1-1 est calculé :

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{\sigma_{\rm sr}}{\sigma_{\rm s}}\right)^2$$

Où β est un coefficient qui tient compte de l'influence de la durée du chargement ou de charges répétées sur la déformation moyenne (β = 1 pour le calcul de la rigidité à court-terme, β = 0,5 pour le calcul de la rigidité à long-terme).

- 12. La valeur moyenne des rigidités basée sur l'équation 7.18 de l'EN 1992-1-1 est calculée :
 - $\circ \quad \text{Rigidité de flexion autour de l'axe } y : \left(\text{EI}_y \right) = 1 / \left[\zeta / \left(\text{EI}_y \right)_{II} + (1 \zeta) / \left(\text{EI}_y \right)_{I} \right]$
 - Rigidité de flexion autour de l'axe z : $(EI_z) = 1/[\zeta/(EI_z)_{II} + (1 \zeta)/(EI_z)_I]$
 - Rigidité axiale : (EA) = $1/[\zeta/(EA)_{II} + (1 \zeta)/(EA)_{I}]$

La rigidité est recalculée par rapport à l'axe principal pour une section non-symétrique.

13. Les 5 types de rigidité sont calculés pour chaque élément 1D et chaque combinaison dangereuse :

Type de rigidité	Combinaison respective
Rigidité à court-terme pour une flèche immédiate	Immédiate
Rigidité à court-terme pour une flèche à court-terme	Totale
Rigidité à court-terme pour la flèche due au fluage	Fluage
Rigidité à long-terme pour la flèche due au fluage	Fluage
Rigidité à long-terme pour la flèche due au retrait	Totale

14. Les rigidités suivantes sont des changements dans la matrice de rigidité des éléments 1D :

 $EA_x = EA$ $GA_y = GA_z = G.EA_x / (1,2.E_c)$ $EI_y = E_{iy}$ $EI_z = E_{iz}$ $GI_x = 0,5.(1-\mu).(EI_y.EI_z)^{0.5}$

Où :

G est le module de cisaillement du béton calculé selon la formule G = $0.5 \cdot E_c/(1+\mu)$ μ est le coefficient de Poisson du béton chargé depuis les propriétés du matériau du béton.

L'excentricité des rigidités (distance entre le centre de gravité de la section de béton et le centre de gravité de la section fissurée transformée) n'est pas prise en compte dans la version actuelle.

⇒ Calcul des efforts de retrait d'un élément 1D

Les efforts dus au retrait sont calculés selon les formules ci-dessous. Les efforts sont calculés à fois pour la section non-fissurée et la section fissurée.

$$N_{shr} = -\varepsilon_{cs}(t, t_s). \operatorname{coef}_{reinf} \Sigma(E_{si}, A_{si})$$

$$M_{shr,y} = N_{shr} e_{shr,z}$$

 $M_{shr,z} = N_{shr} e_{shr,y}$

Où :

$$\begin{split} e_{shr,y} &= \frac{\Sigma(E_{si},A_{si})}{\Sigma(E_{si},A_{si},y_{si})} - t_{iy} \\ e_{shr,z} &= \frac{\Sigma(E_{si},A_{si})}{\Sigma(E_{si},A_{si},z_{si})} - t_{iz} \end{split}$$

 $\epsilon_{cs}(t, t_s)$: déformation due au retrait total

Coefreinf : coefficient augmentant la quantité de ferraillage

E_{si} : module d'élasticité des i^{ème} barres de ferraillage

Asi : section de ferraillage des ième barres de ferraillage

 y_{si} : position des i^{ème} barres de ferraillage depuis le centre de gravité de la section dans la direction y z_{si} : position des i^{ème} barres de ferraillage depuis le centre de gravité de la section dans la direction z t_{iy} : distance entre le centre de gravité de la section transformée fissurée / non-fissurée et le centre de gravité de la section dans la direction y

t_{iz} : distance entre le centre de gravité de la section transformée fissurée / non-fissurée et le centre de gravité de la section de béton dans la direction z

								N [kN]	M, [kNm]	M _z [kN
Combi.: ELS	/1 _to	t						0.00	169.	10	0.00
Combinaiso	n cara	actéristiq	ue (car):	ELS/1_tot				0.00	169.	10	0.00
fforts causé ractéristiq	ues	le retrait: de la se	N _{shr} = 1	96.40 kN, N	l _{shr,y} = 12.77 k	cNm, M _{shra} = (0.00 kNm				
Type d'		t,		t:	Α	l _v	l,		x		A,
élément		[mm]		[mm]	[mm ²]	[mm ⁴]	ſmm	1 ⁴ 1	[mm]		[mm ²]
Linéaire		0.0		0.0	150000	3.13.109	1.13	-10 ⁹	256.8		
Non fissurée	2	0.0		-18.6	192831	4.69·10 ⁹	1.35	-10 ⁹	500.0		2199
Fissuré		0.0		52.7	102014	2.89·10 ⁹	667-	10 ⁶	197.3		2199
0.00 59	.57	0.00	8.35	2.90	0	UI	99.3	282.0	0.5	0.93	8 10.3
cul de rig ligidité axial EA = - ligidité flexio	idité e EA : EA EA onnel	$EA_{I} = 1$ $\frac{1}{+\frac{1-\zeta}{EA_{I}}}$ $Ie EI_{y}: E$ 1	540.31 M = <u>0.93</u> 1540. N _{y,1} = 637	VIN EA _{II} = 1 1 8 31 + 1 - 0. 1540 7.48 MN·m ² 1	540.31 MN <u>938</u> = 1540.3 <u>31</u> El _{y,II} = 187.66 = 196.26	31 MN 5 MNm ²					G
Rigidité flexie	ζ El _{y,II} onnel	$+\frac{1-\zeta}{El_{y,1}}$ le El _y : E	0.93 187.6	$\frac{8}{66} + \frac{1 - 0.9}{637.4}$ 5.52 MN·m ²	B 8 El _{z,II} = 115.52	2 MN·m ²					(
El ₂ = -	7	1-7	= 0.020	2 1 00	= 115.52	MN-m [*]					(

⇒ Calcul des déformations et courbures dues au retrait d'un élément 1D

La déformation et courbure causées par le retrait sont calculées pour chaque élément 1D et ces valeurs sont calculées pour les deux états (section fissurée et non-fissurée).

Le calcul de la déformation due au retrait :

$$\epsilon_x = -\epsilon_{cs}(t, t_s) . \text{coef}_{reinf} . \Sigma(E_{si} . A_{si}) / (E_{ceff} . A_i)$$

Le calcul de la courbure autour des axes y et z due au retrait :

$$\begin{split} & (1/r_y) = -\epsilon_{cs}(t, t_s). \operatorname{coef}_{reinf} \Sigma \big(E_{si}.A_{si}.(t_{iz} - z_{si}) \big) / \big(E_{ceff}.I_{iy} \big) \\ & (1/r_z) = -\epsilon_{cs}(t, t_s). \operatorname{coef}_{reinf} \Sigma \big(E_{si}.A_{si}.(t_{iy} - y_{si}) \big) / (E_{ceff}.I_{iz}) \end{split}$$

Où :

- $\epsilon_{cs}(t, t_s)$: déformation de retrait total
- Coefreinf : coefficient qui augmente la quantité de ferraillage
- E_{si} : module d'élasticité de la i^{ème} barre de ferraillage
- A_{si} : section de ferraillage de la i^{ème} barre de ferraillage
- ysi : position de la ième barre de ferraillage depuis le centre de gravité de la section dans la direction y
- zsi : position de la ième barre de ferraillage depuis le centre de gravité de la section dans la direction z
- t_{iy} : distance entre le centre de gravité de la section transformée fissurée / non-fissurée et le centre de gravité de la section de béton dans la direction y
- t_{iz} : distance entre le centre de gravité de la section transformée fissurée / non-fissurée et le centre de gravité de la section de béton dans la direction z
- Eceff : module effectif d'élasticité du béton calculé selon la formule :

$$E_{c} = E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{(1+\varphi)}$$

Ecm : module sécant d'élasticité du béton

- ϕ : coefficient de fluage
- Ai : aire de la section transformée fissurée / non-fissurée
- l_{iy} : second moment transformé de l'aire autour de l'axe y de la section fissurée / non-fissurée calculée au centre de gravité de la section transformée fissurée / non-fissurée
- l_{iz} : second moment transformé de l'aire autour de l'axe z de la section fissurée / non-fissurée calculée au centre de gravité de la section transformée fissurée / non-fissurée

⇒ Calcul des rigidités dues au retrait d'un élément 1D

La rigidité de la section non-fissurée / fissurée pour le retrait est calculée à partir de la déformation et des courbures dues au retrait en utilisant le niveau total de charges (combinaison sous charges totales) :

- Rigidité de flexion autour de l'axe y : $(EI_y) = M_{tot,y}/(1/r_y)$
- Rigidité de flexion autour de l'axe z : $(EI_z) = M_{tot,z}/(1/r_z)$
- Rigidité axiale : (EA) = N_{tot}/ϵ_x

3.6.5. Calcul de la rigidité pour les éléments 2D

La procédure suivante est utilisée pour le calcul de la rigidité des éléments 2D :

1. Les contraintes principales de l'élément 2D sont calculées pour chaque face :

$$\begin{split} \sigma_{1\pm} &= \frac{\sigma_{x\pm} + \sigma_{y\pm}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\left(\sigma_{x\pm} - \sigma_{y\pm}\right)^2 + 4.\,\sigma_{xy.\pm}} \\ \sigma_{2\pm} &= \frac{\sigma_{x\pm} + \sigma_{y\pm}}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\left(\sigma_{x\pm} - \sigma_{y\pm}\right)^2 + 4.\,\sigma_{xy.\pm}} \end{split}$$

2. L'angle des contraintes principales est calculée au niveau des deux faces :

$$\alpha_{\sigma 1 \pm} = 0.5 \tan^{-1} \left(\frac{2.\sigma_{xy\pm}}{\sigma_{x\pm} - \sigma_{y\pm}} \right)$$

3. La valeur finale de la contrainte principale est calculée :

$$\begin{array}{ll} \alpha = \alpha_{\sigma 1 +} & \text{si } \sigma_{1 +} \geq \sigma_{1 -} \\ \alpha = \alpha_{\sigma 1 -} & \text{si } \sigma_{1 +} < \sigma_{1 -} \end{array}$$

4. Les efforts internes sont recalculés selon la direction de la contrainte principale α :

$$\begin{split} m(\alpha) &= m_x \cdot \cos^2(\alpha) + m_y \cdot \sin^2(\alpha) + m_{xy} \cdot \sin(2\alpha) \\ n(\alpha) &= n_x \cdot \cos^2(\alpha) + n_y \cdot \sin^2(\alpha) + n_{xy} \cdot \sin(2\alpha) \end{split}$$

Où n_x, n_y, n_{xy}, m_x, m_y, m_{xy} sont les efforts 2D au centre de l'élément 2D.

5. La section de ferraillage est recalculée selon la direction de la contrainte principale α :

$$A_s(\alpha) = A_s \cdot \cos^2(\alpha - \alpha_s)$$

Où A_s et α_s sont respectivement la section et l'angle du ferraillage longitudinal.

- 6. La rigidité non-linéaire dans la première direction principale est calculée selon la même procédure que pour les éléments 1D :
 - Pour une section rectangulaire (b = 1m, h = épaisseur de l'élément 2D au centre de gravité)
 - Pour les efforts internes N = n(α), M_y = m(α) et M_z = 0 selon la même procédure que pour les éléments 1D
- 7. La rigidité non-linéaire dans la seconde direction principale est calculée selon la même procédure que pour les éléments 1D :
 - Pour une section rectangulaire (b = 1m, h = épaisseur de l'élément 2D au centre de gravité)
 - Pour les efforts internes N = $n(\alpha + 90)$, M_y = $m(\alpha + 90)$ et M_z = 0 selon la même procédure que pour les éléments 1D
- 8. La rigidité pour la flèche due au retrait est calculée dans les deux directions des axes principaux comme expliquée dans le prochain paragraphe.

9. Les 5 types de rigidité sont calculés pour chaque élément 2D et chaque combinaison dangereuse :

Type de rigidité	Combinaison respective	Direction de la contrainte principale		
Rigidité à court-terme pour	Immédiata	Première (EA ₁ , El _{y1} , El _{z1})		
une flèche immédiate	Immediale	Seconde (EA ₂ , EI _{y2} , EI _{z2})		
Rigidité à court-terme pour	Totala	Première (EA ₁ , El _{y1} , El _{z1})		
une flèche à court-terme	Totale	Seconde (EA ₂ , El _{y2} , El _{z2})		
Rigidité à court-terme pour	Eluare	Première (EA ₁ , El _{y1} , El _{z1})		
la flèche due au fluage	Fluage	Seconde (EA ₂ , EI _{y2} , EI _{z2})		
Rigidité à long-terme pour	Eluare	Première (EA ₁ , El _{y1} , El _{z1})		
la flèche due au fluage	Fluage	Seconde (EA ₂ , EI _{y2} , EI _{z2})		
Rigidité à long-terme pour	Tatala	Première (EA ₁ , El _{y1} , El _{z1})		
la flèche due au retrait		Seconde (EA ₂ , EI _{y2} , EI _{z2})		

10. Les rigidités suivantes sont des changements dans la matrice de rigidité des éléments 2D :

D11 = EI_{y1} D22 = EI_{y2} D33 = 0,5.(1 - μ). (D11. D22)^{0,5} D44 = G.h/1,2 D55 = G.h/1,2 D12 = μ . (D11. D22)^{0,5} d11 = EA₁ d22 = EA₂ d33 = G.h d12 = μ . (d11. d22)^{0,5}

G est le module de cisaillement du béton calculé selon la formule G = $0.5 \cdot E_c/(1+\mu)$ μ est le coefficient de Poisson du béton chargé depuis les propriétés du matériau béton

L'excentricité des rigidités (distance entre le centre de gravité de la section béton et le centre de gravité de la section transformée fissurée) n'est pas prise en compte dans la version actuelle.

⇒ Calcul des efforts de retrait d'un élément 2D

Les efforts dus au retrait sont calculés au centre de gravité de chaque élément et dans deux directions :

- La première est dans la direction de la contrainte principale α
- Le deuxième est dans la direction de la contrainte principale α_{+90°}

Les efforts dus au retrait pour les deux directions sont calculés selon les formules ci-dessous. Les efforts sont calculés pour les deux états : non-fissurés et fissurés.

$$n_{shr} = -\varepsilon_{cs}(t, t_s). \operatorname{Coef}_{\operatorname{Reinf}}\Sigma(E_{si}. A_{si(\alpha)})$$

$$m_{shr} = n_{shr} \cdot e_{shr,z}$$

Où :

$$e_{shr,z} = \frac{\Sigma(E_{si}.A_{si(\alpha)})}{\Sigma(E_{si}.A_{si(\alpha)}.z_{si})} - t_{iz(\alpha)}$$

,

 $\epsilon_{cs}(t, t_s)$: déformation due au retrait total

.

Coefreinf : coefficient augmentant la quantité de ferraillage

 E_{si} : module d'élasticité des i^{eme} barres de ferraillage

 $A_{si(\alpha)}$: section de ferraillage des i^{ème} barres de ferraillage dans la première (angle α) / seconde direction (angle : α + 90°) des contraintes principales.

 z_{si} : position des i^{ème} barres de ferraillage depuis le centre de gravité de la section dans la direction z $t_{iz(\alpha)}$: distance entre le centre de gravité de la section transformée fissurée / non-fissurée et le centre de gravité de la section de béton dans la direction z et dans la première (angle α) / seconde direction (angle : α + 90°) des contraintes principales.

⇒ Calcul des déformations et courbures dues au retrait d'un élément 2D

La déformation et courbure causées par le retrait sont calculées pour chaque élément 2D et ces valeurs sont calculées pour les deux états (section fissurée et non-fissurée). Les valeurs sont calculées dans les deux directions des contraintes principales.

Le calcul de la déformation due au retrait :

$$\epsilon_x = -\epsilon_{cs}(t, t_s). \, \text{coef}_{\text{reinf}}. \, \Sigma \big(E_{si}. A_{si(\alpha)} \big) / \big(E_{\text{ceff}}. A_{i(\alpha)} \big)$$

Le calcul de la courbure autour des axes y et z due au retrait :

$$(1/r) = -\varepsilon_{cs}(t, t_s) \cdot \operatorname{coef}_{reinf} \cdot \Sigma \left(E_{si} \cdot A_{si(\alpha)} \cdot \left(t_{iz(\alpha)} - z_{si} \right) \right) / \left(E_{ceff} \cdot I_{iy(\alpha)} \right)$$

Où :

 $\varepsilon_{cs}(t, t_s)$: déformation de retrait total

Coefreinf : coefficient qui augmente la quantité de ferraillage

E_{si} : module d'élasticité de la i^{ème} barre de ferraillage

 $A_{si(\alpha)}$: section de ferraillage des i^{ème} barres de ferraillage dans la première (angle α) / seconde direction (angle : α + 90°) des contraintes principales.

 z_{si} : position des i^{ème} barres de ferraillage depuis le centre de gravité de la section dans la direction z $t_{iz(\alpha)}$: distance entre le centre de gravité de la section transformée fissurée / non-fissurée et le centre de gravité de la section de béton dans la direction z et dans la première (angle α) / seconde direction (angle : α + 90°) des contraintes principales.

Eceff : module effectif d'élasticité du béton calculé selon la formule :

$$E_{\rm c} = E_{\rm c,eff} = \frac{E_{\rm cm}}{(1+\phi)}$$

 $E_{\mbox{\scriptsize cm}}$: module sécant d'élasticité du béton

 ϕ : coefficient de fluage

- $A_{i(\alpha)}$: aire de la section transformée fissurée / non-fissurée dans la première (angle α) / seconde direction (angle : α + 90°) des contraintes principales.
- $I_{iy(\alpha)}$: second moment transformé de l'aire autour de l'axe y de la section fissurée / non-fissurée calculée au centre de gravité de la section transformée fissurée / non-fissurée dans la première (angle α) / seconde direction (angle : α + 90°) des contraintes principales.

⇒ Calcul des rigidités dues au retrait d'un élément 2D

La rigidité de la section non-fissurée / fissurée pour le retrait est calculée à partir de la déformation et des courbures dues au retrait en utilisant le niveau total de charges (combinaison sous charges totales) :

- Rigidité de flexion dans la direction du premier axe principal : $(EI_{y1}) = m_{tot(\alpha)}/(1/r)_1$
- Rigidité de flexion dans la direction du deuxième axe principal : $(EI_{y2}) = m_{tot(\alpha+90)}/(1/r)_2$
- $_{\odot}$ Rigidité axiale dans la direction du premier axe principal : (EA₁) = $n_{tot(\alpha)}/\epsilon_{x,1}$
- Rigidité axiale dans la direction du deuxième axe principal : $(EA_2) = n_{tot(\alpha+90)}/\epsilon_{x,2}$

Où :

- $n_{tot(\alpha)}$ et $n_{tot(\alpha+90)}$ sont les efforts normaux issus des combinaisons totales sur les éléments 2D, recalculés dans les directions du premier et du deuxième axe principal.
- $m_{tot(\alpha)}$ et $m_{tot(\alpha+90)}$ sont les moments de flexion issus des combinaisons totales sur les éléments 2D, recalculés dans les directions du premier et du deuxième axe principal.
- $\epsilon_{x,1}$ et $\epsilon_{x,2}$ sont les déformations dues au retrait, calculées respectivement dans les directions du premier et du deuxième axe principal.
- $(1/r)_1$ et $(1/r)_2$ sont les courbures dues au retrait, calculées respectivement dans les directions du premier et du deuxième axe principal.

La flèche due au retrait est calculée dans l'analyse EF pour les combinaisons sous charges totales, c'est pourquoi les rigidités sont calculées en utilisant les efforts internes pour les combinaisons sous charges totales.
3.6.6. Paramètres pour le calcul de la déformation de retrait

La déformation totale due au retrait se décompose en deux types : la déformation due au retrait de séchage et la déformation due au retrait autogène. La déformation due au retrait de séchage se développe doucement, puisqu'elle dépend de l'écoulement de l'eau à travers le béton durci. La déformation due au retrait autogène se développe pendant le durcissement du béton.

Dans la « Configuration béton », le logiciel propose trois options pour le calcul / la saisie de la déformation totale due au retrait :

- « Non » : le retrait ne sera pas pris en compte dans le calcul de la CDD.
- « <u>Auto</u> » : il s'agit d'un calcul automatique, où la déformation due au retrait est calculée conformément à l'EN 1992-1-1, chapitre 3.1.4(6) et pour les paramètres définis suivants :
 - Humidité relative
 - Âge du béton au début du retrait de séchage
 - Âge du béton à la mise en charge

A l'exception de ces paramètres à saisir, le calcul automatique de la déformation due au retrait dépend des propriétés du matériau (la résistance moyenne à la compression du béton f_{cm} , la résistance caractéristique à la compression du béton mesurée sur cylindre à 28 jours f_{ck} , le type de ciment) et des paramètres de section (l'aire de la section A_c et le périmètre de l'élément en contact avec l'atmosphère u).

- « <u>Valeur utilisateur</u> » : l'utilisateur peut directement saisir la valeur de la déformation totale due au retrait.

es : Configuration complète 💙 Paramètres d'affich 🔻	Reprendre o	léfaut	Chercher				Annexe Na	tionale:	2
Description	Symbole	Valeur	Défaut	Unité	Chapitre	Norme	Structu	Type de	Π
tous>	<tous> 🔎</tous>	<tous></tous>	<tous> 🔎</tous>	<	<tous> 🔎</tous>	<tous> \wp</tous>	<tou th="" 🔎<=""><th><tou th="" 🔎<=""><th></th></tou></th></tou>	<tou th="" 🔎<=""><th></th></tou>	
Paramètres de conception par défaut									
Option du solveur									
⊿ Général									
Valeur limite du contrôle unité	Contr.limite	1.0	1.0			Independent	Tout (Po	Option d	
Valeur du contrôle unité lorsque le contrôle n'est pas cal	Contr.Ncal	3.0	3.0			Independent	Tout (Po	Option d	
Coefficient pour le calcul de la hauteur statique de la sect	Coeff _d	0.9	0.9			Independent	Tout (Po	Option d	
Coefficient pour le calcul du bras de levier interne	Coeffz	0.9	0.9			Independent	Tout (Po	Option d	
Coefficient pour la détermination de l'élément comprimé	Coeff _{com}	0.1	0.1			Independent	Tout (Po	Option d	
 Fluage et retrait 									
Age du béton à l'instant considéré	t	18250.00	18250.00	jour	3.1.4.B.1-2	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d	
Humidité relative	RH	50	50	%	3.1.4.B.1-2	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d	
Type d'introduction du coefficient de fluage	Type <mark>(</mark> t,to)	Auto	Auto		3.1.4(2)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d	
Age du béton à la mise en charge	t ₀	28.00	28.00	jour	3.1.4(2),B1	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d	
Tenir compte du séchage et du retrait autogène	Type scs(t,ts) Auto 🔺	Auto		3.1.4(6)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d	
Âge du béton au début du retrait de séchage	t _s	Non	20	jour	3.1.4(6),B2	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d	
∠ ELS		Auto							
Utiliser le module effectif du béton		Valeur utilisatei	ir		7.1(2)	EN 1992-1-1	Tout (Po	Option d	
 Type [déplac. / non dépl.] par défaut 									
Dénlacable autour de l'avea	Noeude dé		1.2			Independent	Tout (Do	Option d	

3.6.7. Calcul de la flèche

Les flèches ci-dessous sont calculées dans le contrôle de la CDD :

- δ_{lin} : la flèche linéaire (élastique).
 Elle est calculée pour les combinaisons sous charges totales et pour la rigidité linéaire.
- Δ_{imm} : la flèche immédiate.

Il s'agit de la flèche après application des charges permanentes et variables à long-terme, ce qui signifie calculée avec une rigidité à court-terme et les combinaisons immédiates.

- δ_{short}: la flèche à court-terme.
 Il s'agit de la flèche qui prend en compte la fissuration de la section calculée pour une rigidité à court-terme et les combinaisons sous charges totales.
 - δ_{creep} : la flèche sous fluage.
 Elle est calculée comme la différence entre les flèches calculées avec une rigidité à court-terme et une rigidité à long-terme pour les combinaisons sous fluage.

$$\Delta_{\rm creep} = \delta_{\rm creep, long} - \delta_{\rm creep, short}$$

- δ_{shr}: la flèche due au retrait (de séchage et autogène).
 La rigidité à long-terme est calculée à partir de la déformation et de la courbure dues au retrait en utilisant les combinaisons sous charges totales.
- δ_{add} : la flèche additionnelle.

Il s'agit de la flèche après application des charges variables en considérant le fluage, et calculée comme la différence entre la flèche totale et immédiate.

$$\Delta_{\rm add} = \delta_{\rm tot} - \delta_{\rm imm}$$

- δ_{tot} : la flèche totale.

Il s'agit de la flèche qui tient compte du fluage et de la fissuration, calculée comme la somme de la flèche à court-terme et de la flèche sous fluage.

$$\Delta_{\rm tot} = \delta_{\rm short} + \delta_{\rm creep}$$



Toutes ces valeurs peuvent être visualisées à l'écran :



Chapitre 4: Modification de résultats

4.1. **Position**

Pendant un calcul dans SCIA Engineer, les déformations de nœuds et les réactions sont calculées de manière exacte (par la méthode des déplacements). Les contraintes et les efforts internes sont dérivés de ces efforts via des fonctions basiques présumées, et sont donc toujours moins précis dans la méthode EF.

Le maillage de la méthode EF dans SCIA Engineer est composé d'éléments à 3 ou 4 angles. Pour chaque élément de maillage, 3 ou 4 résultats sont calculées, un à chaque nœud. Lors de l'affichage des résultats sur des éléments 2D, l'option « Position » dans la fenêtre de propriétés donne la possibilité d'afficher ces résultats de 4 manières.

4.1.1. Aux nœuds, pas de moyenne

Toutes les valeurs de résultats sont pris en compte, il n'y a pas de moyenne. C'est pourquoi à chaque nœud, 4 valeurs provenant des éléments de maillage adjacents sont affichées. Si ces 4 résultats diffèrent beaucoup les uns des autres, c'est une indication sur le fait que la taille de maille choisie est trop importante.



4.1.2. Aux centres

Pour chaque éléments de maillage, la valeur moyenne des résultats aux 4 nœuds de l'élément est calculée. Comme il n'y a qu'un seul résultat par élément, l'affichage des isobandes devient une mosaïque. La courbe sur une section est constante pour chaque élément de maillage.



4.1.3. Aux nœuds, moyenne

Les valeurs de résultats des éléments finis adjacents sont moyennées à un nœud commun. Pour cette raison, l'affichage graphique est une courbe lissée d'isobandes.

Dans certains cas, il n'est pas autorisé de moyenner les valeurs des résultats à un nœud commun :

- A la transition entre éléments 2D (plaques, voiles, coques) ayant des axes locaux différents.
- Si un résultat est vraiment discontinu, comme l'effort tranchant au niveau d'un appui linéaire d'une plaque : les pics disparaitront complètement avec la moyenne des efforts tranchants positifs et négatifs.



4.1.4. Aux nœuds, moyenne sur macro

Les valeurs de résultats des éléments finis adjacents sont moyennées par nœud, <u>uniquement</u> sur les éléments de maillage qui appartiennent à un même élément 2D et dont leurs axes locaux sont dans la même direction. Cela résout les problèmes décrits avec l'option « Aux nœuds, moyenne ».



4.1.5. Précision des résultats

Si les résultats selon ces 4 positions diffèrent beaucoup, alors les résultats ne sont pas précis et le maillage doit être raffiné. Une règle basique pour une taille correcte des éléments de maillage, est de prendre 1 ou 2 fois l'épaisseur de la plaque.

4.2. Bande de lissage

Les bandes de lissage permettent de moyenner des pics de valeurs sur une zone ponctuelle ou linéaire. L'option se trouve dans le panneau de saisie dans les « Outils de résultats », ou bien par la dernière série d'icône du poste de travail « Résultats » :



RS RS	×
Nom	R\$1
Туре	Bande v
Largeur [m]	1.000
Direction	longitudinale v

"Type": on peut choisir entre un point et une bande de lissage.

"Largeur" : ici peut être définie la largeur de la bande de lissage.

"Largeur", "Longueur" et "Angle" : ici peuvent être définies les dimensions du point de lissage.

"Direction":

- « Direction longitudinale » :

La moyenne est faite dans la direction longitudinale de la bande de lissage. Si par exemple, la bande de lissage est dans la direction Y, la moyenne est alors faite pour m_y. Les valeurs m_y sont moyennées dans la direction x.



- « Direction transversale » :

La moyenne est faite perpendiculairement à la direction longitudinale de la bande de lissage. Si par exemple, la bande de lissage est dans la direction X, la moyenne est alors faite pour m_x. Les valeurs m_x sont moyennées dans la direction y.



Мx



- « Les deux directions » :

La moyenne est faite dans les deux directions de la bande de lissage. Cela signifie que les valeurs sont moyennées pour m_x comme pour m_y dans la direction perpendiculaire à m_x et m_y .



Pour activer l'option de lissage, il faut cocher « Lissage des pointes » dans le panneau de propriétés des résultats :



Exemple : « 4.2 – Lissage – Exemple.esa »

A titre d'exemple, appliquons des bandes de lissage autour de l'ouverture du modèle plaque utilisé précédemment, et regardons $A_{s,req,2}$:

- A_{s,req,2-} sans lissage de pointes :



- A_{s,req,2-} avec lissage de pointes :



4.3. Nervure

Une nervure peut être ajoutée à une dalle par l'option « Nervure » dans les « Éléments 1D » du panneau de saisie :



On peut également utiliser l'option « Dalle nervurée » dans les « Éléments 2D » du panneau de saisie :

Formation avancée – Béton avancé



4.3.1. Résultats dans les nervures

Lorsqu'une nervure est présente dans une modélisation, alors une option « Nervure » est disponible dans les propriétés de résultats des éléments 1D et 2D. Cette option a une influence importante sur les résultats.

	Option « Nervure » activée	Option « Nervure » non activée
Résultats 1D		
Résultats 2D		

Lien entre les efforts internes calculés pour la section entière en Té, et pour la poutre et la dalle séparément

Lorsque les efforts internes sont calculés dans une nervure, la section en Té de substitution est utilisée pour calculer les résultats. L'âme de cette section en Té est formée par la poutre-nervure elle-même, l'aile de la section en Té est faite avec la largeur efficace de la dalle. La largeur efficace de la dalle doit être utilisée pour déterminer les efforts internes de la dalle qui doivent être ajoutés aux efforts internes calculés dans la nervure elle-même.



- T est le centre de la section entière en Té de substitution.
- T₁ est le centre de la partie gauche de la largeur efficace.
- T₂ est le centre de la partie droite de la largeur efficace.
- T₃ est le centre de la nervure d'origine.

Les coordonnées des centres sont utilisées comme bras de levier dans les directions Y et Z :

Bras de levier Z ₁ = T _{1z} - T _z	Bras de levier $Y_1 = T_{1y} - T_y$
Bras de levier Z ₂ = T _{2z} - T _z	Bras de levier $Y_2 = T_{2y} - T_y$
Bras de levier $Z_3 = T_{3z} - T_z$	Bras de levier $Y_3 = T_{3y} - T_y$
Bras de levier Z = $T_z - 0_z$	Bras de levier Y = $T_y - 0_y$

Les efforts internes finaux dans la nervure peuvent être calculés par les formules ci-dessous :

 $N = N_{poutre} + N_{dalle-gauche} + N_{dalle-droite}$ $V_{y} = V_{y,poutre} + V_{y,dalle-gauche} + V_{y,dalle-droite}$ $V_{z} = V_{z,poutre} + V_{z,dalle-gauche} + V_{z,dalle-droite}$

 $M_x = M_{x,poutre} + M_{x,dalle-gauche} + M_{x,dalle-droite}$

 $M_{y} = M_{y,poutre} + M_{y,dalle-gauche} + M_{y,dalle-droite} + N_{dalle-gauche} * Z_{1} + N_{dalle-droite} * Z_{2} + N_{poutre} * Z_{3}$

 $M_{z} = M_{z,poutre} + M_{z,dalle-gauche} + M_{z,dalle-droite} + N_{dalle-gauche} * Z_{1} + N_{dalle-droite} * Z_{2} + N_{poutre} * Z_{3}$

Pourquoi apparait-il un effort normal dans la nervure ?

Exemple : « 4.3 – Nervure avec BR.esa »

SCIA Engineer intègre les nervures comme des poutres excentrées liées aux dalles. L'excentricité est calculée à partir de la moitié de l'épaisseur de la dalle et la moitié de la hauteur de la section de la poutre.



Lors de la définition de la section de la poutre, la hauteur est définie comme la distance entre le bas de la dalle et le bas de la poutre. Dans l'image ci-dessus, la hauteur est notée « H ».

A cause du décalage de l'axe neutre, les efforts internes dans le système entier sont modifiés. Dans un simple système soumis à un moment de flexion, on obtient un moment fléchissant interne et un effort normal.

Généralement, si la poutre est sous la dalle, on obtient de la compression dans la dalle et de la traction dans la poutre.

La poutre excentrée entraine des efforts normaux dans la dalle. Cela provient de la déformation du système (dalle + poutre). L'image montre la déformation horizontale « u_x » pour expliquer graphiquement le comportement du système.

Ce système est composé de deux poutres de section rectangulaire connectées par des bras rigides. Le déplacement horizontal de l'appui est libre pour éviter toute contrainte.





La déformation horizontale vue de face :



Si on regarde le début de la poutre, on peut voir la compression dans la dalle et la traction dans la poutre :



Bien entendu, le système entier doit être en équilibre et l'ensemble des efforts normaux, c'est-à-dire la somme des efforts normaux dans la dalle et dans la poutre, doit être nul :



Dans notre modèle, nous n'avons qu'une seule poutre et tous les efforts internes de la partie supérieure sont intégrés dans l'effort normal de la nervure. Concrètement, la largeur efficace de la dalle est plus petite que la largeur entière de la dalle. Exceptionnellement, on peut s'arranger pour avoir les nervures de manière à ce qu'il n'y ait aucun décalage avec les largeurs efficaces, et dans ce cas particulier tous les efforts internes dans la dalle peuvent être résumées dans la nervure. Cela n'est possible que dans le cas où la distance entre les nervures est plus petite ou égale à la largeur efficace de la dalle calculée selon la norme.

Comportement d'une nervure dans une dalle large

Exemple : « 4.3 – Nervure de dalle.esa »

On peut maintenant réfléchir à un système où la largeur de la dalle est plus grande que la largeur efficace de la dalle. La condition d'équilibre doit être remplie. Si on intègre tous les efforts normaux dans la dalle entière et dans la poutre, on obtiendra bien sûr une valeur nulle.

Concernant la répartition de l'effort normal dans la dalle, cela est indépendant de la largeur efficace de la dalle. Seules les rigidités de la dalle et de la poutre sont responsables de la manière dont sont répartis les efforts internes.



Ci-dessous une coupe au milieu de la dalle montrant la répartition de l'effort normal :



On peut intégrer les efforts normaux dans la section à travers toute la largeur de la dalle. On obtient -429,47kN :



Comparons avec l'effort normal dans la poutre, qui est de 424,92kN. On peut alors noter que le système est en équilibre. La petite différence provient de la taille des éléments finis.



4 Comparaison des différentes largeurs efficaces

Exemple : « 4.3 – Nervure de dalle.esa »

Cependant, si on étend la largeur efficace de la dalle à la largeur de la dalle tout entière, les efforts internes dans la dalle et la concentration dans la poutre seront alors négligés. (En fait, il y a deux valeurs limites : la largeur efficace minimale est égale à la largeur de la poutre, et la maximale est égale à la largeur totale de la dalle).

Les efforts internes dans la dalle sont exclus de la dalle et intégrés dans une nouvelle section en Té virtuelle. Cette section virtuelle consiste en la largeur efficace de la dalle et la poutre.

Concernant la répartition de l'effort normal dans la dalle, on peut noter que la répartition est égale à celle dans les images du paragraphe précédent, où la largeur efficace de la dalle était définie selon la norme.



Dans l'image ci-dessous, on peut voir l'effort normal après que les efforts dans la largeur efficace de la dalle aient été exclus de la dalle. Dans SCIA Engineer, cela peut se faire en cochant l'option « Nervure » dans le panneau de propriétés des résultats.





Ces efforts normaux dans la largeur efficace de la dalle peuvent être intégrés :

Nous obtenons un effort normal égal à 55,28kN, qui se trouve dans la dalle. L'effort normal total dans la dalle était de 424,92kN. Nous avons donc, dans la partie extérieure à la largeur efficace, un effort normal égal à 424,92 – 55,28 = 369,64kN.



Dans la poutre, nous avons toujours les mêmes 424,92kN (les éventuelles différences avec les images précédentes proviennent de la taille des éléments finis 2D) :



Si l'on crée la somme des efforts normaux intégrés dans la dalle et dans la poutre, nous obtenons 424,92 – 55,28 = 369,64kN :



Regardons ce qu'il se passe si nous augmentons la largeur efficace de la dalle à 1500mm. Cela provient de la formule suivante : $2 * (0,1 * L) + b_w = 2*0,6 + 0,3$



Comme on peut le voir, l'effort normal dans la dalle reste le même. Cela est normal, car la largeur efficace de la dalle n'a aucune influence sur la répartition de l'effort normal dans le calcul EF. Cela affecte uniquement le découpage des efforts après le calcul entre la dalle et la section virtuelle en Té. La section de la largeur efficace de la dalle sera supprimée de la dalle et les efforts seront intégrés dans la section en Té. Les efforts internes hors à l'extérieur de la dalle resteront dans la dalle.



Ces efforts internes seront transférés à la section en Té.



Si nous intégrons les efforts normaux, nous obtenons 226kN :



Dans la section rectangulaire sous la dalle, nous avons les 424,92kN d'origine :



Si nous réduisons l'effort normal de la poutre de 226kN, qui est la somme des efforts normaux de la largeur efficace de la dalle, nous obtenons 198kN :



L'effort normal à l'extérieur de la largeur efficace reste dans la dalle.



Si nous intégrons les efforts (droite et gauche) à l'extérieur de la largeur efficace, nous obtenons un effort normal égal à 186,4, qui est en équilibre avec la traction dans la nervure en tant que section en Té.



4.3.2. Rigidité des nervures dans le calcul de la CDD

Le calcul de la rigidité de la nervure dépend de l'option « Nervure » :

- Option « Nervure » non activée

Les rigidités de la poutre et de la dalle seront calculées séparément. Si du ferraillage est présent dans la dalle, il n'est pas pris en compte dans le calcul de la rigidité de la dalle.

- Option « Nervure » activée

1) L'équilibre pour la section finale est calculée pour chaque combinaison dangereuse et pour chaque type de rigidité.

2) La rigidité de la nervure, qui ne prend en compte que la section de la nervure, est calculée avec la hauteur de la zone de compression à partir de l'équilibre de la totalité de la section finale. Les rigidités sont calculées au centre de gravité de la section finale transformée.



3) La rigidité de l'élément 2D en dehors de la largeur efficace est calculée par la procédure standard. La rigidité de l'élément 2D à l'intérieur de la largeur efficace est calculée dans deux directions : la direction de la nervure ($\alpha_{nervure}$) et la direction perpendiculaire à la nervure ($\alpha_{nervure}$ + 90).

4) La rigidité perpendiculaire à la nervure est calculée par la procédure standard.

5) La rigidité dans la direction de la nervure est calculée selon la procédure suivante :

- Le ferraillage 1D qui est calculé ou saisi sur une partie de la dalle de la section finale est pris en compte dans le calcul de la rigidité de l'élément 2D. Ce ferraillage est transformé en ferraillage 2D et est ajouté au ferraillage 2D standard.
- Les rigidités non fissurées (EAI, EI_{y,I}, EI_{z,I}) seront calculées pour l'épaisseur totale de l'élément 2D avec ferraillage 2D standard (requis / défini / utilisateur) et avec le ferraillage transformé de l'élément 1D. La rigidité est calculée au centre de gravité de la section non fissurée transformée.
- La rigidité fissurée est calculée dans le cas où : $\sigma_{ct} \leq \sigma_{cr}$. Les rigidités (EA_{II}, EI_{y,II}, EI_{z,II}) seront calculées en prenant en compte les paramètres du calcul de l'élément 1D qui est plus proche du centre de gravité de l'élément 2D. La hauteur de la zone de compression est calculée selon la formule :

$$x_{s} = \frac{A_{cc} - A_{cc,nervure}}{b_{eff}}$$

Avec :

A_{cc} : aire en compression de la totalité de la section en inertie fissurée A_{cc,nervure} : aire en compression de la nervure en inertie fissurée b_{eff} : largeur efficace de la dalle pour les contrôles

 σ_{ct} : résistance en traction maximale calculée pour la section finale (nervure + partie de la dalle) et pour la combinaison caractéristique.

La rigidité est calculée au centre de gravité de la section fissurée transformée.

 La rigidité moyenne sera calculée à partir des rigidités fissurées et non-fissurées en utilisant le coefficient de répartition, lui-même calculé à partir des contraintes issues de la section entière de l'élément 1D qui se trouve proche du centre de gravité de l'élément 2D.

Rigidité de flexion autour de l'axe y :

$$(EI_y) = \frac{1}{\left[\frac{\zeta}{(EI_y)_{II}} + \frac{1-\zeta}{(EI_y)_{I}}\right]}$$

Rigidité de flexion autour de l'axe z :

$$(\mathrm{EI}_{\mathrm{z}}) = \frac{1}{\left[\frac{\zeta}{(\mathrm{EI}_{\mathrm{z}})_{\mathrm{II}}} + \frac{1-\zeta}{(\mathrm{EI}_{\mathrm{z}})_{\mathrm{I}}}\right]}$$

Rigidité axiale :

$$(EA) = \frac{1}{\left[\frac{\zeta}{(EA)_{II}} + \frac{1-\zeta}{(EA)_{I}}\right]}$$

4.4. **Orthotropie**

Dans la pratique de l'ingénierie, il est courant de devoir calculer une dalle (ou un voile) avec des caractéristiques différentes (rigidité) dans les directions longitudinales et transversales, et avoir des comportements différents dans ces deux directions. Un tel comportement provient de la géométrie (par exemple une dalle nervurée) ou d'hypothèses physiques pour une situation particulière, par exemple lors de la détermination des déformations dans une plaque fissurée ou encore lors de l'exclusion d'éléments verticaux d'un système de rigidités horizontales (par exemple les voiles en maçonnerie).

A chaque fois que vous avez besoin d'ajuster le modèle EF pour obtenir un tel comportement dans SCIA Engineer, les propriétés orthotropiques peuvent être utilisées. Ces propriétés orthotropiques peuvent être définies de deux manières :



- Orthotropie dans les propriétés d'un élément 2D

Modificateur de propriétés

PANNEAU DE SAISIE	Tous les postes de travail	\sim
Conditions aux limites	Toutes les étiquettes	\sim
MODIFICATEURS DE PROPRIÉTÉS 2D	🛦 🤗 🕨 🥾 Ħ 🛦 🌩	
# 🕌 📒 🚰 🚥 🗝 🚥		L

La différence se trouve dans la façon de saisir les données. Dans le cas de l'orthotropie dans les propriétés d'éléments 2D, les rigidités sont définies directement, alors que dans le modificateur de propriétés, un coefficient est défini par lequel les rigidités isotropiques sont multipliées.

Le modificateur de propriétés est un peu plus flexible dans le sens où il ne dépend pas directement des propriétés de la partie modifiée. Si l'utilisateur souhaite définir une dalle tendue dans une seule direction, alors cela est possible d'être fait pour une plaque d'épaisseur 20cm et aussi pour une plaque d'épaisseur 30cm en

utilisant les mêmes valeurs. Les propriétés orthotropiques des éléments 2D, quant à elles, nécessitent de définir séparément les propriétés pour chacune des dalles (celle de 20cm et celle de 30cm).

D'un autre côté, les propriétés orthotropiques des éléments 2D ont aussi leurs avantages. Elles peuvent être paramétrées, et le programme inclue une panoplie de générateurs pour aider l'utilisateur dans la saisie. Il est toutefois important de comprendre chaque paramètre orthotropique. Les rigidités sont définies par des paramètres qui commencent par « D » ou « d ». Les modificateurs de propriétés demandent les paramètres suivants pour un élément coque :

SF2D1	Coefficient Coefficient Coefficient Coefficient Coefficient	de correctio de correctio de correctio de correctio de correctio	Nom Descriptior Type n pour D11 n pour D12 n pour D22 n pour D33	SF2D1 Standard 1.000 1.000 1.000 1.000	~
	Coefficient Coefficient Coefficient Coefficient Coefficient	de correctio de correctio de correctio de correctio de correctio	Descriptior Type n pour D11 n pour D12 n pour D22 n pour D33	Standard 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000	v
	Coefficient Coefficient Coefficient Coefficient Coefficient	de correctio de correctio de correctio de correctio de correctio	Type n pour D11 n pour D12 n pour D22 n pour D33	Standard 1.000 1.000 1.000 1.000	۷
	Coefficient Coefficient Coefficient Coefficient	de correctio de correctio de correctio de correctio de correctio	n pour D11 n pour D12 n pour D22 n pour D33	1.000 1.000 1.000 1.000	
	Coefficient Coefficient Coefficient Coefficient	de correctio de correctio de correctio	n pour D12 n pour D22 n pour D33	1.000 1.000 1.000	
	Coefficient Coefficient Coefficient	de correctio de correctio	n pour D22 n pour D33	1.000 1.000	
	Coefficient Coefficient	de correctio de correctio	n pour D33	1.000	
	Coefficient	de correctio			
		uc confectio	n pour D44	1.000	
	Coefficient	de correctio	n pour D55	1.000	
	Coefficient de correction pour d11 1. Coefficient de correction pour d12 1. Coefficient de correction pour d22 1.			1.000	
				1.000	
				1.000	
	Coefficient de correction pour d33			1.000	

Les paramètres qui commencent par « D » représentent les rigidités de plaque. Les paramètres qui commencent par « D » représentent les rigidités de membrane.

La direction est dérivée de la direction du système de coordonnées locales.

- D11 : rigidité de flexion dans la direction « x » (flexion)
- D22 : rigidité de flexion dans la direction « y »
- D12 : rigidité mixte de D11 et de D22 (contraction transversale)
- D33 : rigidité de torsion
- D44 : rigidité en cisaillement dans la direction « x »
- D55 : rigidité en cisaillement dans la direction « y »
- d11 : rigidité normale de membrane dans la direction « x » (allongement)
- d22 : rigidité normale de membrane dans la direction « y)
- d12 : rigidité mixte de d11 et de d22 (contraction transversale)
- d33 : rigidité en cisaillement de membrane

$$\begin{bmatrix} M_{x} \\ M_{y} \\ M_{xy} \\ T_{x} \\ T_{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 \\ D_{21} & D_{22} & 0 \\ 0 & 0 & D_{33} \\ 0 & 0 & D_{33} \\ 0 & 0 & D_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_{xx} \\ w_{yy} \\ 2w_{xy} \\ w_{x} + \phi_{y} \\ w_{y} - \phi \end{bmatrix}$$



Dans le cas d'une simple plaque isotrope, la rigidité peut être exprimée en utilisant les formules ci-dessous :

Direction de plaque	Rigidité de membrane
$D_{11} = D_{22} = \frac{E.h^3}{12.(1-v^2)}$	
$D_{12} = v. \sqrt{D_{11}. D_{22}}$	$d_{11} = d_{22} = \frac{E.h}{1 - \nu^2}$
$D_{33} = G. \frac{h^3}{12}$	$d_{12} = \nu. \sqrt{d_{11}. d_{22}}$
$G = \frac{E}{2.(1+\nu)}$	$d_{33} = \frac{1}{2}.(1 - \nu).\sqrt{d_{11}.d_{22}}$
$D_{44} = D_{55} = G.h$	

4 Comment modéliser une dalle portant dans une seule direction dans SCIA Engineer

Une dalle unidirectionnelle est une dalle qui porte les charges dont une seule direction principalement. Ce peut être une dalle sur deux appuis, ou bien une dalle sur 4 appuis mais pour laquelle la plus grande portée L_y est au moins deux fois plus grande que la plus petite portée L_x . Le calcul d'une dalle unidirectionnelle entrainera un ferraillage principalement dans la direction porteuse.

Dans un logiciel EF comme SCIA Engineer, lorsque la dalle est sur 4 appuis, alors le logiciel la considérera par défaut comme une dalle bidirectionnelle. Comme aucune direction principale n'est prédéfinie pour la portance de la charge, la rigidité en flexion de la dalle participera dans les deux directions x et y. Dans SCIA Engineer, l'utilisateur peut facilement définir une dalle unidirectionnelle.



Moments de flexion d'une dalle bidirectionnelle (à gauche) et d'une dalle unidirectionnelle (à droite)

Dans SCIA Engineer, la saisie d'une dalle unidirectionnelle peut se faire avec les propriétés orthotropiques. Deux types peuvent être utilisés et sont explicités ci-après.

✤ Dalle unidirectionnelle en utilisant le type d'orthotropie « Deux épaisseurs »

L'exemple est une dalle portée par des poutres et poteaux. Dans les propriétés de la dalle, modifier la propriété « Modèle éléments finis » sur « Orthotrope », éditer les propriétés orthotropiques et sélectionner le type « Deux épaisseurs ». Les données à saisir sont l'épaisseur de la dalle pour le calcul de la rigidité en flexion dans la direction x, h₁, et dans la direction y, h₂. Pour une dalle portant principalement dans la direction x (plus petite portée dans l'exemple), h₁ doit être égale à l'épaisseur réelle de la dalle (180mm) et h₂ (épaisseur dans la direction y) doit être réduit.



Paramètres pour une dalle unidirectionnelle en utilisant le type d'orthotropie « Deux épaisseurs ».

Il n'y a pas de règle particulière pour la valeur de h₂. Avec des valeurs plus petites pour h₂, les résultats seront proches de la répartition de la charge suivante :



Moments de flexion d'une dalle bidirectionnelle (à gauche) et d'un panneau unidirectionnel (à droite)

Le moment résultant mx dans la dalle est proche d'une simple poutre de 1m de large :

$$m_x = \frac{q * L_x^2}{8} = \frac{3 * 5^2}{8} = 9,4$$
kN. m/ml



Moments de flexion m_x d'une dalle uni-directionnelle

Dalle unidirectionnelle en utilisant le type d'orthotropie « Dalle unidirectionnelle »

Ce type d'orthotropie nécessite de définir trois paramètres, et peut également être utilisée pour modéliser des dalles alvéolaires : la section de la poutre équivalente, l'espacement utilisé pour le calcul de la rigidité en flexion dans la direction 1 (ou x), et la hauteur de la chape de béton (« h ») utilisée pour le calcul de la rigidité en flexion dans la direction 2 (ou y). Pour modéliser une dalle unidirectionnelle, une petite valeur de « h » peut être utilisée. Toutefois, ayez bien conscience que « h » est aussi utilisé pour le calcul du poids propre de la dalle.

Pour la section équivalente, une forme de dalle équivalente est utilisée : « épaisseur de la dalle » * « largeur de la poutre », c'est-à-dire 180*1000mm. Pour le paramètre d'espacement, comme la dalle est pleine, la même valeur que pour la largeur de la poutre est utilisée, c'est-à-dire 1000mm.



Paramètres pour une dalle unidirectionnelle en utilisant le type d'orthotropie « Dalle unidirectionnelle ».



Moments de flexion dans les poutres porteuses et dans la dalle unidirectionnelle en utilisant le type d'orthotropie « Dalle unidirectionnelle ».

Pour de petites valeurs de h_2 ou de h, les deux types donnent des résultats similaires pour le moment de flexion dans la direction porteuse et pour les charges transférées aux poutres porteuses.

Cela dit, il reste quelques différences entre les deux types d'orthotropie. Tout d'abord, l'utilisation du type « Dalle unidirectionnelle » peut conduire à des valeurs plus grandes du moment de flexion dans les poutres secondaires (parallèles à la direction porteuse). Cela est dû au moment de torsion de la plaque (D33) qui est différent entre les deux types. Ensuite, toujours avec le type « Dalle unidirectionnelle », le poids propre de la dalle est calculé uniquement à partir de l'épaisseur de la chape de béton « h ». Le poids total de la dalle n'est alors pas comptabilisé et l'utilisateur doit ajouter manuellement la partie manquante du poids propre dans un cas de charges permanent.