



TRAINING
IDEA STATICA ACIER

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.

© Droits d'auteur 2022 SCIA nv. Tous les droits sont réservés.

Sommaire

Sommaire	3
Introduction	4
I. Modélisation d'un assemblage	5
A. Description de l'assemblage	5
B. Création d'un nouveau projet	10
C. Interface graphique	11
D. Conception	12
1. Éléments	12
2. Chargements	17
3. Operations	19
II. Vérifications	23
A. Platines	24
B. Boulons	25
C. Soudures	26
D. Voilement	27
III. Note de calcul	31
A. Type de Rapport	31
B. Arborescence du Rapport	31
C. Éléments du projet	32
D. Sélection des projets	33
E. Export	33
IV. Matériaux	34
V. Exemple de modélisation avec les opérations utilisateurs	35
A. Copie de la première attache	35
B. Modélisation avec les opérations manuelles	36
C. Ajout des raidisseurs et vérification au voilement	45
VI. Calcul de rigidité	47
A. Pourquoi une analyse de rigidité	47
B. Application à l'exemple	47
VII. Export SCIA Engineer - IDEA	53
C. Pourquoi une analyse de rigidité	Error! Bookmark not defined.

Introduction

IDEA STATICA est un logiciel de calcul entièrement dédié au calcul des assemblages. C'est un logiciel qui vient en complément de SCIA Engineer, pour l'étude d'assemblages complexes et/ou d'assemblages 3D.

Le tutoriel vous expliquera:

- L'interface graphique et les fonctionnalités du logiciel ;
- Comment modéliser un assemblage dans IDEA Statica Steel;
- Utiliser les différents contrôles dans IDEA Statica Steel;
- Comment créer une note de calcul.
- Comment réaliser une analyse de rigidité

Version de IDEA Statica Steel utilisée :
IDEA Statica 20.1

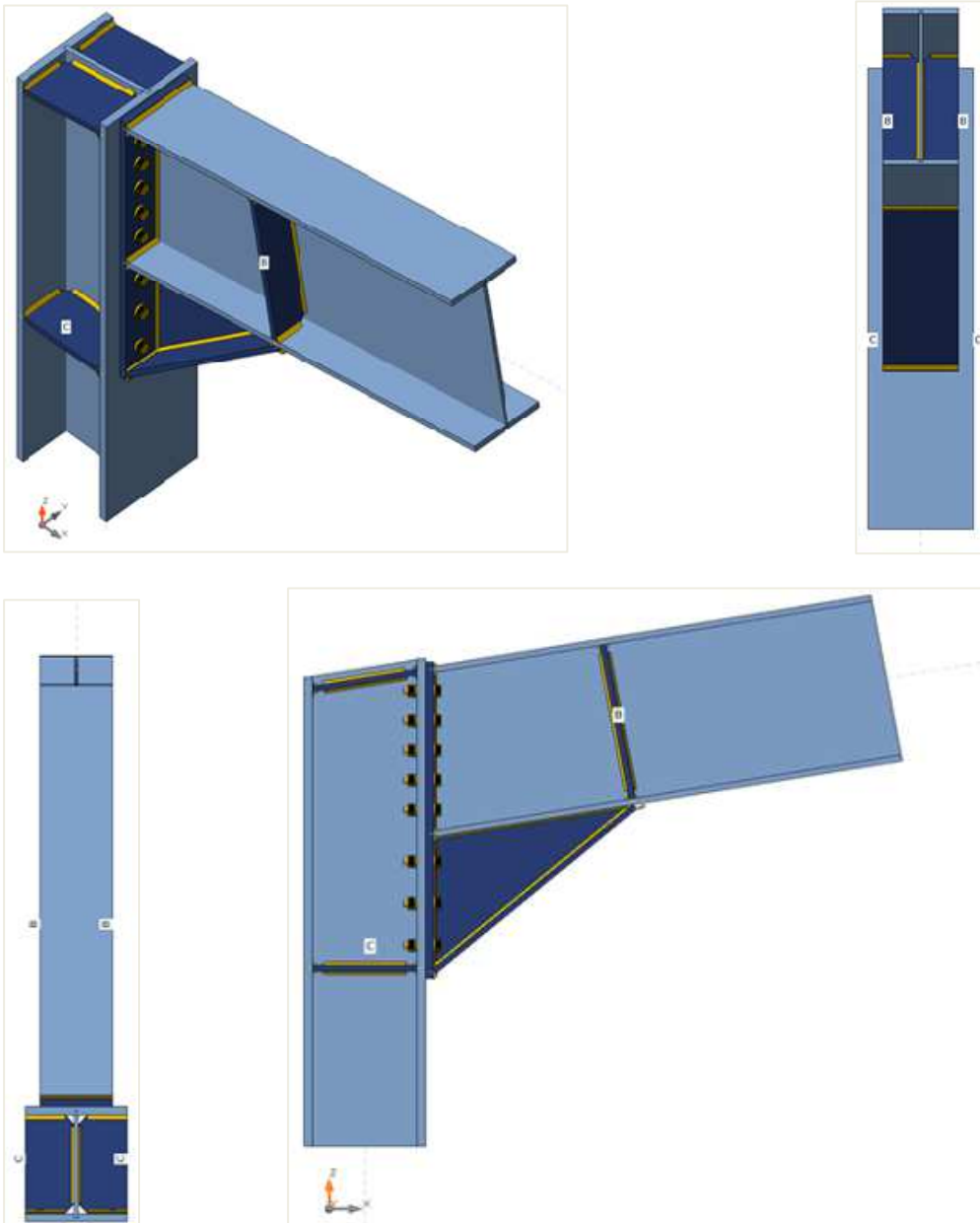
I. Modélisation d'un assemblage

A. Description de l'assemblage

Nous allons créer un assemblage poutre-poteau avec jarret qui a les caractéristiques indiquées ci-dessous :

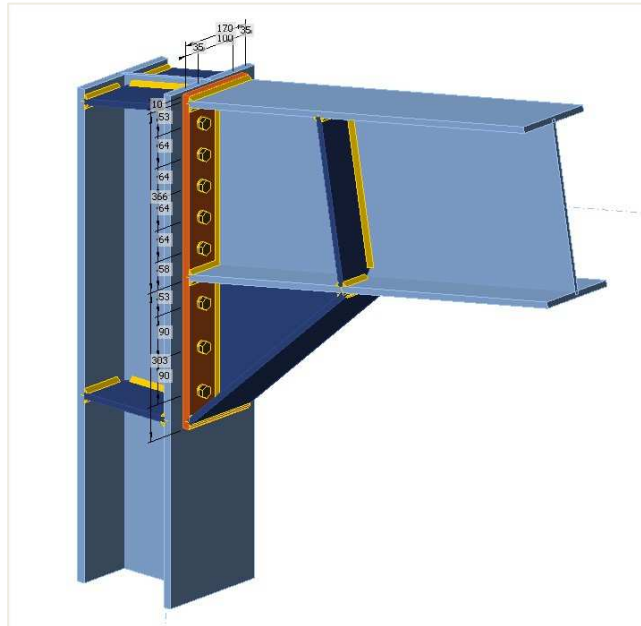
- Norme = EN (Eurocode);
- Matériau = S 355;
- Section du poteau = HEB240;
- Section de la poutre = IPE360;
- Groupe de boulons = M16 8.8
- Dimension des soudures = 0 (valeurs prises par défaut par IDEA).

Voici différentes vues de l'assemblage :

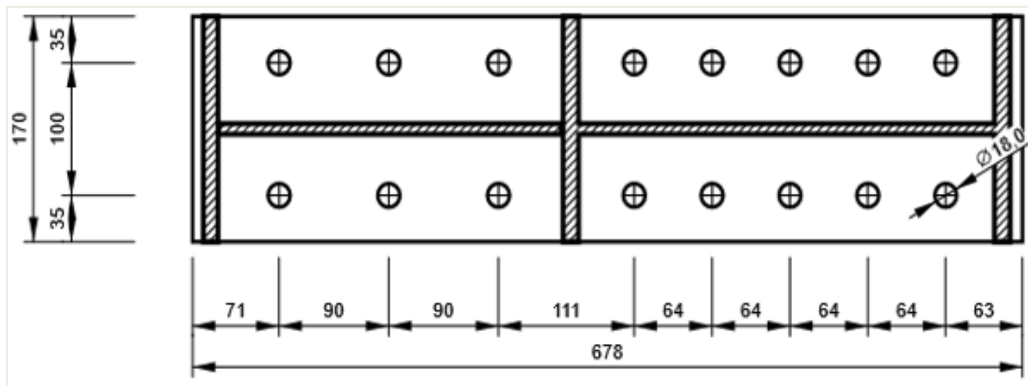


Voici ci-après les dimensions des platines et positions des boulons.

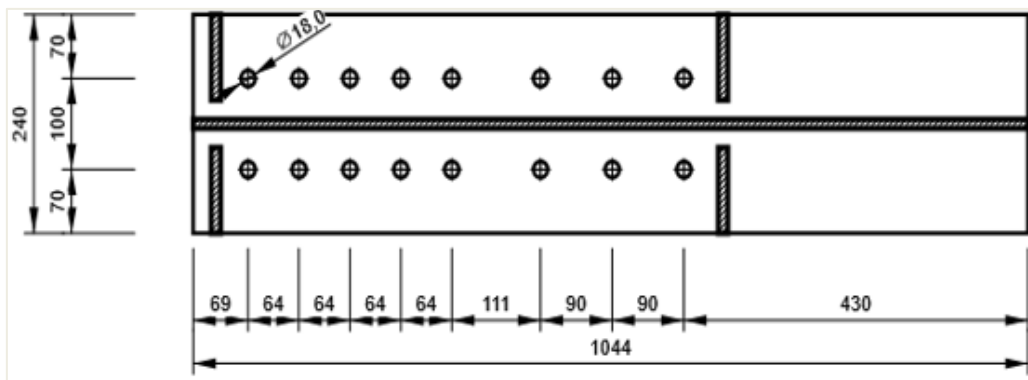
Opération : Platine d'about



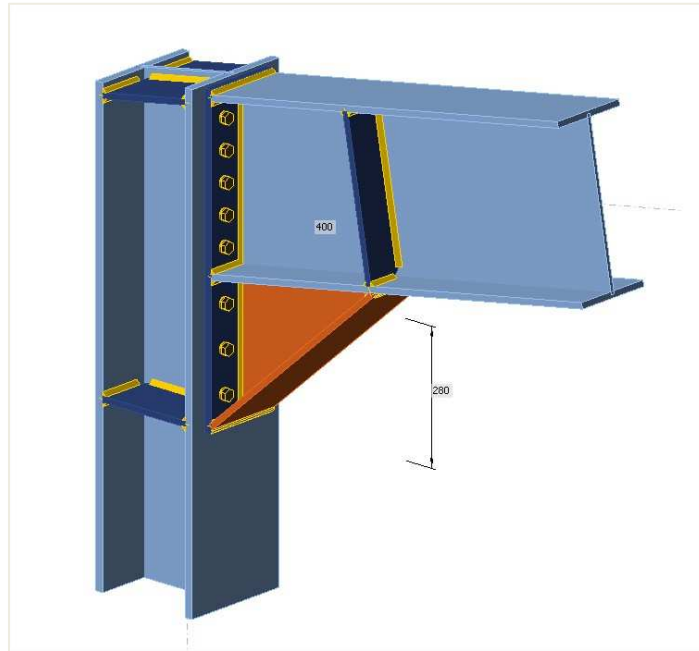
EP1
P16,0x678-170 (S 355)



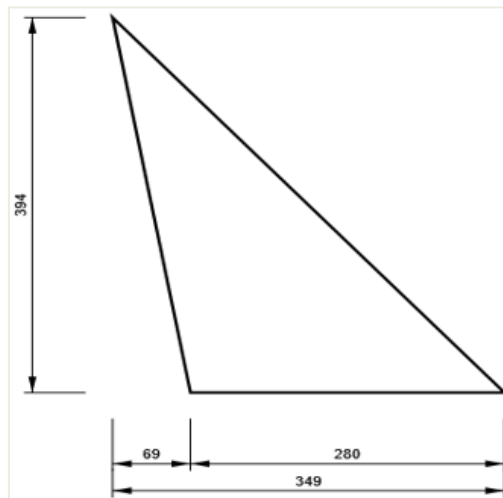
C, HEB240 - Semelle supérieure 1:



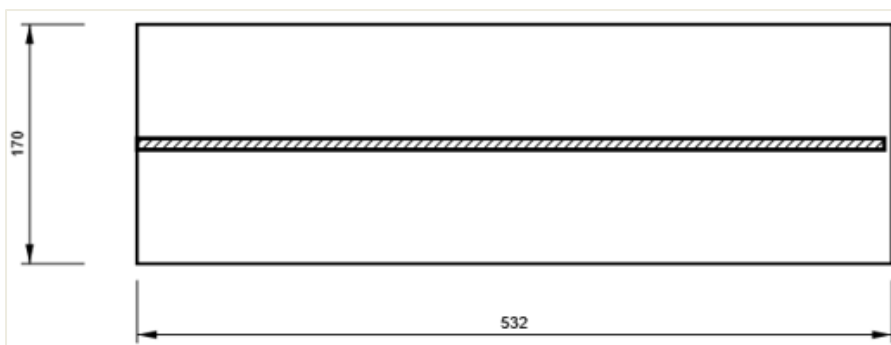
Opération : Elargisseur



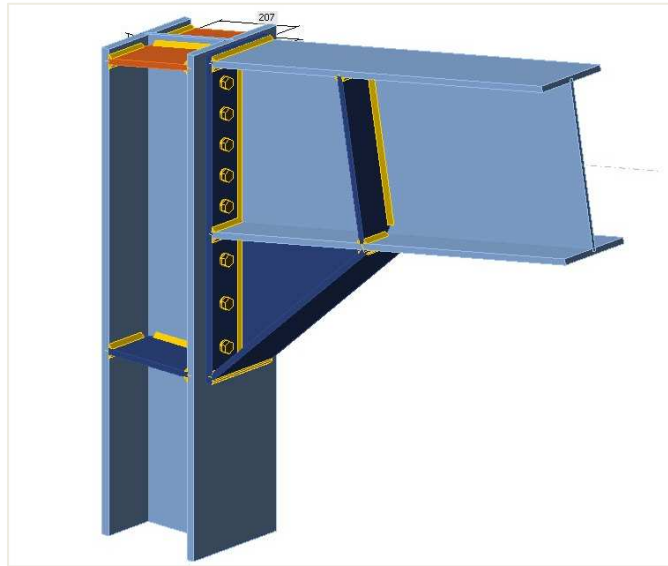
WID1 - WID1a
P8,0x394-349 (S 355)



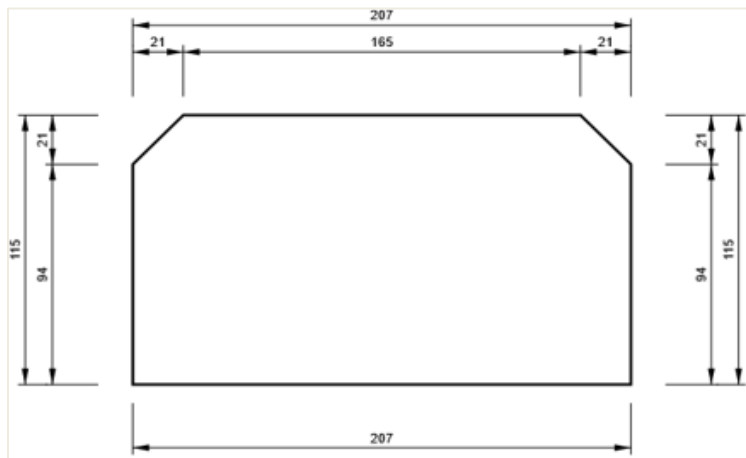
WID1 - WID1b
P12,0x532-170 (S 355)



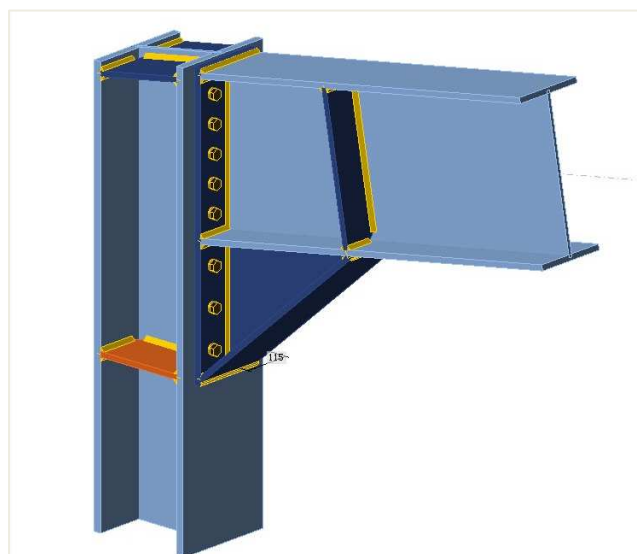
Opération : Raidisseur

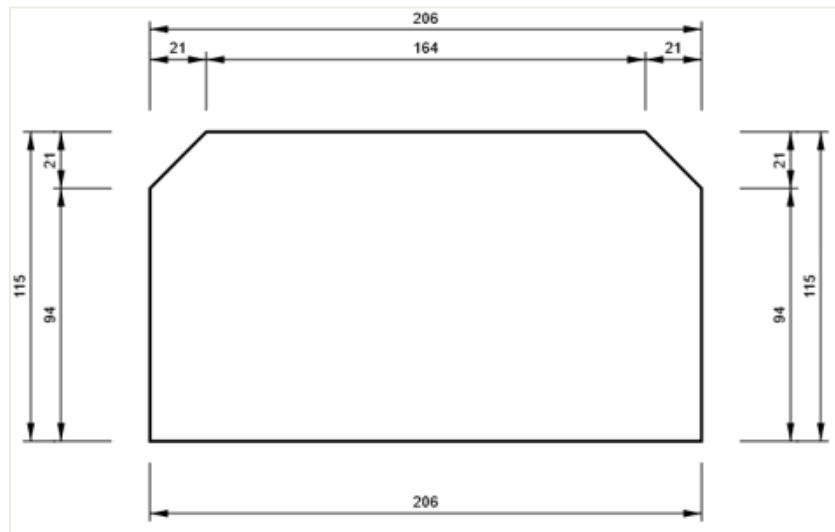
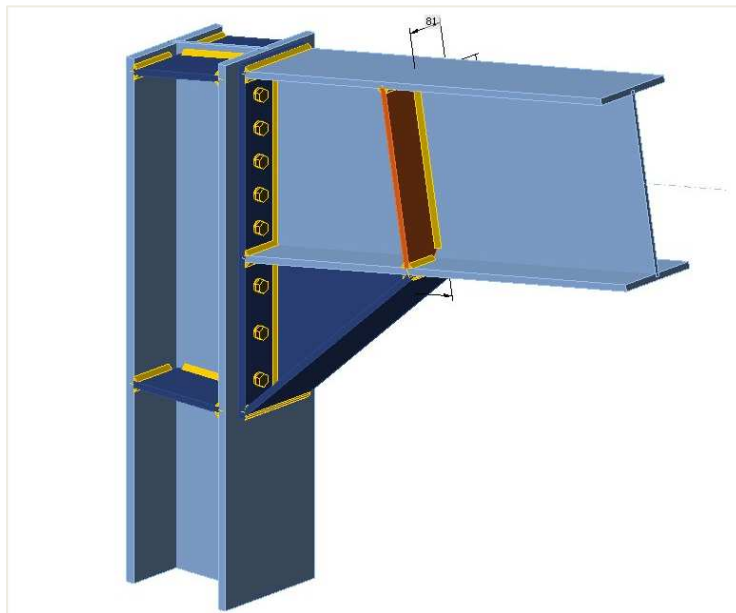
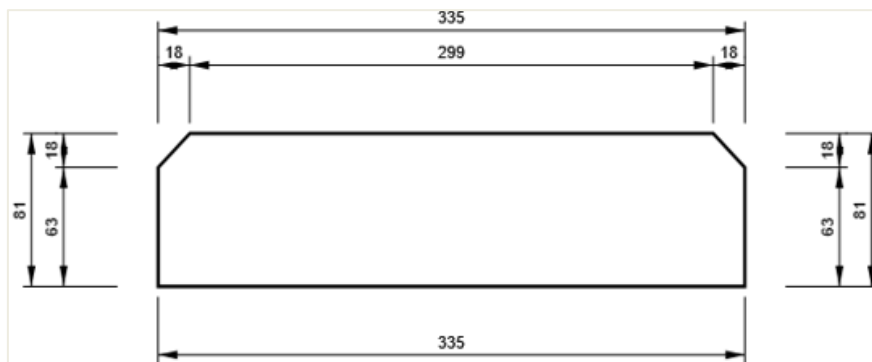


STIFF1
P12,0x207-115 (S 355)



Opération : Raidisseur



STIFF2
P12,0x206-115 (S 355)Opération : Raidisseur**STIFF3**
P12,0x335-81 (S 355)

B. Création d'un nouveau projet

Lors du démarrage de IDEA Statica Steel, s'ouvrira un premier onglet, qui donne la possibilité de créer un nouveau projet.

A travers les filtres « Classe », « Topologie » et « Conception », l'utilisateur a l'opportunité de démarrer avec la définition d'un assemblage déjà paramétré.

Cet onglet peut également être utilisé par les nouveaux utilisateurs pour visualiser des opérations d'assemblage pré-modélisées par le développement, pour une définition plus correcte de ce type d'opérations. De plus, dans les projets déjà définis par le développement, il y a aussi la définition des charges dans les éléments, et le calcul peut être lancé directement sans avoir besoin d'aucun paramétrage.

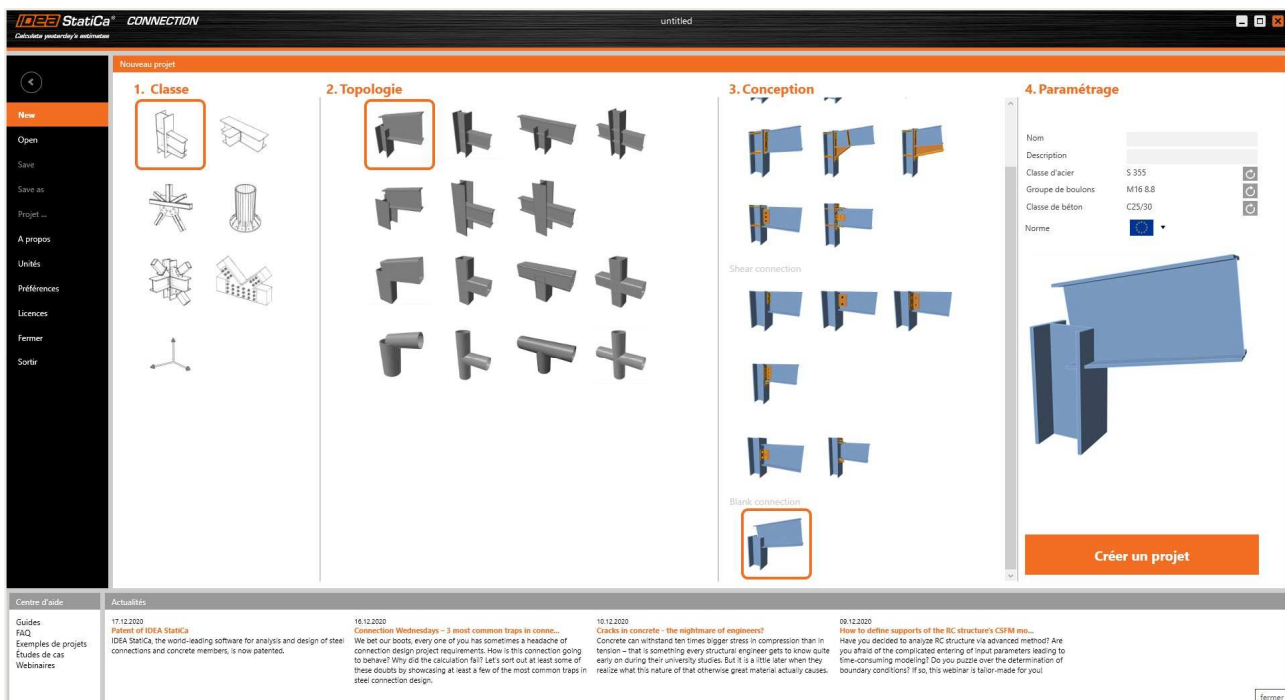
Le point n°4, « Paramétrage », est utilisé pour définir le nom et la description du projet, qui seront reportés dans la note de calcul. Enfin on y trouve également les paramètres utilisés par défaut dans le projet, y compris la norme.

Note : la norme ne pourra pas être modifiée un fois le projet créé.

Pour construire le projet d'exemple, nous allons démarrer avec la première classe, première typologie, et un assemblage sans la définition d'aucune opération, comme montré dans la figure ci-dessous.

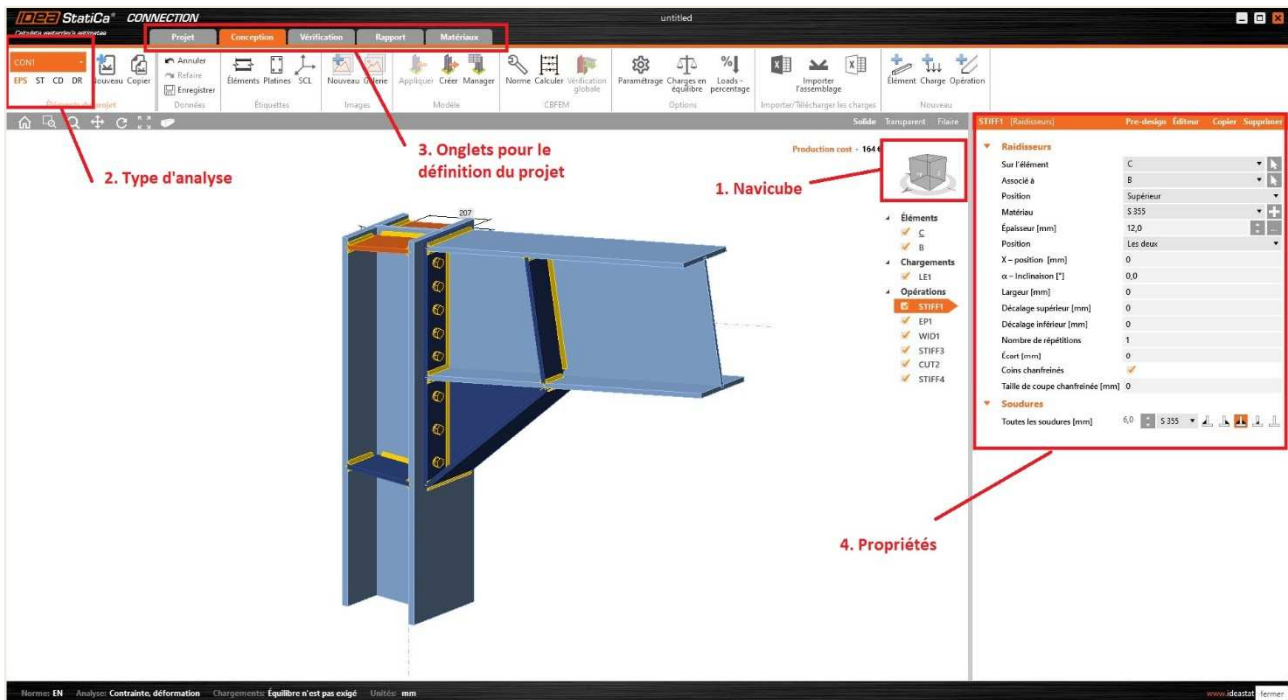
Nous allons créer un assemblage qui a les caractéristiques indiquées ci-après :

- Norme = EN (Eurocode);
- Matériau = S 355;
- Groupe de boulons = M16 8.8
- Classe de béton = par défaut



C. Interface graphique

Après avoir cliqué sur « Créer un projet », la fenêtre pour la conception de l'assemblage va apparaître.



- Dans la fenêtre principal du logiciel, l'utilisateur a les possibilités suivantes :
 - Zoom = Molette
 - Rotation = Navicube – Ctrl+Molette
 - Vue selon un plan : clic sur la face du Navicube correspondant (ex. X = plan YZ)
 - Vue en axonométrie : clic sur un des coins du Navicube
- Dans IDEA Statica, il y a différents types d'analyse possible :
 - EPS = Vérification Contraintes/Déformations
 - ST = Vérification de la rigidité
 - CD = Vérification de l'assemblage avec le moment plastique de l'élément sélectionné
 - DR = Vérification de la capacité de l'assemblage
 - FAT = Vérification à la fatigue
- Le projet de IDEA Statica est divisé en 5 onglets :
 - Projet = Définition des paramètres du projet
 - Conception = Modélisation de l'assemblage
 - Vérification = Contrôle de l'assemblage
 - Rapport = Note de calcul
 - Matériaux = Définition des sections et boulons
- Menus qui donnent la possibilité de paramétrer la conception, vérification, rapport et matériaux.

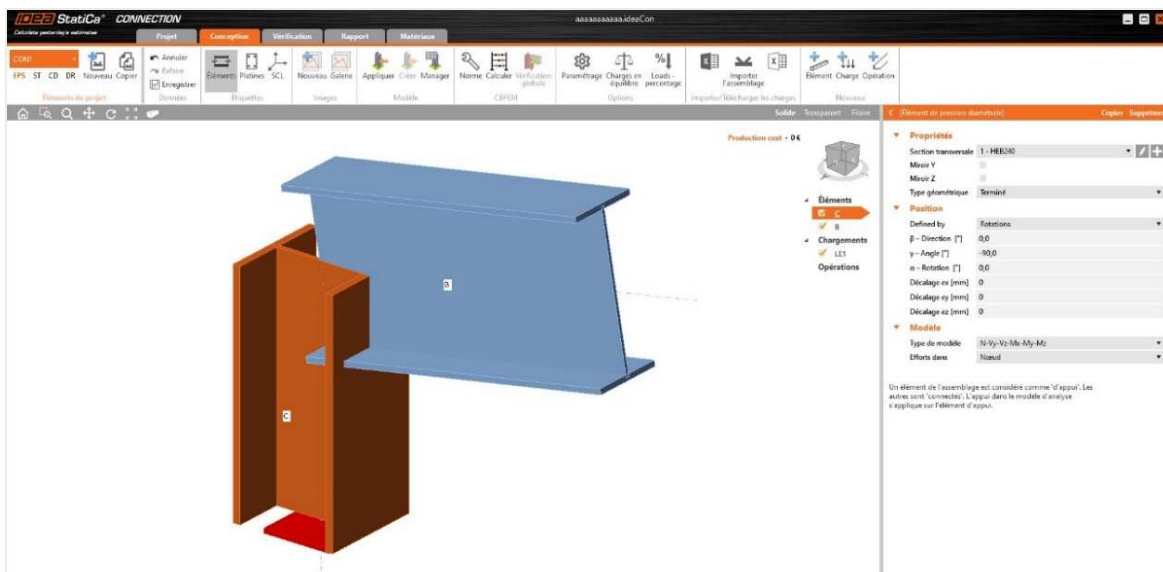
D. Conception

Pour calculer un projet dans IDEA Statica, il faut modéliser l'assemblage. Il y a la possibilité de vérifier un assemblage une fois défini :

- Éléments (éléments analytiques)
- Chargements (combinaisons de charges)
- Opérations (conception de l'assemblage)

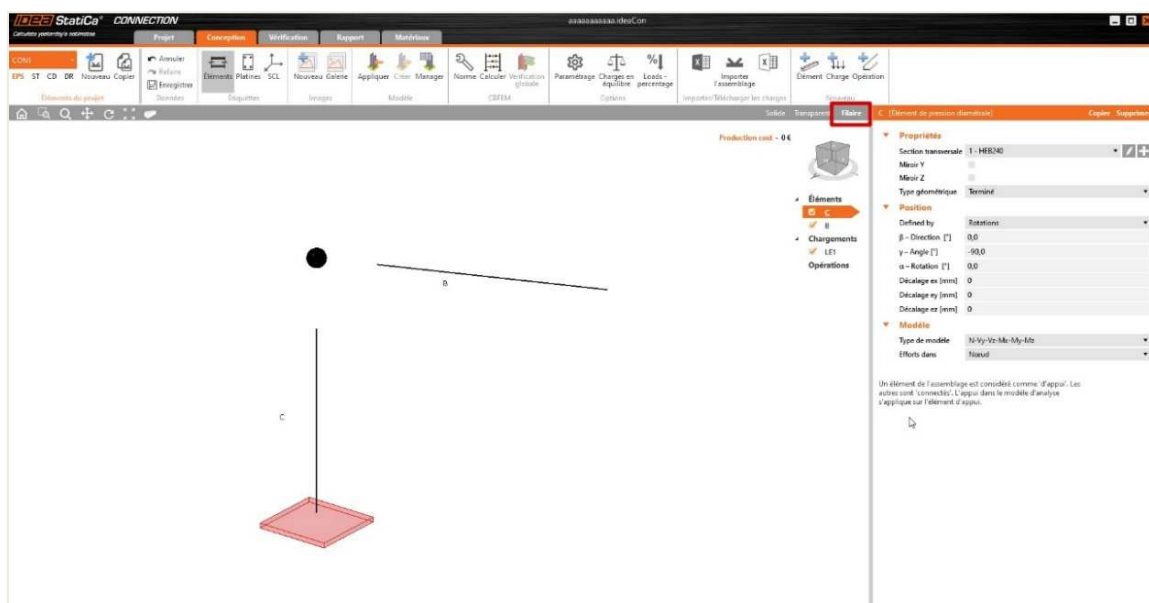
Ces données sont déjà complétées pour tous les assemblages sélectionnables dans l'onglet de définition du projet, à part pour les attaches vides.

Pour l'attache vide que nous avons sélectionnée, seuls les éléments sont définis.



1. Éléments

Les éléments du projet sont les éléments qui possèdent un modèle analytique, dont la transmission des efforts internes. Dans la vue « Filaire », nous pouvons visualiser la vue analytique et le nœud de l'assemblage :



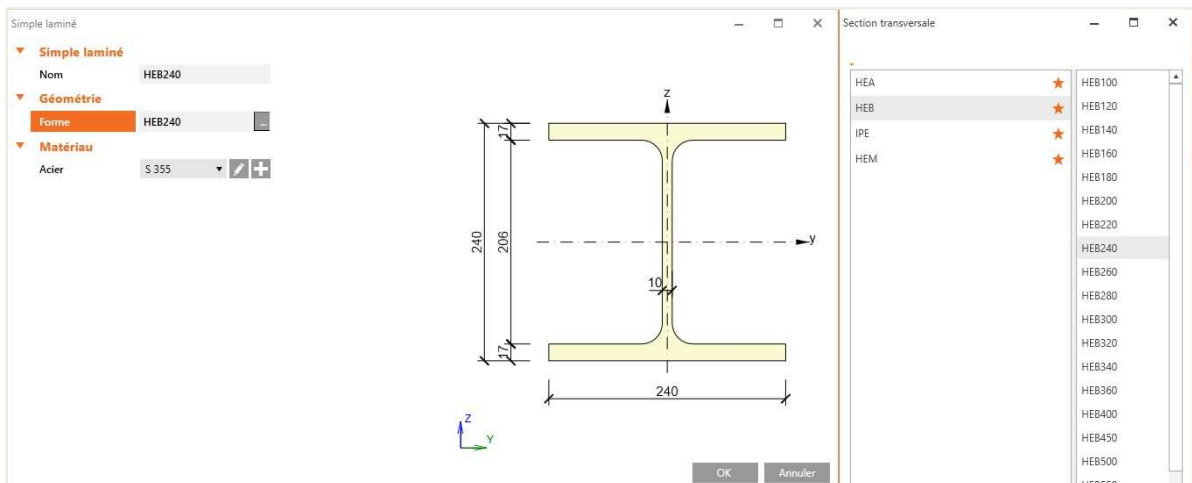
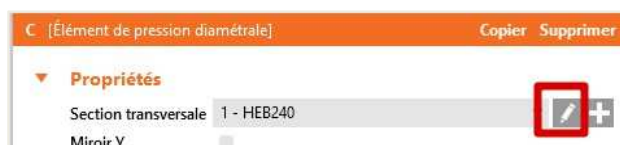
Les éléments du modèle ont les propriétés suivantes :

- Section
- Type Géométrique (non présenté dans ce tutoriel)
- Position
- Modèle (non présenté dans ce tutoriel)

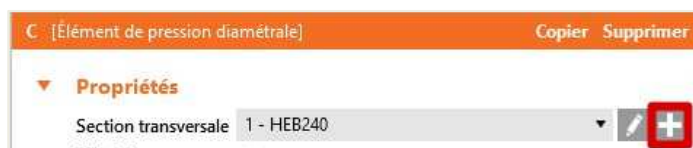
Section

Dans la définition de la section, il y a deux possibilités :

- « Modifier paramètres » :
Possibilité de sélectionner une autre section de la même catégorie (ex. sections en I laminées).
Possibilité de contrôler les dimensions de la section et de changer le matériau

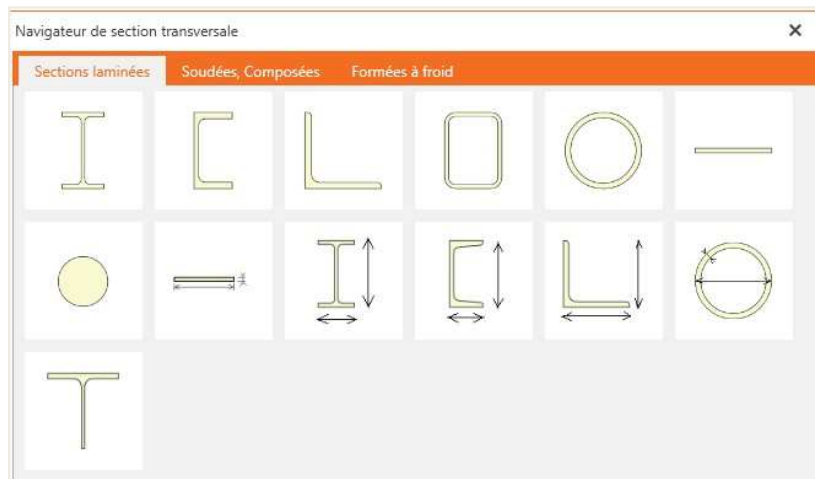


- « Ajouter une nouvelle section »
Possibilité d'entrer dans la base de données des sections pour en ajouter une nouvelle dans le projet.

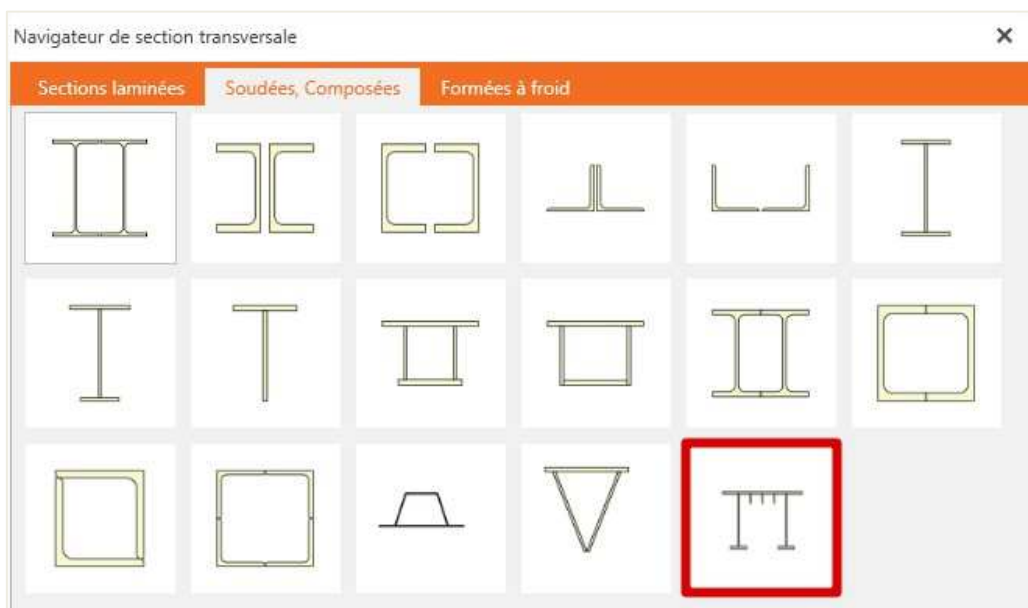


Base des données des sections :

- « Sections laminées » : base de données des sections laminées avec le choix de section du catalogue (premières 6), ou paramétrables (dernières 7)



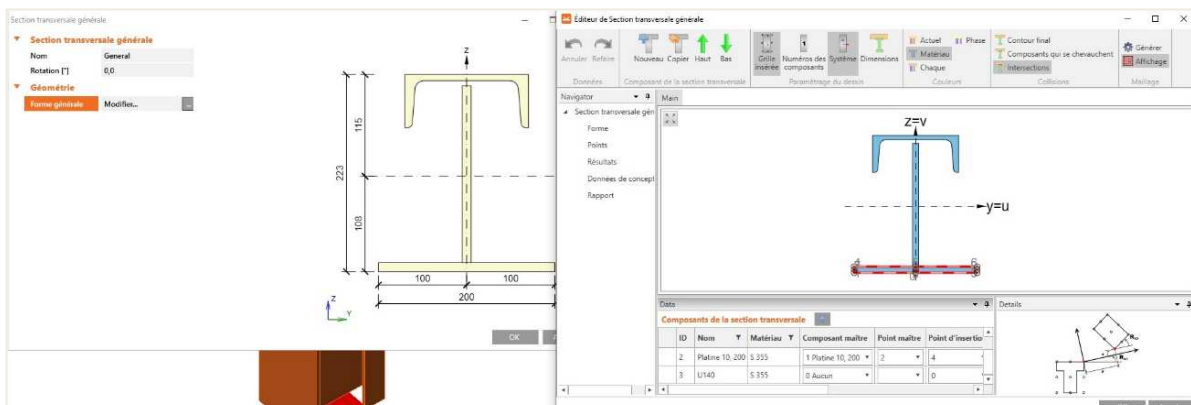
- « Sections soudées, composées » : base de données pour sections composées



Note : les éléments des sections composées travaillent avec un modèle analytique unique, donc comme s'ils étaient une section seule, en gardant la continuité du déplacement.

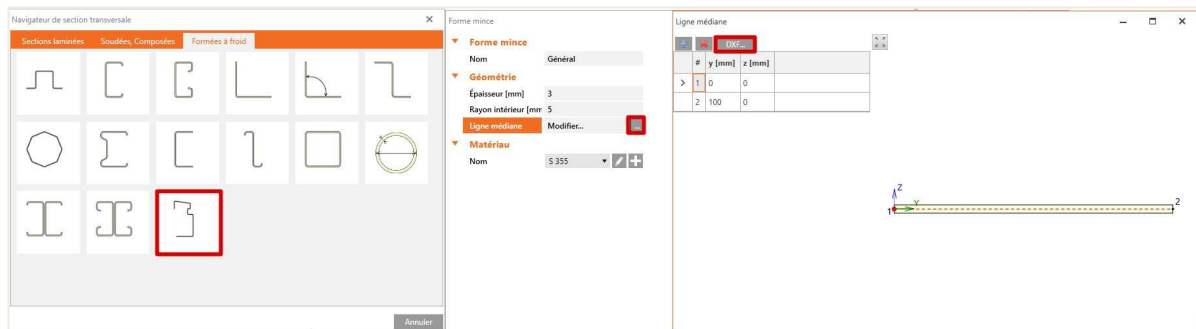
Note : dans cet onglet, il y a la possibilité de créer une section utilisateur, composée de plusieurs platines, dans l'option entourée en rouge.

Une section composée peut être générée soit en utilisant des platines ou des sections, soit intégrale, soit discontinue.



- « Sections formées à froid » : possibilité de définir une section avec une seule valeur d'épaisseur.

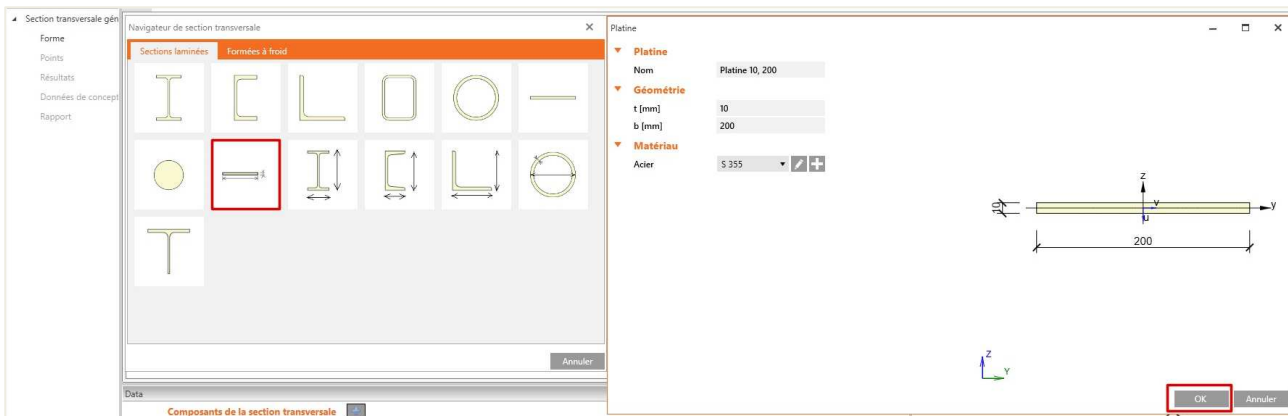
Note : possibilité d'utiliser la forme générale et importer un fichier DXF avec la ligne moyenne de la section formée à froid, comme montré dans l'image suivante :



Important : La définition des sections est purement géométrique. Il n'y a pas de prise en compte d'une section efficace ou le contrôle des soudures pour les sections soudées.

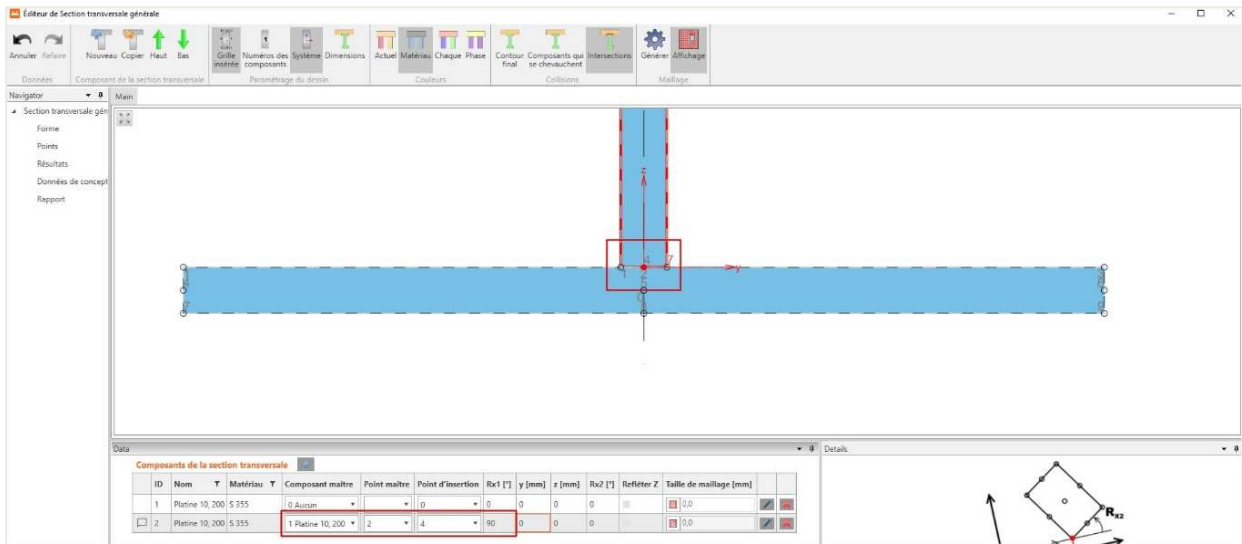
Nous allons créer une section composée à titre d'exemple.

Nous allons choisir une section platine utilisateur comme première pièce, avec les caractéristiques reportées dans la figure ci-dessous :



La position de la première section est bien la position par défaut.

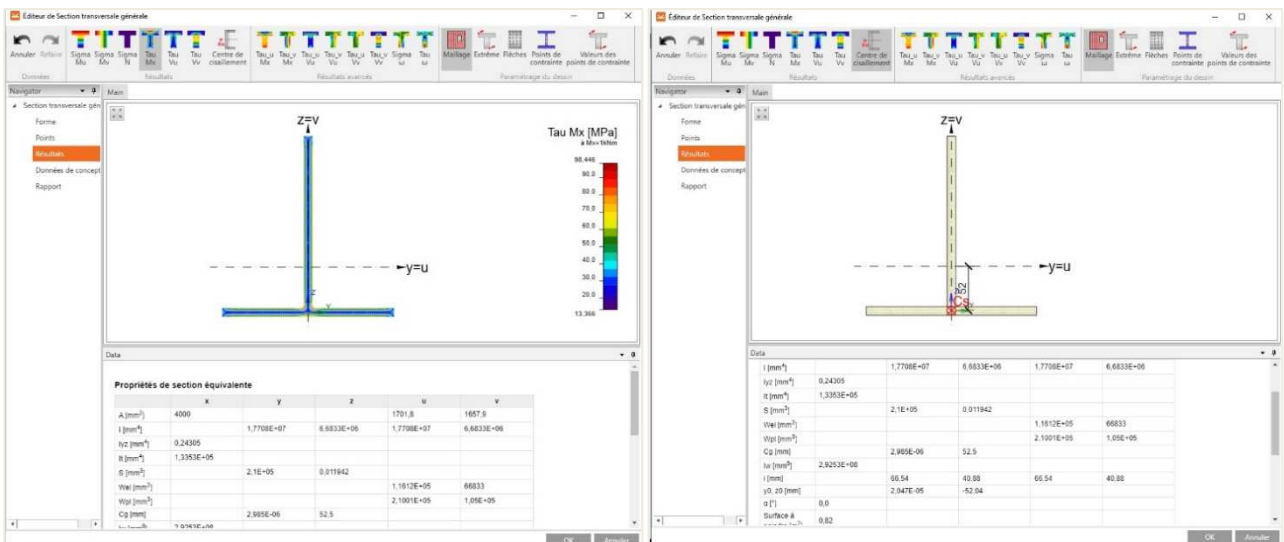
Nous allons ajouter une section avec les mêmes dimensions, et nous allons la positionner comme dans l'image ci-dessous :



A noter que vous pouvez la positionner en utilisant les directions y et z, ou les rotations Rx1 et Rx2 ; sinon, vous pouvez positionner un élément avec une référence à un point d'une autre section, comme dans l'exemple que nous avons modélisé.

ID	Nom	Matériau	Composant maître	Point maître	Point d'insertion	Rx1 [°]	y [mm]	z [mm]	Rx2 [°]	Refléter Z	Taille de maillage [mm]
1	Platine 10, 200	S 355	0 Aucun	0	0	0	0	0	0		0,0
2	Platine 10, 200	S 355	1 Platine 10, 200	2	4	90	0	0	0		0,0

Dans ce cas, une fois la rotation de 90° de Rx1 appliquée, nous allons connecter le point 4 de la deuxième platine avec le point 2 de la première.

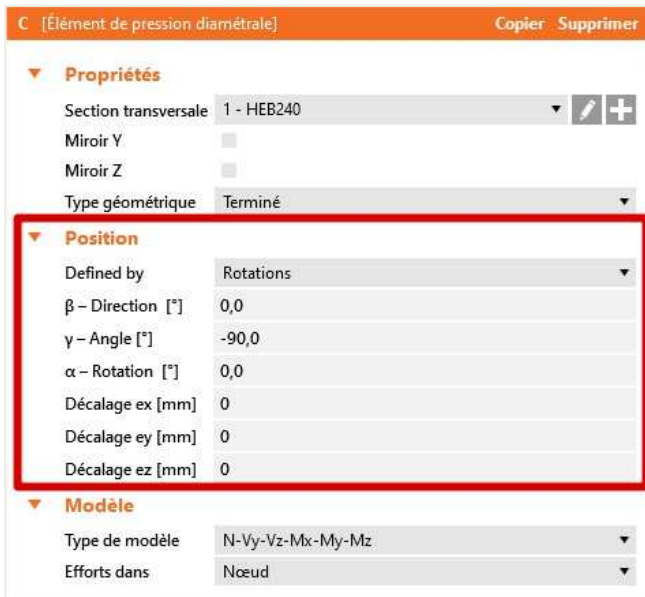


Dans cette interface, nous pouvons contrôler aussi les caractéristiques de la section générée, dans l'onglet « Résultats », par exemple, la disposition des contraintes du à la torsion, ou le centre de cisaillement.

En bas, il y a les tableaux avec tous les valeurs calculées pour la section composée.

Nous pouvons cliquer sur OK, pour terminer la commande et sortir de l'Editeur des sections.

Position



La partie « Position » du menu des propriétés :

- « Définition par rotation » : β , γ , α , sont les rotations autour des axes x, y et z locaux de l'élément.
« Définition par vecteur 3D » : α est la rotation autour de l'axe de l'élément.
- « Décalage ex, ey, ez » : Excentricité du modèle analytique, comme défini dans les logiciels de calcul classiques. Si un effort axial est appliqué, un moment additionnel est considéré dans le nœud de l'assemblage.

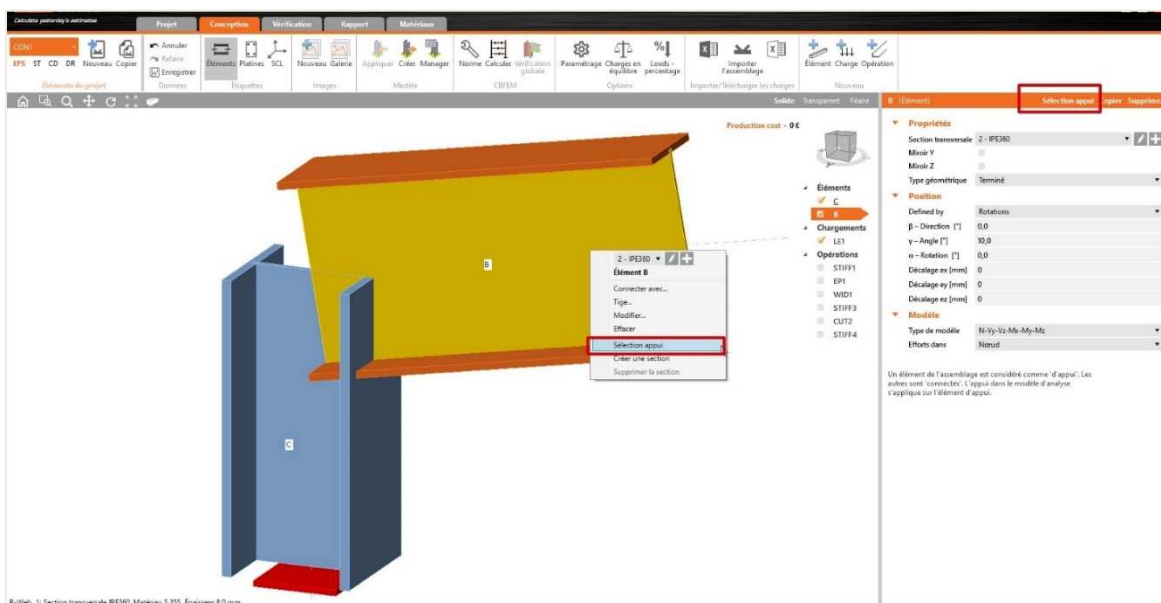
2. Chargements

Si nous sélectionnons le chargement, nous allons visualiser par défaut la possibilité d'assigner des chargements qu'à un seul élément.

Cela dépend de l'élément « appui » sélectionné. L'appui n'est pas à considérer comme un support, mais plutôt comme une référence. L'appui a deux caractéristiques :

- Les efforts qui ne sont pas équilibrés au niveau du nœud vont aller vers l'élément de référence ;
- Les déformations de la structure sont montrées par rapport à l'appui de l'assemblage.

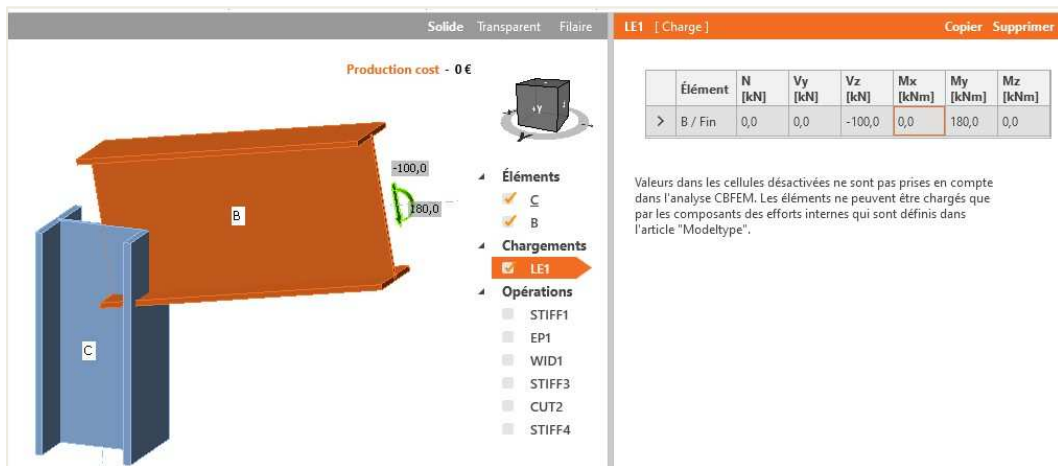
Vous avez deux possibilités pour modifier l'appui, comme présenté dans l'image ci-dessous :



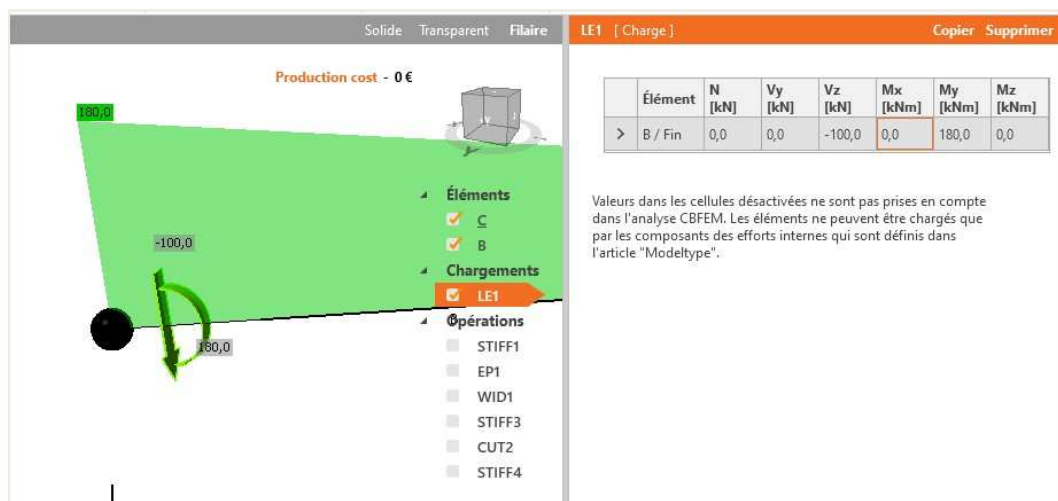
Nous allons appliquer un chargement sur l'élément B :

$$M_y = 180 \text{ kN.m}$$

$$V_z = -100 \text{ kN}$$



Note : dans la vue « Filaire », nous pouvons remarquer que les efforts sont appliqués au nœud de la structure :



Lorsque vous sélectionnez l'option « Charges en équilibre », vous pouvez regarder les efforts qui ne sont pas en équilibre.



Efforts non-équilibrés

X [kN]	Y [kN]	Z [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
17,4	0,0	-98,5	0,0	180,0	0,0

Tous les efforts qui ne sont pas en équilibre, vont vers l'élément de référence (élément C dans notre modèle).

Note : Nous pouvons aussi équilibrer les efforts, dans ce cas n'importe quel élément est assigné comme appui, aucun effort additionnel ne lui sera assigné.

LE1 [Charge] Copier Supprimer

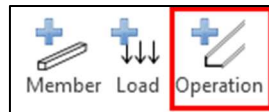
Élément	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
> C / Fin	-98,5	0,0	-17,4	0,0	-180,0	0,0
B / Fin	0,0	0,0	-100,0	0,0	180,0	0,0

Efforts non-équilibrés

X [kN]	Y [kN]	Z [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

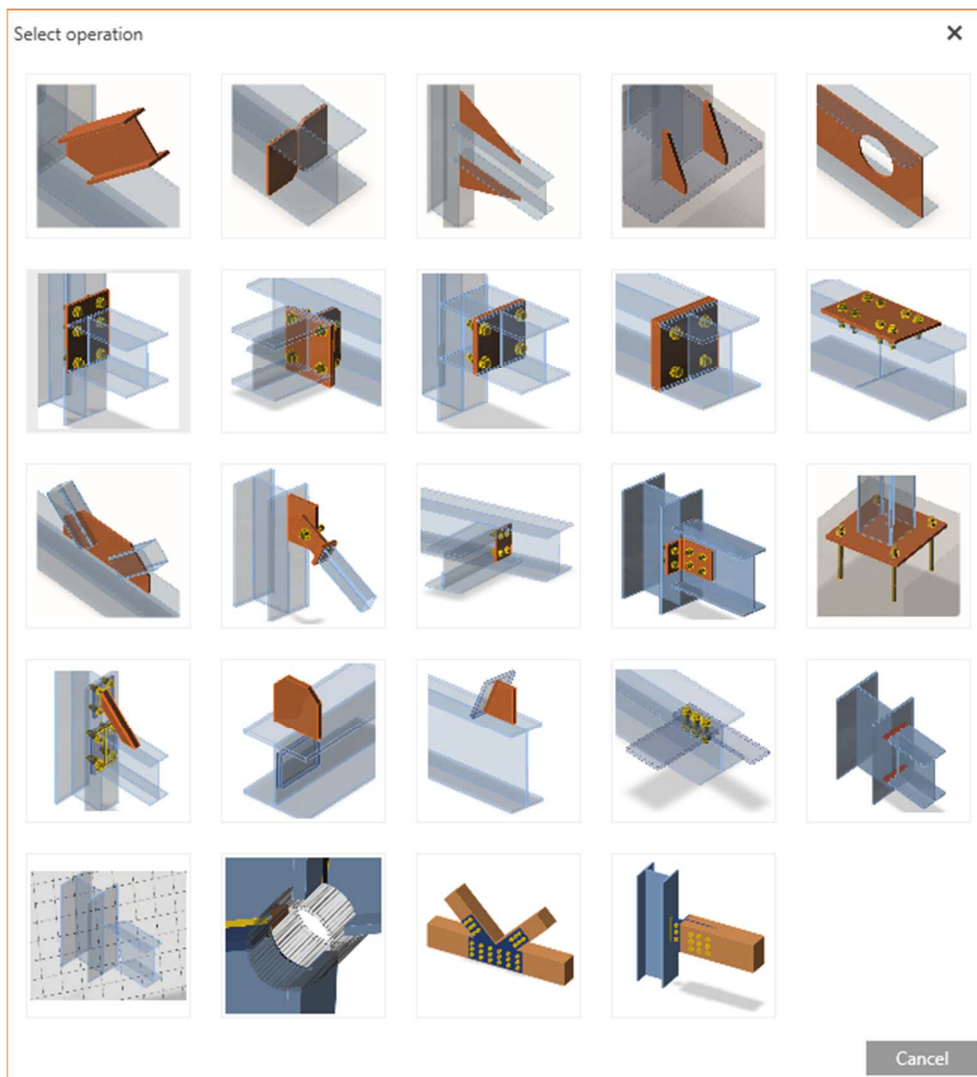
3. Operations

Il reste à définir les opérations pour créer l'assemblage. Pour ajouter une nouvelle opération, nous pouvons utiliser la commande dans la barre de menu :



L'onglet suivant va s'ouvrir ; les opérations peuvent être divisées en 2 catégories :

- Opérations paramétrées par le développement (opération 2 à 15) : nous avons la possibilité de créer une attache avec des paramètres déjà définis. C'est une aide pour la modélisation mais il y a plus de limites.
- Opérations utilisateurs (opérations 1-16-17-18-19-20) : ces fonctions donnent la possibilité de créer des coupe, platines, boulons, soudures et autres pièces qui vont nous permettre de créer des assemblages plus compliqués.
- Les options restantes sont « Plan de travail », « Volume négatif » pour la coupe des éléments ou platines, et les attaches acier-bois.



Coupe

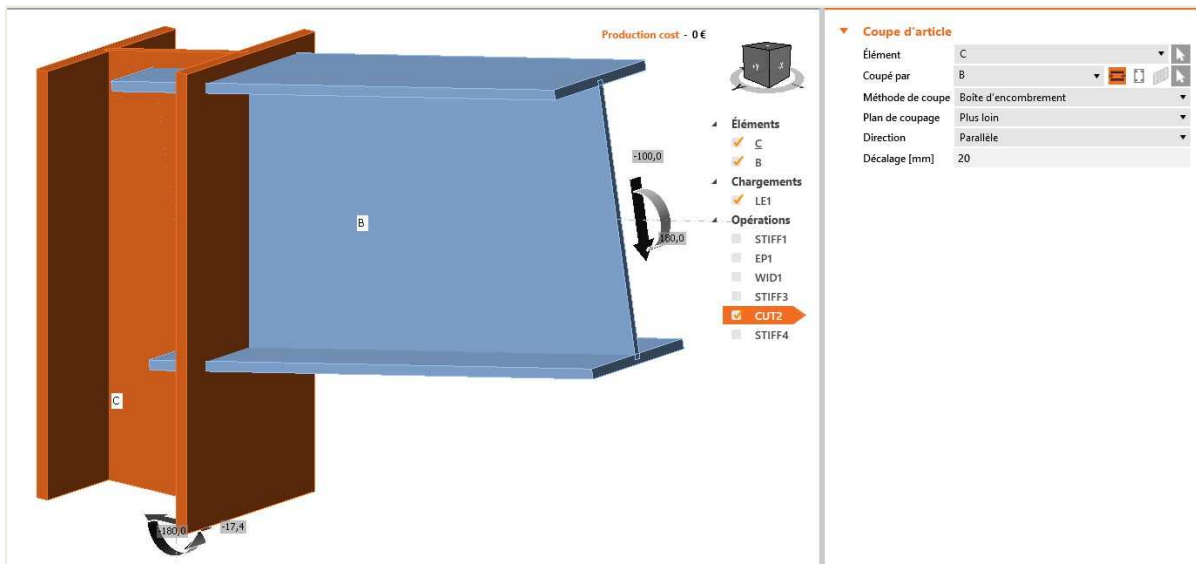
La première opération que nous allons utiliser est la n°1 : « Coupe ». Cette option nous permet de couper un élément par un plan de travail ou un plan d'un autre élément.

Nous allons l'utiliser pour « allonger » le poteau C jusqu'en haut de la poutre, ce qui va permettre la modélisation de l'attache entre les deux éléments.



Pour l'obtenir, nous allons couper l'élément C par l'élément B. Le logiciel détecte des plan de coupage selon la semelle supérieure ou inférieure de l'élément B. Nous allons choisir le plan de coupage « plus loin », pour couper le poteau par la semelle supérieure. Nous allons aussi décaler de 20 mm le plan de coupage vers le haut. Le plan de coupage peut être défini soit parallèle soit perpendiculaire, (dans ce cas la coupe sera horizontale).

Coupe d'article	
Élément	C
Coupé par	B
Méthode de coupe	Boîte d'encadrement
Plan de coupage	Plus loin
Direction	Parallèle
Décalage [mm]	20



Production cost - 0 €

Éléments

- C
- B

Chargements

- LE1

Opérations

- STIFF1
- EP1
- WID1
- STIFF3
- CUT2
- STIFF4

Coupe d'article

Élément	C
Coupé par	B
Méthode de coupe	Boîte d'encadrement
Plan de coupage	Plus loin
Direction	Parallèle
Décalage [mm]	20

Platine d'about

Le fait d'allonger l'élément C nous permet de créer la platine d'about de liaison entre l'élément B et C. Nous allons sélectionner l'option 6.

L'opération « Platine d'about » est une des opérations déjà paramétrées par le développement.

En effet, en utilisant cette option, le logiciel fait en automatique les options suivantes :

- Création d'une platine en face du poteau
- Coupe de la poutre par la platine
- Modélisation des boulons de liaison entre la platine et la semelle du poteau
- Modélisation des soudures pour la connexion entre les platines de la poutre et la platine d'about



Pour tous ces types d'opération, l'utilisateur peut suivre l'arborescence des propriétés.

Platine d'about

La platine est créée entre l'élément 1 (qui est l'élément coupé et soudé à la platine) et connectée avec l'élément indiqué dans la ligne « Connecté à » à travers soit des boulons, soit soudé, comme indiqué dans la ligne « Type d'attache ».

Dans notre cas :

Élément 1 : B

Connecté à : C

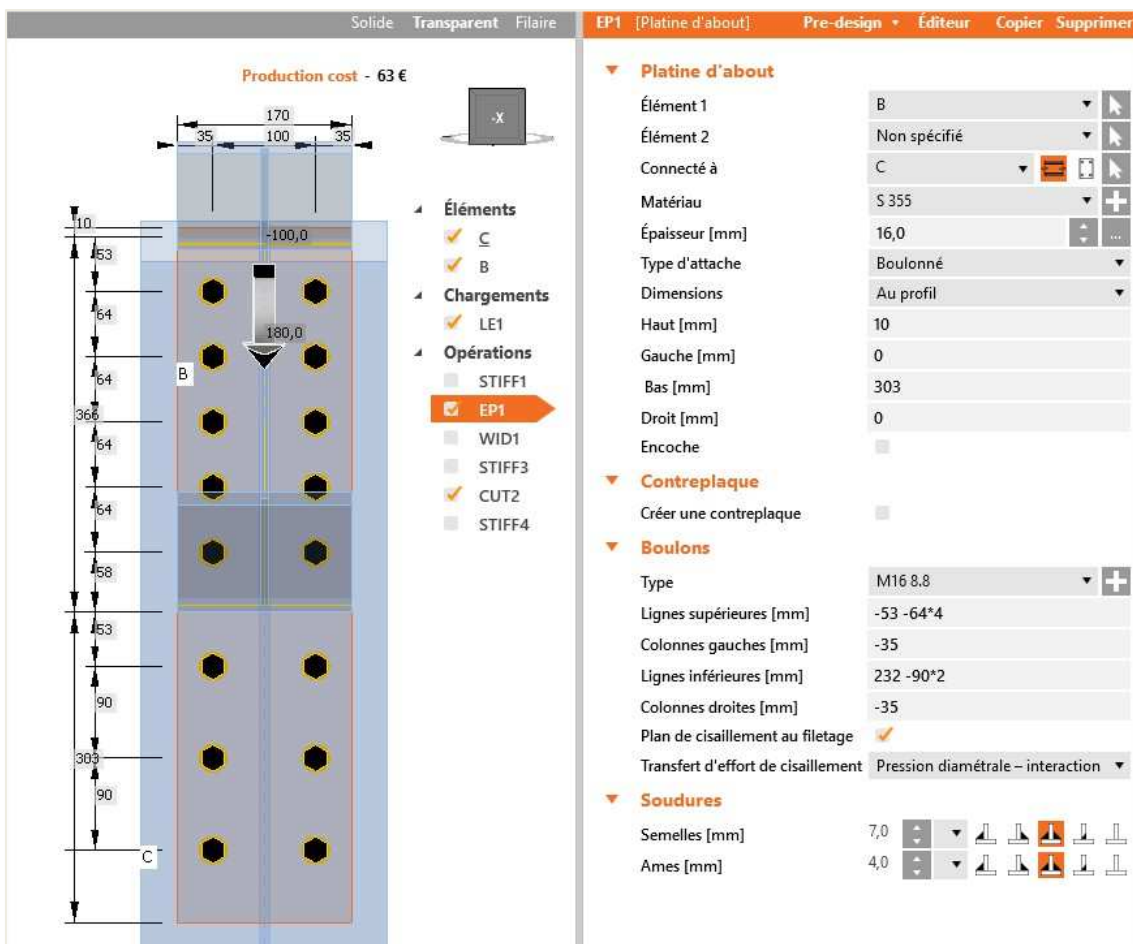
Type d'attache : Boulonné

Le logiciel donne aussi la possibilité de connecter à l'élément C un autre élément 2 (exemple : deux éléments connectés sur les deux côtés de l'âme du poteau).



Pour la définition des dimensions de la platine, l'utilisateur a deux choix : le lier aux dimensions du profil, ou utiliser l'option « rectangle », qui donne la possibilité de définir les dimensions de la platine par rapport à l'origine de la platine même.

Nous allons le lier aux dimensions du profilé B. Pour insérer plus précisément les valeurs, nous pouvons utiliser la vue « Transparent » et nous mettre dans le plan YZ en cliquant sur la face -X du navicube.



Contreplaque

Possibilité de créer une contreplaque et l'adapter à la largeur de la semelle du poteau.

Boulons

Le type du boulons est défini comme indiqué par défaut : M16 8.8. En cliquant sur le symbole +, d'autres types de boulons peuvent être utilisés.

La position des boulons est définie par rapport à la définition des dimensions de la platine ('au profil', 'rectangle' etc.). Nous avons indiqué « au profil », par conséquent les boulons sont définis en utilisant comme origine les coins du profil.

Une rangée de boulon est définie avec l'introduction d'un numéro : un numéro positif est toujours vers l'extérieur du profilé. La première rangée de boulon est positionnée à 53 mm du bord supérieur de la semelle, à l'intérieur, donc la valeur -53 est introduite. Avec la commande espace, vous pouvez insérer une rangée à une distance relative par rapport à la dernière valeur introduite, et avec le symbole étoile * vous pouvez multiplier les rangées à la même distance. Dans notre cas, la valeur -64*4 avec un espace crée 4 rangées de boulons à partir de la première introduite.

Si nous voulons utiliser une valeur par rapport à l'origine, nous pouvons utiliser le symbole « ; ».

Ex : les rangées des lignes supérieures peuvent être définies aussi comme : -53; -117; -181; -245; -309

Boulons	
Type	M16 8.8
Lignes supérieures [mm]	-53; -117; -181; -245; -309
Colonnes gauches [mm]	-35
Lignes inférieures [mm]	232 -90*2
Colonnes droites [mm]	-35

L'option « transfert d'effort de cisaillement » nous donne la possibilité d'utiliser des boulons classiques ou précontraints (option « friction »). Dès que l'option « friction » est utilisée, tous les boulons sont automatiquement vérifiés comme précontraints.

Soudures

Dans cette partie, l'utilisateur peut définir les soudures entre les semelles et l'âme de la poutre et la platine d'about. La soudure est continue par défaut et définie avec le type d'acier par défaut, est définie sur les deux côtés de la semelle/âme et avec une dimension de la gorge égale à la moitié de la dimension de la semelle/âme (par conséquent la valeur « totale » de la soudure est égale à la dimension de la semelle/âme).

Elargisseur

Pour créer un jarret, l'opération à utiliser est « Elargisseur ».

Cette opération permet de positionner une platine sur le même axe qu'une semelle d'élément. L'opération « Platine d'about » est une autre opération déjà paramétrée par le développement.



La procédure est similaire à celle utilisée pour la définition de la platine d'about. Nous allons indiquer l'élément de référence pour la modélisation d'une platine sur l'axe de l'âme de la poutre B, et la platine sera coupée par l'élément « associé » EP1. Nous allons indiquer ensuite, que la platine de référence est l'âme de la poutre, dans « Parties de la section transversale » : l'épaisseur, par défaut, est égal à celle de l'élément que nous avons choisi, soit 8mm. Nous allons indiquer que l'élargisseur doit être uniquement dans la « Position : Avant ».

Nous allons définir ensuite les dimension du jarret, et la « Forme : Triangulaire avec semelle ». Dans ce cas, les largeurs et épaisseurs n'ont pas de définition par défaut, et il faut lui donner les dimensions de la semelle de la poutre.

Les soudures seront créées dans les deux directions avec une épaisseur par défaut égale à la moitié de l'épaisseur de la partie de section associée (âme de la poutre).

WID1 [Élargisseurs] Pre-design Éditeur * Copier Supprimer	
Élargisseurs	
Sur l'élément	B
Associé à	EP1
Matériau	S 355
Épaisseur [mm]	8,0
Parties de la section transversale	Ames
Position	Avant
Largeur [mm]	280
Profondeur [mm]	400
Forme	Triangulaire avec semelle
Épaisseur de semelle [mm]	12,0
Largeur de semelle [mm]	170
Soudures	
Toutes les soudures [mm]	4,0

II. Vérifications

Un fois les éléments, chargements et opérations définis, nous pouvons lancer un premier calcul de l'assemblage et analyser les résultats.

Le type d'analyse que nous allons regarder dans ce tutoriel est le calcul contrainte/déformation, indiqué par la sigle EPS.

Les paramètres de calcul et les tolérances sont montrés dans l'onglet « Norme » :



Pour lancer un calcul, allons dans le menu de « Vérification » et lançons un calcul EPS + voilement, depuis le petit menu déroulant « Calculer » :



L'analyse est faite.

Un résumé des résultats est affiché en haut à gauche, réparti par type d'élément :

- Platines : platines des éléments et des opérations. La limite est 5% de déformation plastique.
- Boulons : le taux de travail du boulon le plus sollicité.
- Soudures : le taux de contraintes dans la soudure la plus sollicitée.
- Voilement : la valeur du coefficient multiplicateur de charges qui porte l'assemblage à flamber.

Analyse	✓	100,0%
Platines	✓	0,1 < 5,0%
Boulons	✓	84,4 < 100%
Soudures	✓	98,5 < 100%
Voilement		9,78

A. Platines

Le tableau de vérification des platines peut être affiché dans l'onglet des propriétés, comme montré dans l'image suivante.

Dans la barre du menu « Vérification », nous pouvons afficher graphiquement les contraintes élastiques, les déformations plastiques et les contraintes de contact. Nous allons aussi afficher le maillage créé.



Les valeurs affichées dans le tableau sont :

- Contrainte maximale dans la platine
- Déformation plastique maximale dans la platine
- Contrainte maximale de contact dans la platine

Dès que l'utilisateur sélectionne une platine à l'écran, la ligne correspondante est sélectionnée dans le tableau et les contraintes/déformations sont affichées dans le petit écran en bas à droite.

Résultat	Élément	Tb\h [mm]	Charges	σ_{Ed} [MPa]	ϵ_{PI} [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]
✓	C-bf1 1	17,0	LE1	216,2	0,0	0,0
>	C-ff1	17,0	LE1	355,1	0,1	87,3
✓	C-w 1	10,0	LE1	297,1	0,0	0,0
✓	B-bf1 1	12,7	LE1	238,0	0,0	0,0
✓	B-ff1 1	12,7	LE1	199,0	0,0	0,0
✓	B-w 1	8,0	LE1	258,0	0,0	0,0
✓	EP1	16,0	LE1	344,0	0,0	87,3
✓	WID1a	8,0	LE1	186,2	0,0	0,0
✓	WID1b	12,0	LE1	190,8	0,0	0,0

Données de conception		
Matériau	Fy [MPa]	ϵ_{lim} [%]
> S 355	355,0	5,0

A la fin du tableau, les données de conception sont affichées :

Données de conception		
Matériau	Fy [MPa]	ϵ_{lim} [%]
> S 355	355,0	5,0

B. Boulons

Le tableau de vérification des boulons peut être affiché dans l'onglet des propriétés, comme montré dans l'image suivante.

L'utilisateur peut afficher les valeurs et la direction des efforts dans les boulons en utilisant la commande « Effort dans les boulons ».



Dans le tableau, sont indiqués :

- Effort de traction F_t
- Effort de cisaillement V
- Résistance au poinçonnement de la platine $F_{b,Rd}$
- Taux de travail en traction
- Taux de travail en cisaillement
- Taux de travail en traction et cisaillement

La commande « + » donne la possibilité d'entrer dans le détail de la vérification à l'Eurocode pour le boulons sélectionnés.

Résultat	Élément	Charges	Ft [kN]	V [kN]	Fb,Rd [kN]	Utt [%]	Uts [%]	Uts [%]
✓	B1	LE1	76,3	2,4	250,9	84,4	3,9	64,2
Vérification de la résistance à la tension (EN 1993-1-8 tab 3.4) $F_{t,Rd} = \frac{A_s f_{td}}{\gamma_{M2}} = 90,4 \text{ kN} > F_t = 76,3 \text{ kN}$ $\alpha_0 = 0,90$ – Coefficient $f_{td} = 800,0 \text{ MPa}$ – Résistance à la traction ultime du boulon $A_s = 157 \text{ mm}^2$ – Zone d'effort de traction du boulon $\gamma_{M2} = 1,25$ – Facteur de sécurité								
✓	B2	LE1	76,3	2,4	250,9	84,4	4,0	64,2

A la fin du tableau, les données de conception sont affichées :

Données de conception			
Élément	Ft,Rd [kN]	Bp,Rd [kN]	Fv,Rd [kN]
> M16 8.8 - 1	90,4	295,6	60,3

C. Soudures

Le tableau de vérification des soudures peut être affiché dans l'onglet des propriétés, comme montré dans l'image suivante.

Dans le tableau, sont indiqués :

- Valeur de contrainte maximale dans la soudure
- Déformation plastique maximale
- Contrainte normale Sigma et de cisaillement Tau
- Taux de travail par rapport à la contrainte maximale
- Taux de travail par rapport à la contrainte moyenne de la soudure

La commande « + » donne la possibilité d'entrer dans le détail de la vérification à l'Eurocode pour le boulon sélectionné.

Vérification des soudures sous charge critique (Redistribution plastique)

	Résultat	Élément	Bord	Th \\\ [mm]	L [mm]	Charges	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	ϵ_{Pl} [%]	σ_{\perp} [MPa]	τ_{\parallel} [MPa]	τ_{\perp} [MPa]	Ut [%]	Utc [%]
+	✓	EP1	B-bfl 1	7,0	170	LE1	31,5	0,0	-8,1	15,4	-8,6	7,2	5,4
+	✓			7,0	170	LE1	24,4	0,0	-10,9	-5,5	11,3	5,6	4,4
-	✓	EP1	B-bfl 1	7,0	170	LE1	124,1	0,0	-44,9	-54,0	-39,2	28,5	26,4

Vérification de la résistance de la soudure (EN 1993-1-8 4.5.3.2)

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 435,6 \text{ MPa} \geq \sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]^{0,5} = 124,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 352,8 \text{ MPa} \geq |\sigma_{\perp}| = 44,9 \text{ MPa}$$

où :

- $f_u = 490,0 \text{ MPa}$ – Effort ultime
- $\beta_w = 0,90$ – Facteur de corrélation approprié selon le Tableau 4.1
- $\gamma_{M2} = 1,25$ – Facteur de sécurité

Contrainte équivalente [MPa]

A la fin du tableau, les données de conception sont affichées :

Données de conception

	Matériau	β_w	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0,9 \sigma$ [MPa]
>	S 355	0,90	435,6	352,8

D. Voilement

Le tableau avec les valeurs du coefficient multiplicateur peut être affiché dans l'onglet des propriétés, comme montré dans l'image suivante.

Pour afficher graphiquement la forme de flambement, il faut sélectionner l'icône correspondante :



De plus, il y a la possibilité d'afficher la déformée.

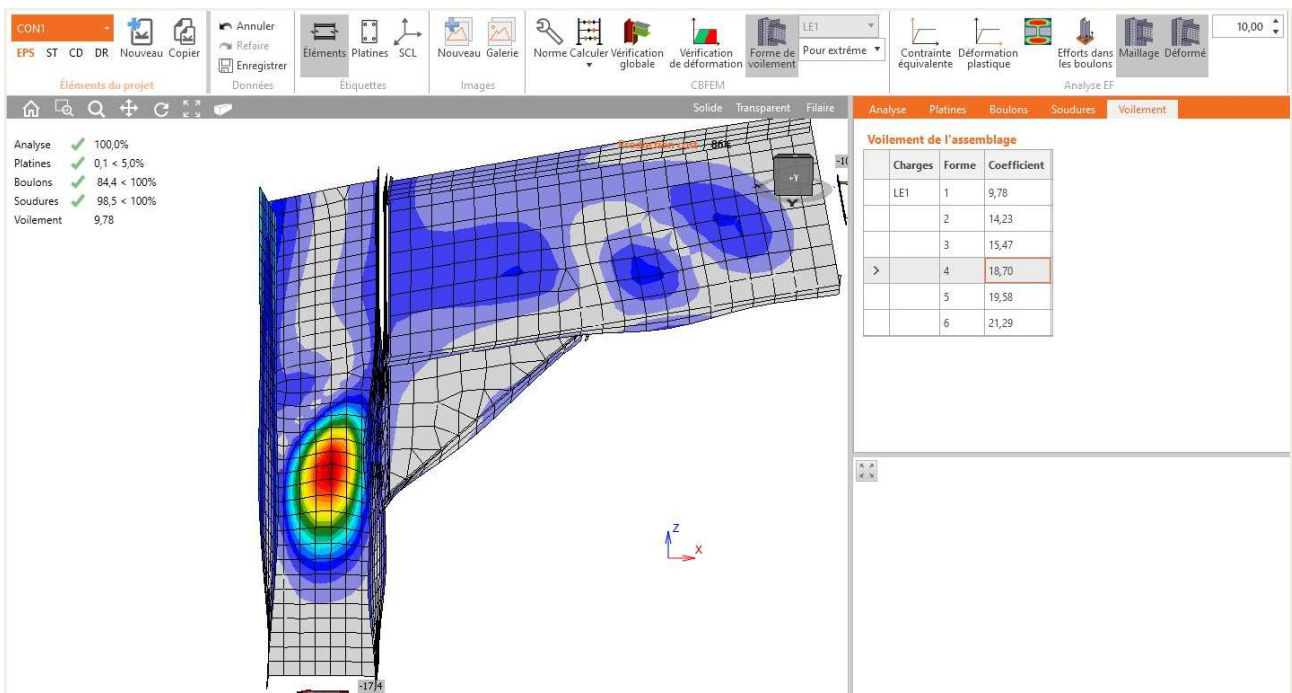
Note : la déformée n'a pas un ordre de grandeur, elle sert pour nous montrer la forme de la déformation. Le coefficient numérique peut l'amplifier ou la réduire pour avoir une meilleure rendu de la forme.

Nous allons regarder la forme numéro 1 et la forme numéro 4 :

- Forme n°1 :

Charges	Forme	Coefficient
> LE1	1	9,78
	2	14,23
	3	15,47
	4	18,70
	5	19,58
	6	21,29

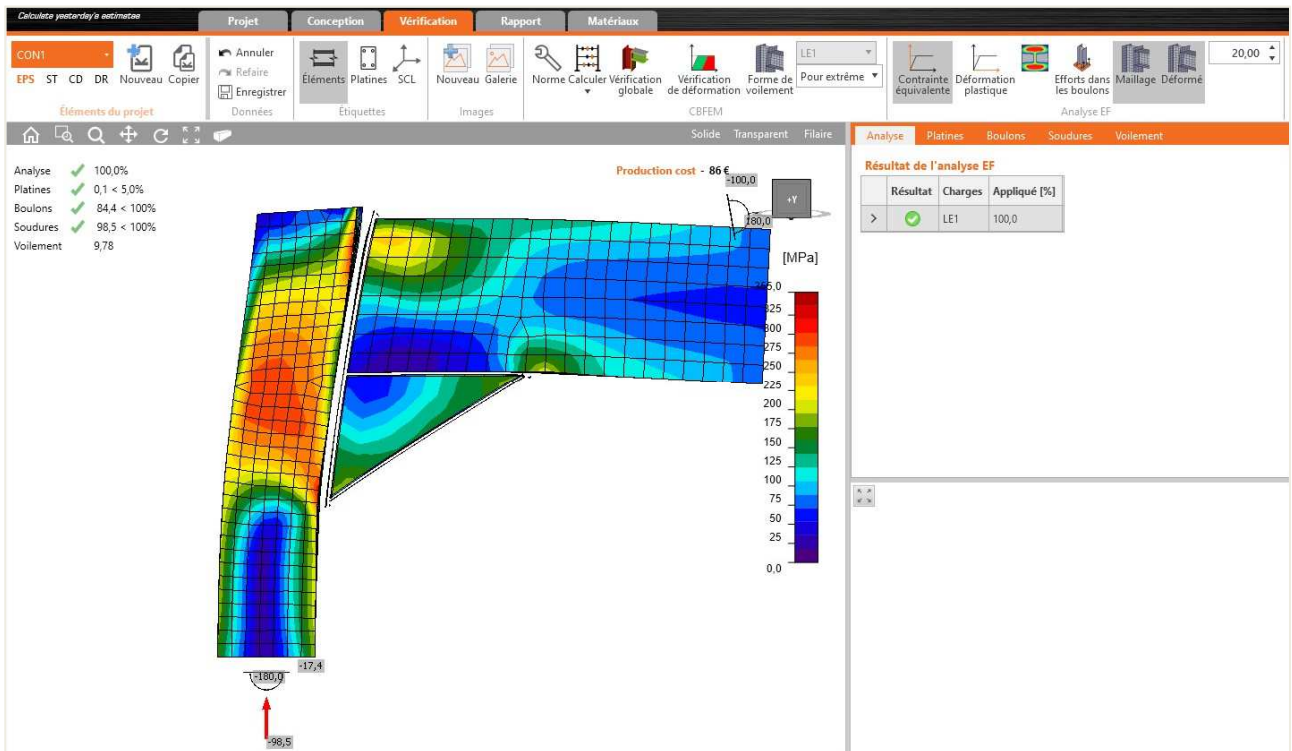
- Forme n°4 :



Nous pouvons remarquer que les zones de forme de voilement correspondent aux zones de compression des platines dues au jarret. Bien sûr le coefficient est inférieur dans l'âme de la poutre par rapport à l'âme du poteau, car elle est plus élancée.

Nous allons prévoir d'ajouter des raidisseurs à ces endroits.

L'affichage de la déformée peut être demandée aussi pour l'analyse contrainte/déformation, comme montré dans l'image suivante. Comme indiqué précédemment, la déformée a comme point fixe de référence l'appui sélectionné (la « rotation » est faite autour de la base du poteau).



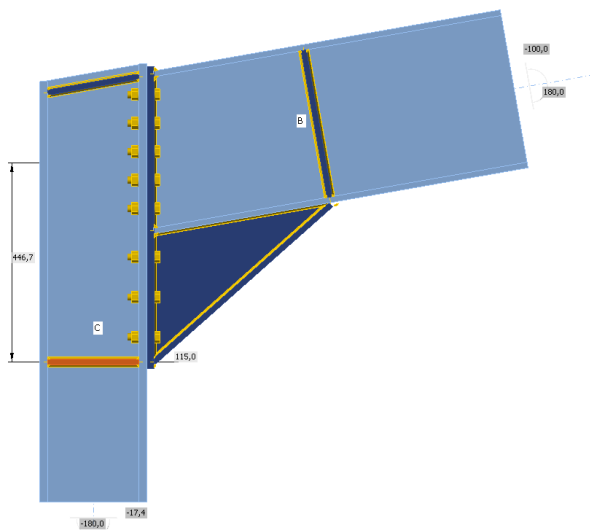
La semelle du poteau est aussi sollicitée dans la zone des boulons en traction, et nous allons ajouter un raidisseur à cet endroit.

L'opération « Raidisseur » est la numéro 2 dans le menu « Conception ».

Voici le paramétrage des 3 raidisseurs mentionnés précédemment :

RAID1 [Raidisseurs]		Pré-conception	Éditeur	Copier	Supprimer
Raidisseurs					
Sur l'élément	C				
Associé à	B				
Position	Supérieur				
Matériau	S 355				
Épaisseur [mm]	12,0				
Position	Les deux				
X - position [mm]	0,0				
α - Inclinaison [°]	0,0				
Largeur [mm]	0,0				
Décalage supérieur [mm]	0,0				
Décalage inférieur [mm]	0,0				
Nombre de répétitions	1				
Écart [mm]	0,0				
Coins chanfreinés	<input type="checkbox"/>				
Taille de coupe chanfreinée [mm]	0,0				
Soudures					
Toutes les soudures [mm]	4,0	S 355			

RAID3 [Raidisseurs]		Pré-conception	Éditeur	Copier	Supprimer
Raidisseurs					
Sur l'élément	B				
Associé à	ÉLAR1b				
Position	Inférieur				
Matériau	S 355				
Épaisseur [mm]	12,0				
Position	Les deux				
X - position [mm]	0,0				
α - Inclinaison [°]	0,0				
Largeur [mm]	0,0				
Décalage supérieur [mm]	0,0				
Décalage inférieur [mm]	0,0				
Nombre de répétitions	1				
Écart [mm]	0,0				
Coins chanfreinés	<input type="checkbox"/>				
Taille de coupe chanfreinée [mm]	0,0				
Soudures					
Toutes les soudures [mm]	4,0	S 355			



RAID2 [Raidisseurs]		Pré-conception	Éditeur	Copier	Supprimer
Raidisseurs					
Sur l'élément	C				
Associé à	ÉLAR1b				
Position	Inférieur				
Matériau	S 355				
Épaisseur [mm]	12,0				
Position	Les deux				
X - position [mm]	0,0				
α - Inclinaison [°]	0,0				
Largeur [mm]	0,0				
Décalage supérieur [mm]	0,0				
Décalage inférieur [mm]	0,0				
Nombre de répétitions	1				
Écart [mm]	0,0				
Coins chanfreinés	<input type="checkbox"/>				
Taille de coupe chanfreinée [mm]	0,0				
Soudures					
Toutes les soudures [mm]	4,0	S 355			

L'opération « Platine d'about » est une des opérations déjà paramétrées par le développement.

La procédure est similaire à celle utilisée pour la définition des autres opérations. Il y a la possibilité d'associer le raidisseur à un élément, comme pour l'opération RAID1, et le raidisseur va être positionné sur l'axe de la semelle de l'élément.

Si nous lançons à nouveau l'analyse EPS + voilement (dans le menu « Vérification »), nous noterons que le coefficient de voilement est supérieur, et « en-dehors » de l'assemblage.

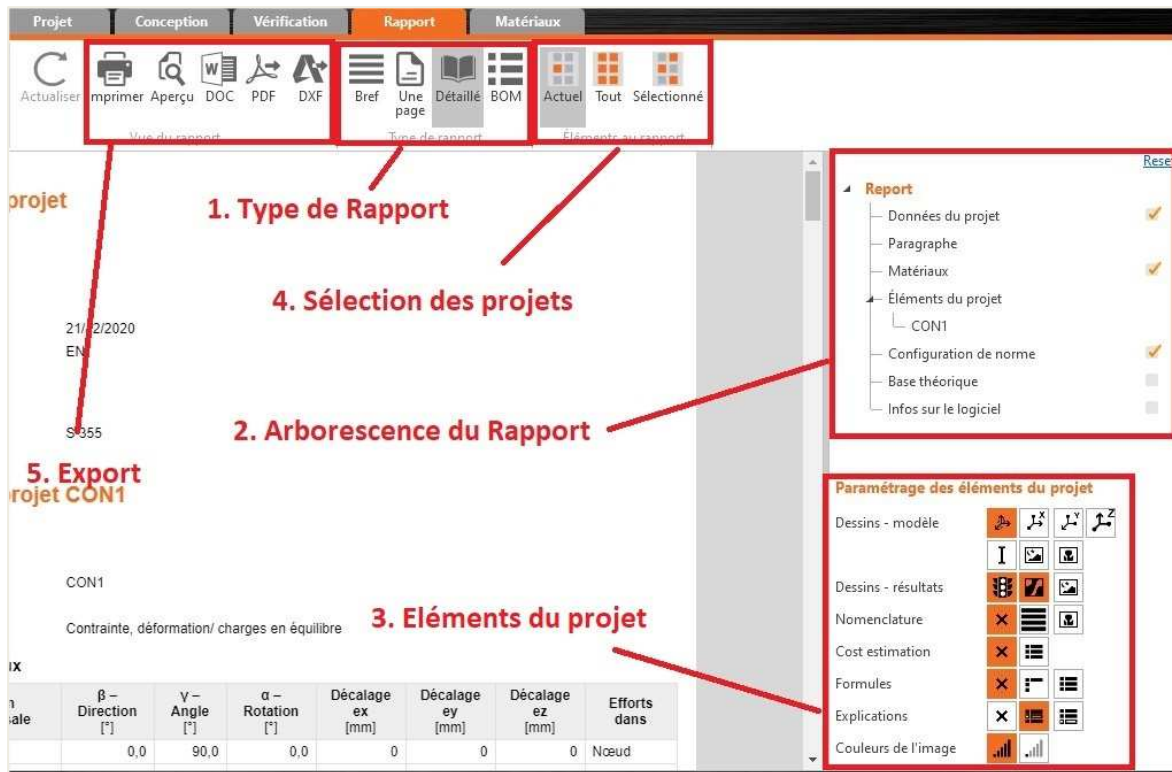
Production cost - 164 €

Charges	Forme	Coefficient
> LE1	1	15,98
	2	19,37
	3	20,99
	4	21,88
	5	22,34
	6	22,63

III. Note de calcul

Une fois la vérification de l'assemblage terminée, la note de calcul peut être créée. Il faut entrer dans le menu « Rapport » ; une note détaillée est créée par défaut.

Voici les différentes parties qui constituent le Rapport.



A. Type de Rapport

En utilisant les 4 icônes indiquées, nous pouvons sortir très vite :

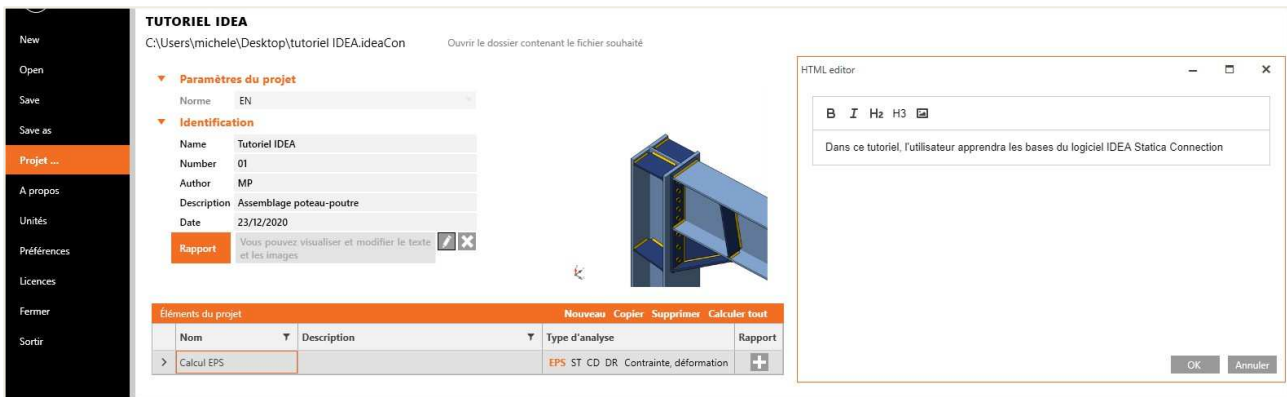
- Un rapport bref, avec le sommaire du calcul
- Un rapport sur une page
- Un rapport détaillé, le seul qui nous donne la possibilité de paramétrer les éléments du projet (p.3)
- BOM (« Bill of Material »), avec la nomenclature du projet

Nous allons choisir « détaillé » pour sortir une note de calcul plus paramétrée.

B. Arborescence du Rapport

Dans ce menu, l'utilisateur a la possibilité de configurer l'ordre des différents paragraphes, et choisir où les placer dans la note de calcul. L'ordre des éléments peut être modifié par glisser-déposer.

Les données du projet et les paragraphes peuvent être modifiés dans le menu « Projet ».



Lorsqu'on reviendra dans la note de calcul, les données vont être mis à jour en utilisant la commande « Actualiser ».

Il y a la possibilité d'ajouter aussi les informations sur le logiciel et la base théorique, qui donne une description de la méthode CBFEM.

La partie « éléments du projet » contient tous les éléments du paragraphe suivant.



C. Eléments du projet

Les éléments du projet constituent tous les données de l'analyse faite.

En premier, l'utilisateur peut paramétrer tous les images de la partie « Conception » et « Vérification ». Les images peuvent être choisies, mais elles sont positionnées automatiquement dans le rapport. La nomenclature ajoute au rapport ce qu'il y a dans la partie BOM. Enfin l'utilisateur peut détailler les formules et les explications.

Nous allons paramétrer comme montré dans l'image :

- Affichage de la vue en axonométrie
- Affichage des sections
- Affichage des images de résultats
- Nomenclature complète du projet
- Formule détaillée uniquement pour l'élément le plus sollicité
- Explication des symboles après chaque tableau



D. Sélection des projets

Dans ce menu, l'utilisateur a la possibilité d'imprimer le rapport de plusieurs projets au même temps. Par défaut, la choix est sur « actuel », qui permet de créer le rapport du projet en cours.

E. Export

Dans IDEA Statica, il y a la possibilité d'exporter en Word ou PDF le rapport complet. La nomenclature peut être exportée en DWG.

Il y a la possibilité d'exporter le DWG 3D de l'assemblage depuis le site :
<https://viewer.ideastatica.com/>

Note : l'entête n'est pas éditable. Si vous souhaitez la modifier, il vous faut exporter la note en .doc et éditer l'entête dans Word.

IV. Matériaux

Dans le menu « Matériaux », est stockée la base de données de toutes les sections et de tous les matériaux utilisés dans le projet.

Dans la colonne de gauche, nous pouvons noter qu'il y a les sections utilisés dans le projet, plus la section général que nous avons créé, les matériaux des platines, soudures et boulons, et les diamètres de boulons utilisés.



Lorsqu'un élément est sélectionné, ses propriétés s'affichent sur le côté droit ; dans ce menu, l'utilisateur peut modifier des caractéristiques de l'élément.

L'utilisateur peut aussi ajouter des éléments dans le projet, en utilisant les icônes dans la barre en haut.

Dans la barre en haut, à droite, d'autres fonctions sont possibles :

- « Editer » : substitution d'un élément existant. Par exemple, si nous voulons changer le matériau de tous les éléments, nous pouvons directement « éditer » l'acier S355, et le substituer avec un autre type d'acier.
- « Modifier » : modification des propriétés d'un élément. Par exemple, si nous voulons créer un nouveau type d'acier, ou de nuance ou diamètre des boulons, nous pouvons « copier » un élément existant, et le « modifier ».
- « Enregistrer » : possibilité qui est active lors de l'utilisation de la commande « modifier ». Cette fonction donne la possibilité d'enregistrer le type d'élément créé dans un dossier, et de l'utiliser dans tous les autres projets.
Note : pas applicable aux sections.
- « Supprimer » : supprime l'élément sélectionné.
- « Effacer » : supprime tous les éléments non utilisés du même type.

V. Exemple de modélisation avec les opérations utilisateurs

Dans cet exemple, nous allons modéliser le même assemblage qu'étudié dans les chapitres précédents, à partir d' « opérations utilisateurs ».

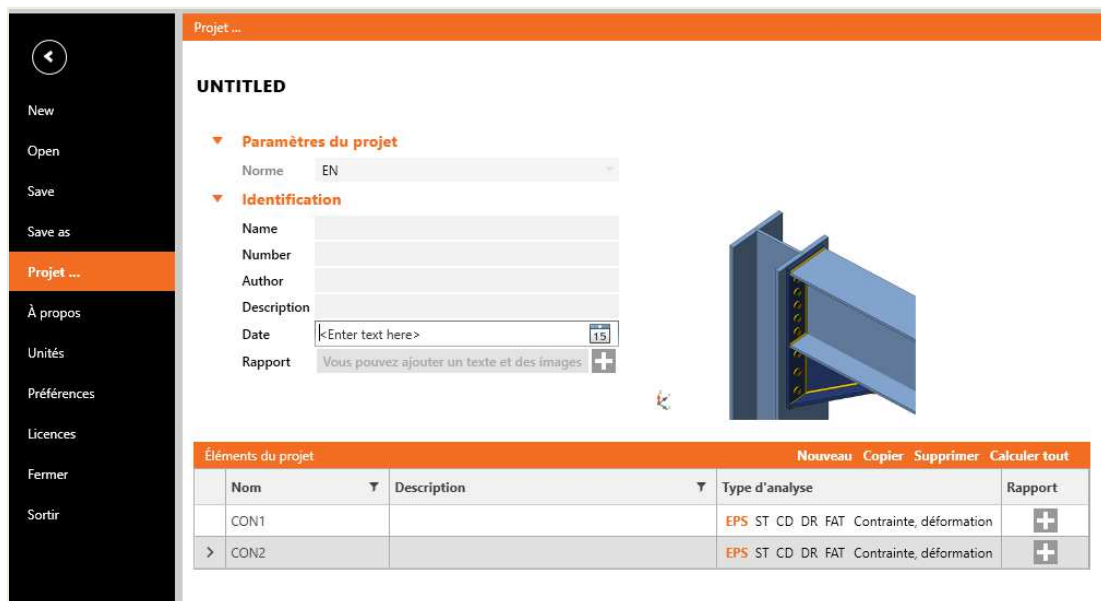
A. Copie de la première attache

Commençons par copier l'attache précédente (elle s'appelait « CON1 ») :



Une nouvelle attache, « CON2 », est créée.

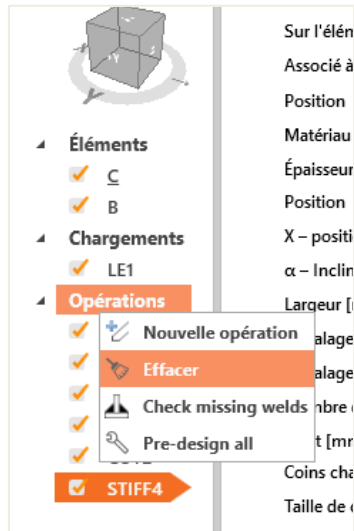
Si je clique sur l'onglet « Projet », je peux alors visualiser les deux attaches disponibles dans ce projet :



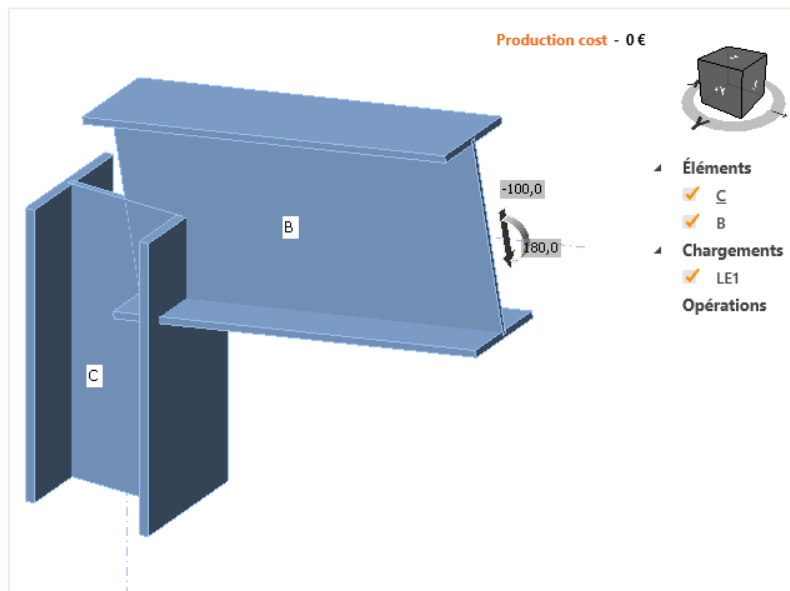
Sélectionnons alors notre deuxième attache :



Puis, supprimons les opérations déjà faites par un clic droit sur « Opérations », puis sur « Effacer » :



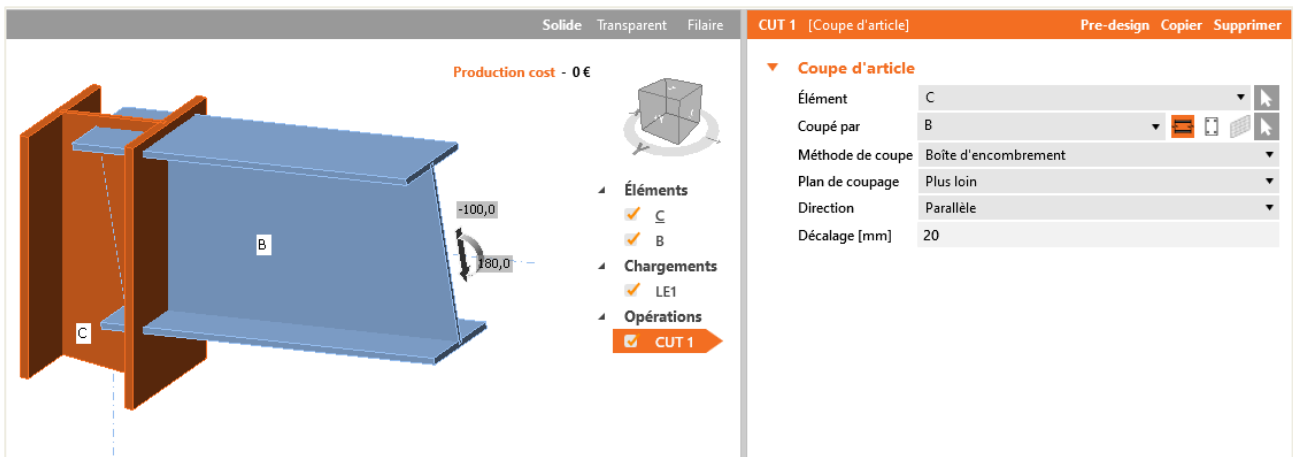
Nous revenons alors à la configuration de départ avec uniquement les éléments B et C :



B. Modélisation avec les opérations manuelles

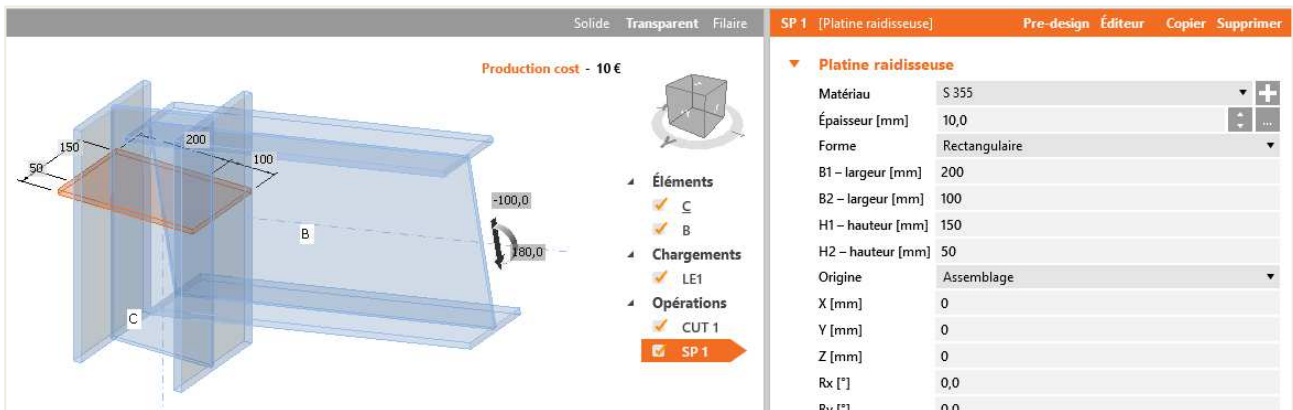
Comme dit précédemment, nous allons refaire la même attache que précédemment, à partir d' « opérations utilisateurs ».

Avec l'opération « Coupe », nous allons monter le poteau C jusqu'à l'aile supérieure de la poutre B. Nous allons choisir le « Plan de coupage : Plus loin », et un « Décalage » de 20mm :



Pour la platine d'about, on aurait pu utiliser l'opération automatisée « Platine d'about – Poutre à poteau ou poutre », mais l'objectif étant d'utiliser les opérations manuelles ou « utilisateurs », nous allons utiliser l'opération « Platine raidisseuse ».

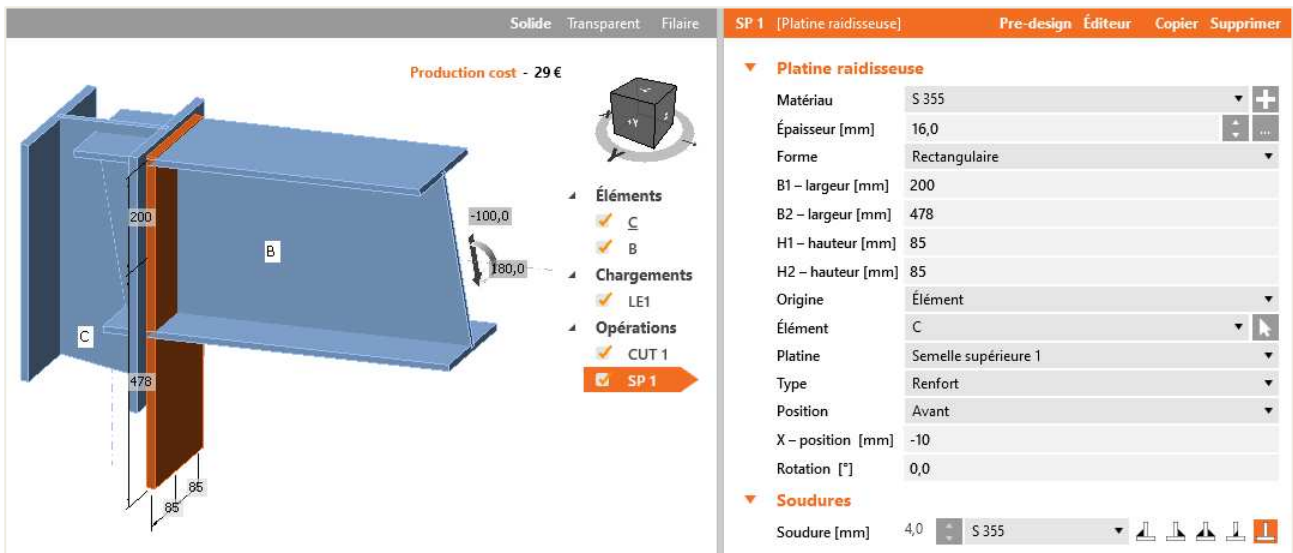
Par défaut, le logiciel génère donc une platine horizontale avec le nœud de l'assemblage pour origine :



Nous allons modifier cette origine « Assemblage » en « Élément » pour positionner la platine au niveau de l'aile supérieure du poteau (élément C). Trois types deviennent alors disponibles : « Raidisseur » qui se positionne perpendiculairement aux ailes pour raidir le poteau, « Elargisseur » qui se met dans la continuité de l'aile défini, ou « Renfort » qui se place en décalé de l'aile. Nous allons choisir ce dernier type, « Renfort » avec une position « Avant » pour le positionner devant l'aile.

La position X permet de décaler légèrement la platine au-dessus de l'aile supérieure de la poutre. B1 et B2 sont les largeurs de la platine de chaque côté du point origine. HA et H2 sont les hauteurs de la platine de chaque côté du point origine.

Nous ne considérerons ici aucune soudure entre la platine et le poteau (car nous allons boulonner l'ensemble par la suite).

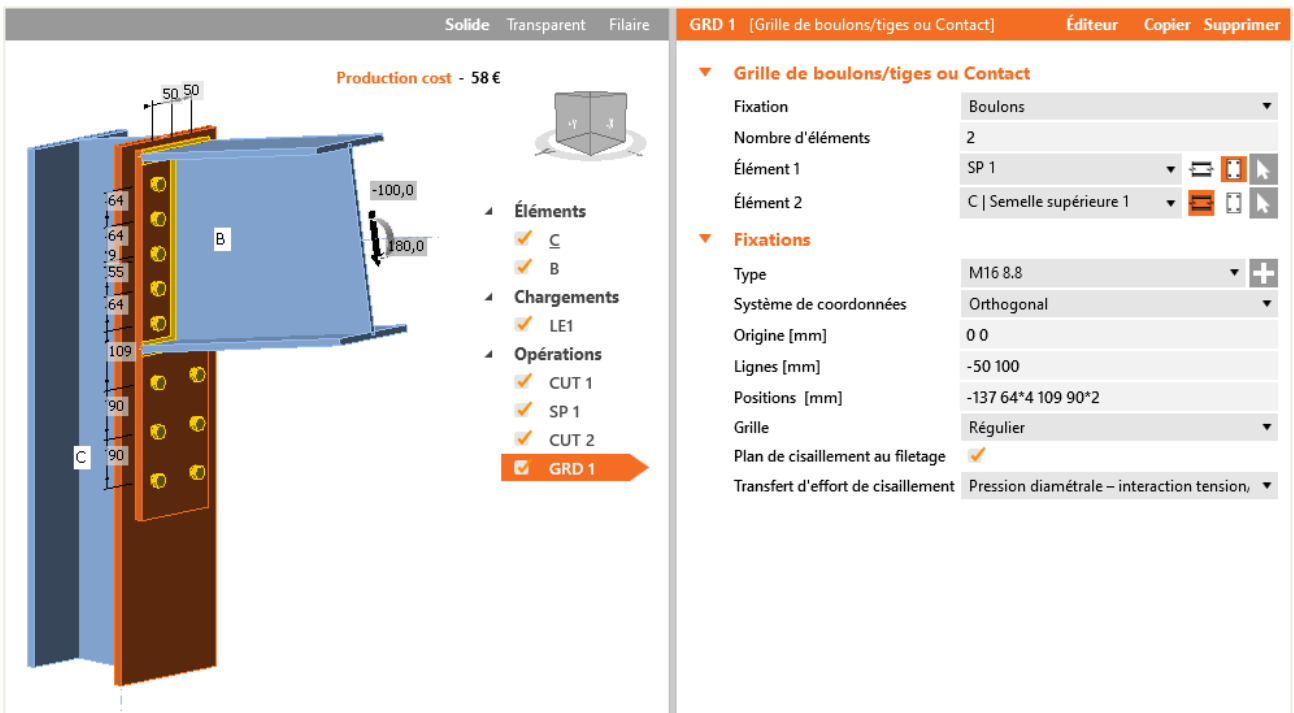


On peut maintenant couper l'élément B par cette platine SP1.
 Pour cela, nous allons à nouveau utiliser l'opération « Coupe ».

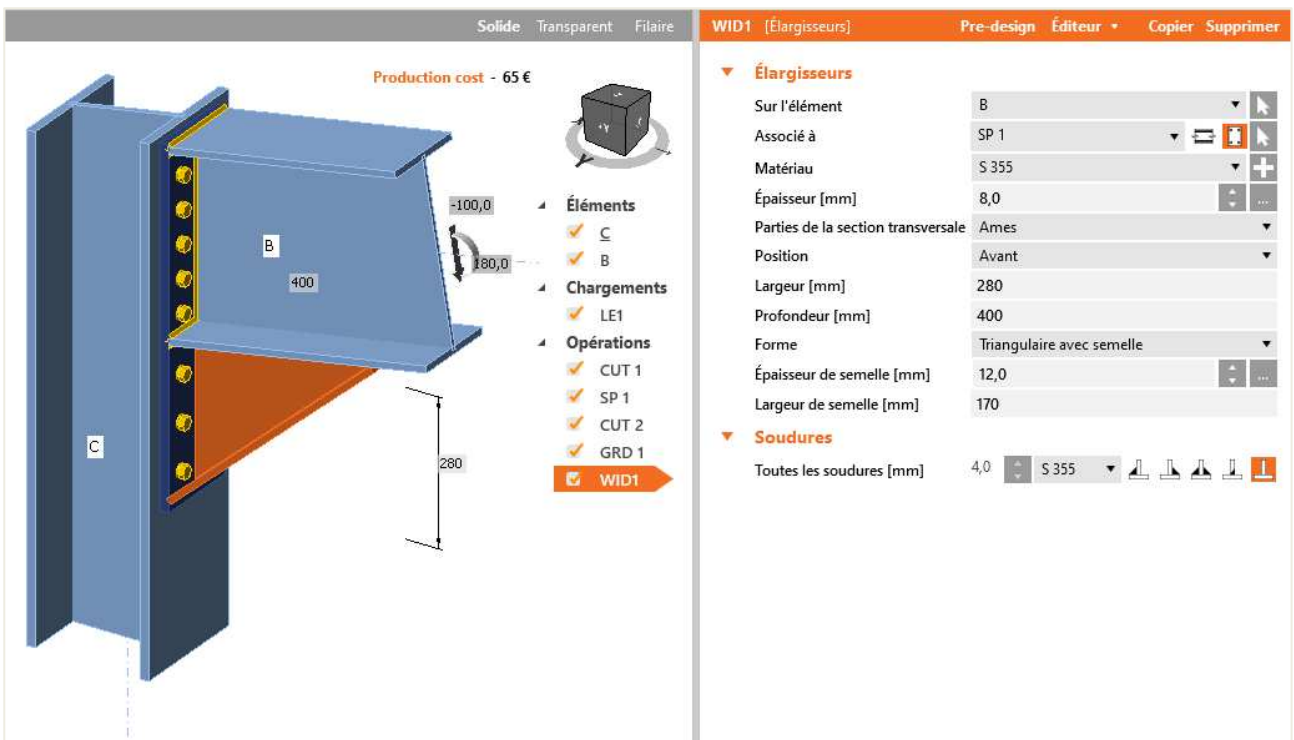


Connectons maintenant la platine SP1 au poteau C par l'opération « Grille de boulons ou contact ».

Pour placer les boulons, nous pouvons nous inspirer de l'attache faite précédemment pour plus de simplicité à la saisie. Cela dit, nous pourrions aussi changer l'origine pour la placer en haut de la poutre, ce qui pourrait faciliter la saisie des boulons.

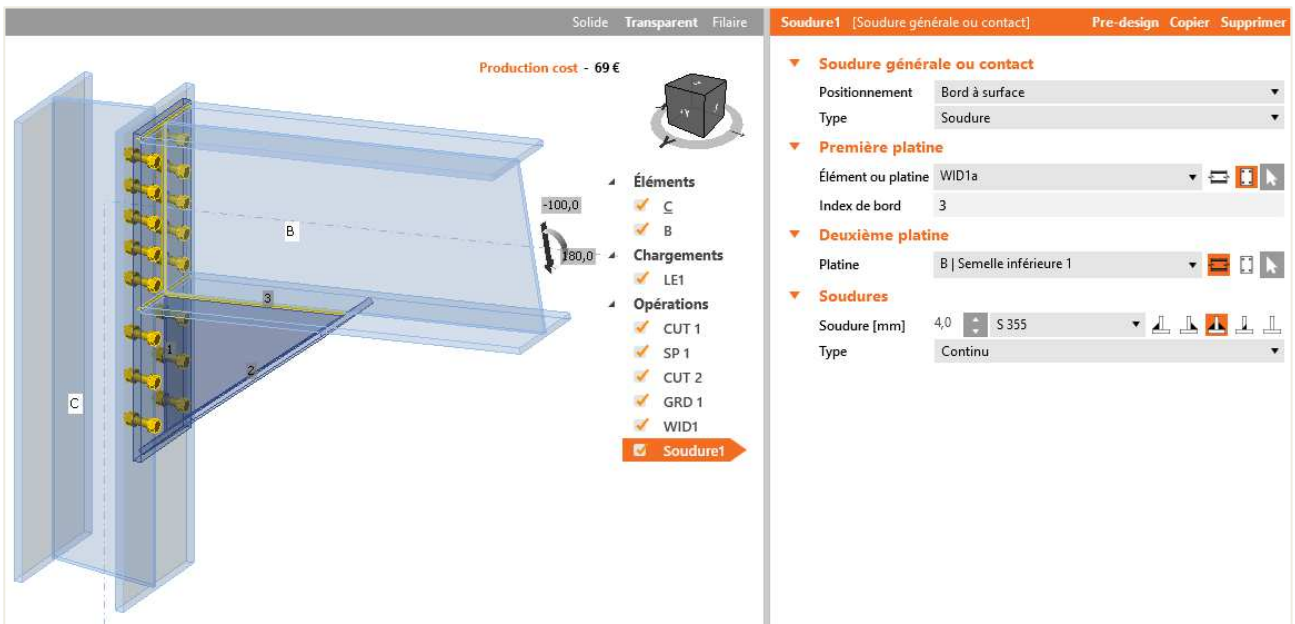


Nous allons ensuite placer le jarret sous la poutre. Pour cela, nous allons utiliser l'opération « Elargisseur ».

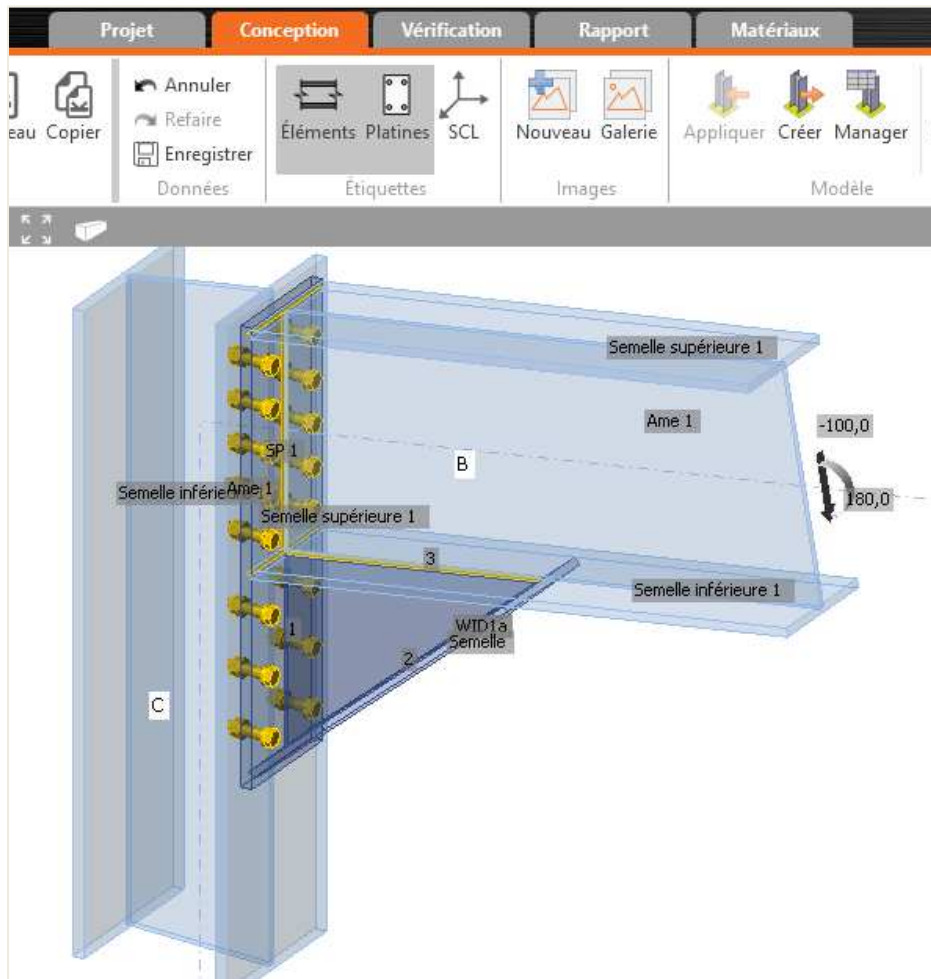


Nous avons volontairement supprimé toutes les soudures de cette opération, car nous allons maintenant les générer manuellement.

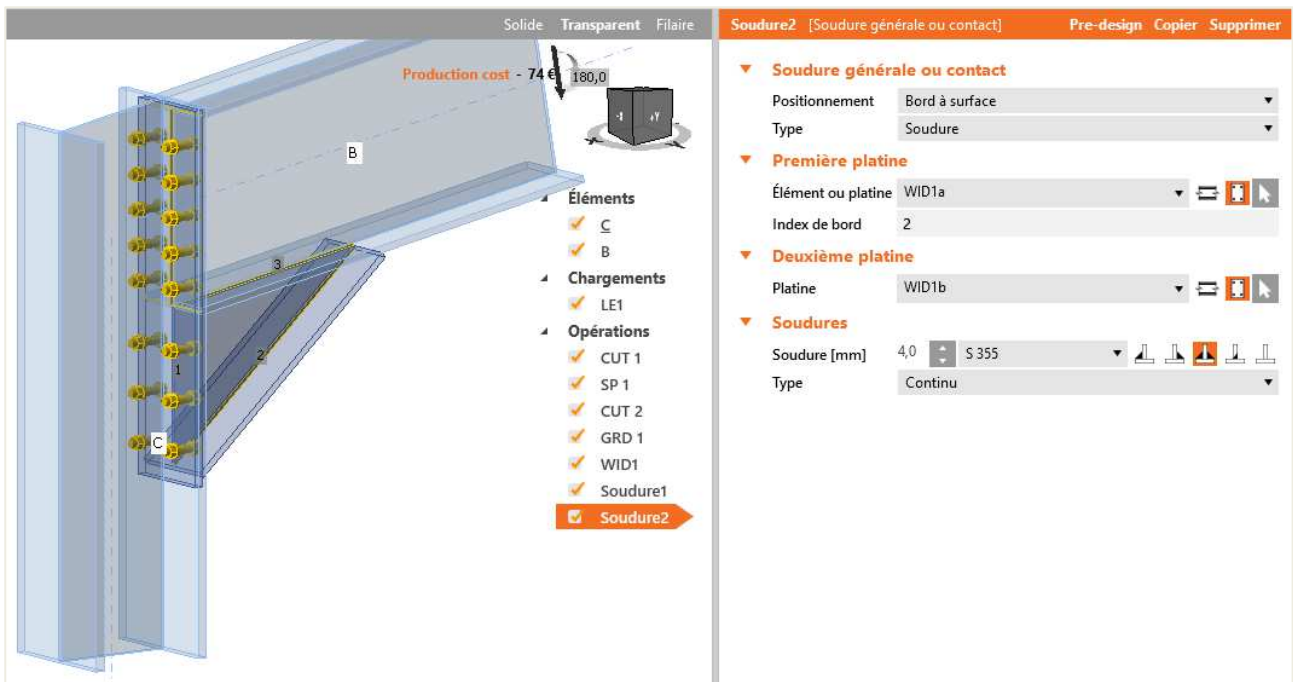
Créons la première soudure entre la semelle de la poutre et le jarret, en utilisant l'opération « Soudure ou Contact » :



Note : on peut afficher les étiquettes des platines :



Copier cette soudure pour créer celle entre l'âme et la semelle du jarret :



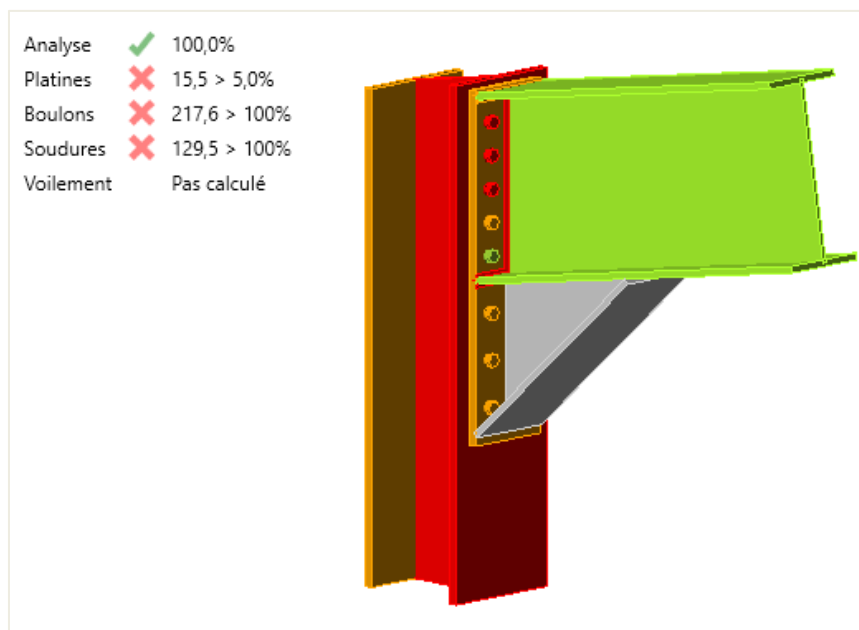
Il faudrait mettre également d'autres soudures, notamment entre le poteau et le jarret, mais volontairement ne la faisons pas de suite pour visualiser l'impact de cet oubli.

Vérifions les efforts de cet assemblage :

- $V_z = -100\text{kN}$
- $M_y = 180\text{kN.m}$

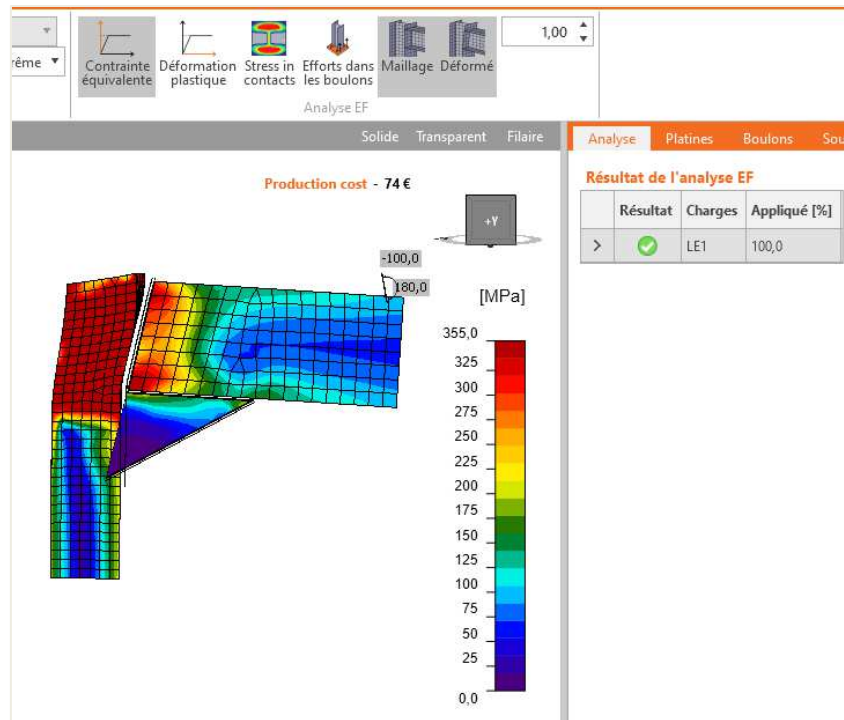
Puis lançons le calcul à partir de l'icône correspondant du menu « Conception ».

On note alors que l'assemblage ne passe pas, notamment au niveau du poteau, des platines et des soudures :



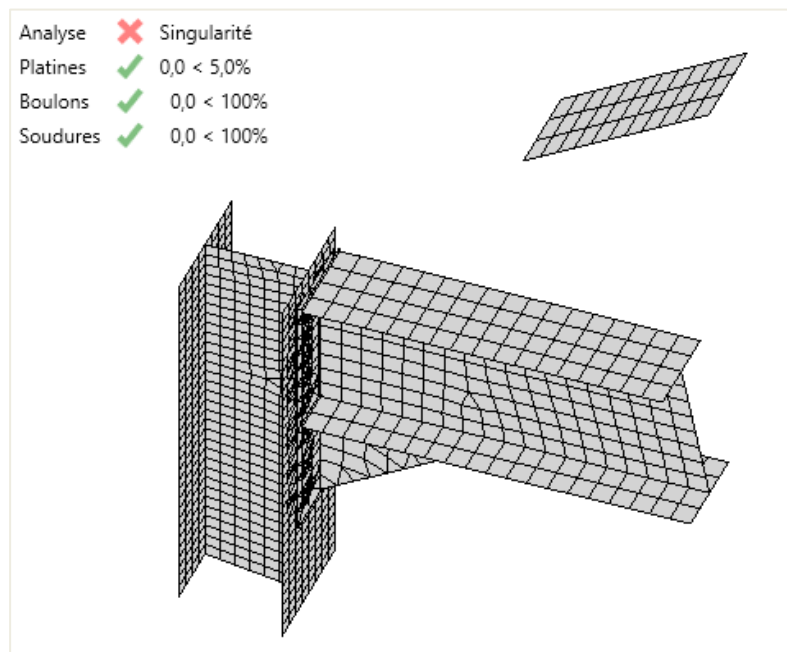
Dans le menu « Vérification », cliquons sur « Contrainte équivalente », « Déformée » et éventuellement « Maillage », et surtout diminuons l'échelle de 10 à 1.

On voit que le jarret « rentre » dans le poteau et qu'il manque une liaison entre les deux éléments.

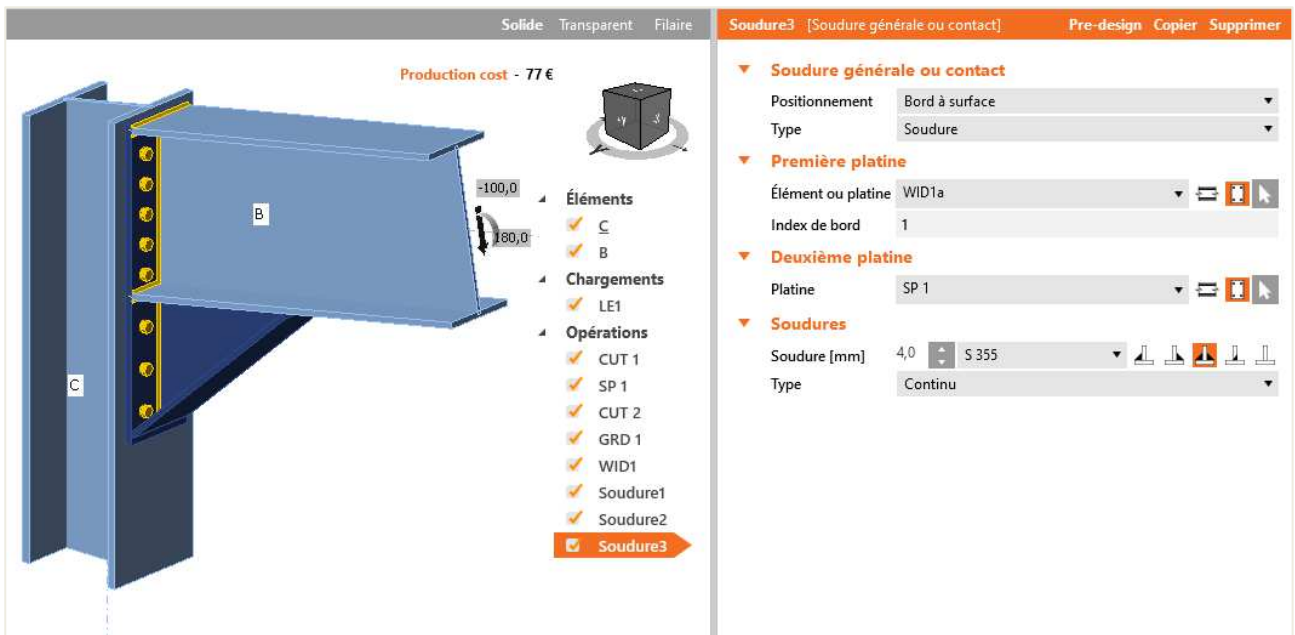


Ainsi, on peut se rendre compte d'une éventuelle erreur dans notre modélisation.

Parfois, le calcul ne peut même pas se lancer (par exemple si on désactive la dernière soudure faite, entre l'âme et la semelle du jarret, on aura une singularité) :

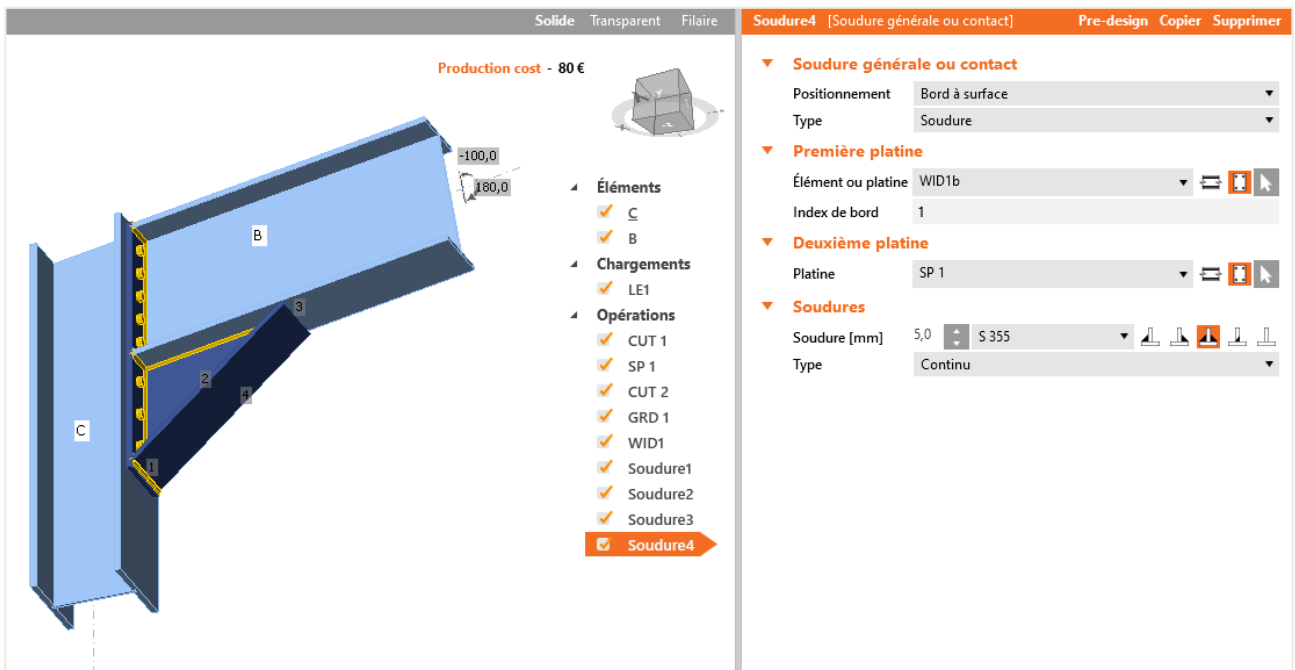


Pour remédier à ce problème, on va donc copier la dernière soudure faite, afin de générer une soudure entre la platine SP1 et le jarret :

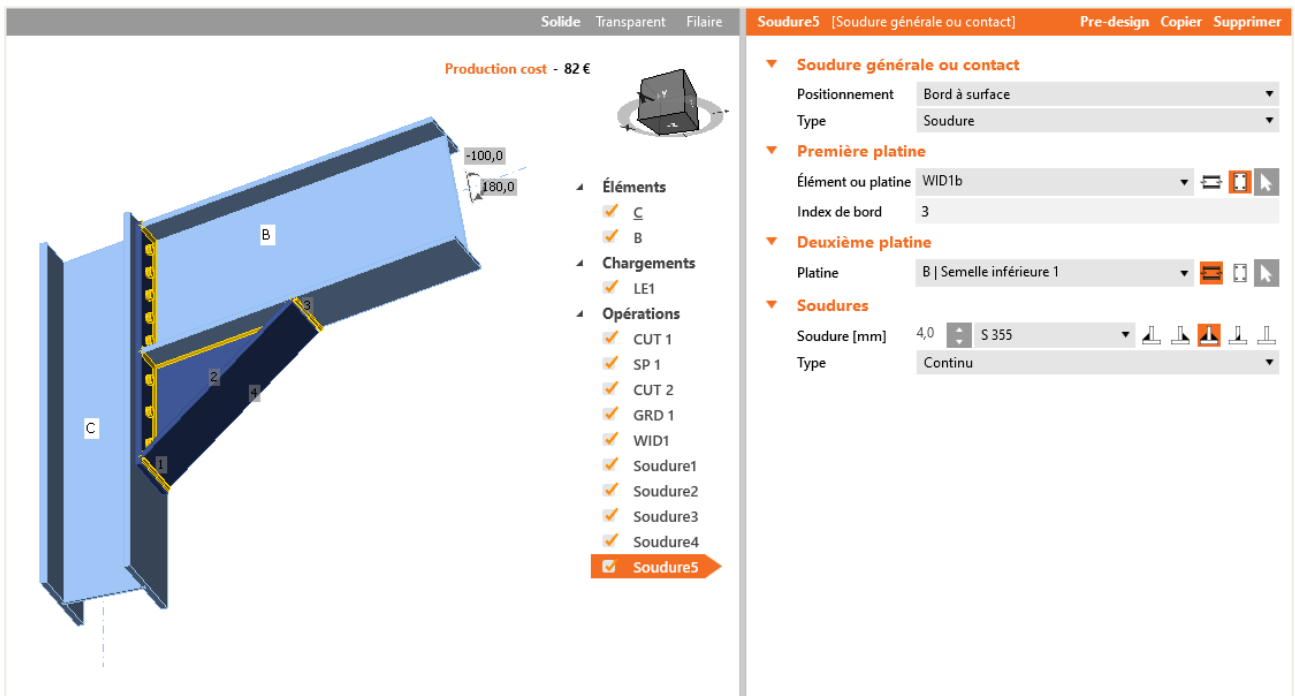


Note : On peut saisir un « Contact » au lieu d’une « Soudure », la liaison sera rouge au lieu de jaune, et aucune vérification ne sera effectuée. Mais une liaison entre éléments sera prise en compte malgré tout.

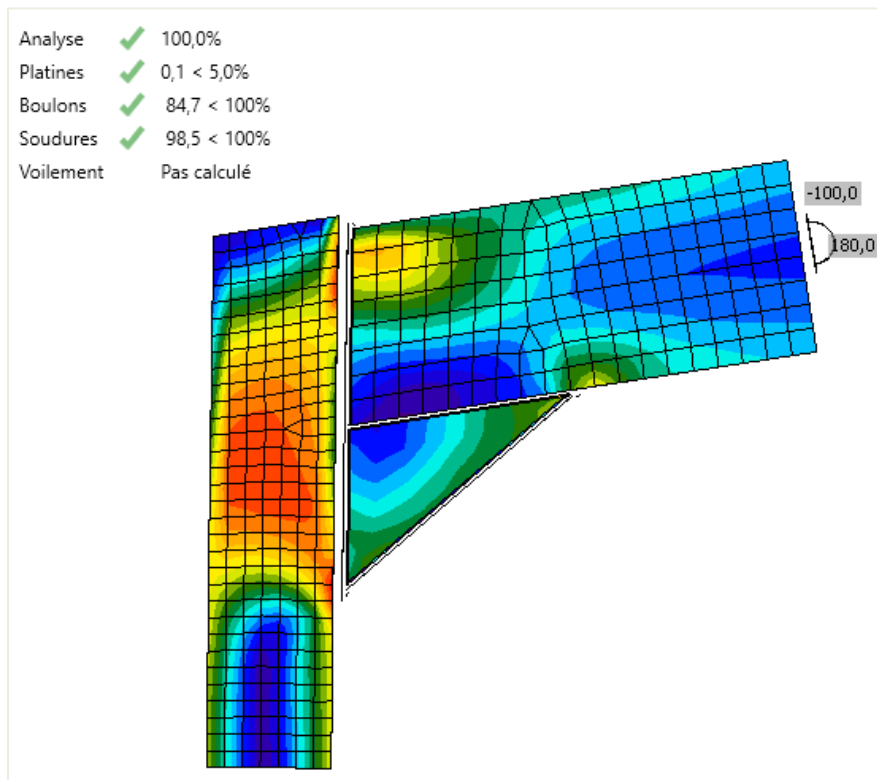
On va également ajouter deux autres soudures entre les bords de la semelle du jarret et respectivement la platine SP1 ...



... et l'aile inférieure de la poutre :



Relançons ainsi le calcul :



On observe alors une déformée correcte, et des résultats quasiment identiques à l'attache précédente.

C. Ajout des raidisseurs et vérification au voilement

Terminons l'attache en ajoutant les raidisseurs par la deuxième opération « Raidisseur » :

- L'un en partie supérieure du poteau :

Production cost - 110 €

RAID1 [Raidisseurs] Pré-conception Éditeur Copier Supprimer

▼ **Raidisseurs**

Sur l'élément	C
Associé à	B
Position	Supérieur
Matériau	S 355
Épaisseur [mm]	12,0
Position	Les deux
X - position [mm]	0,0
α - Inclinaison [°]	0,0
Largeur [mm]	0,0
Décalage supérieur [mm]	0,0
Décalage inférieur [mm]	0,0
Nombre de répétitions	1
Écart [mm]	0,0
Coins chanfreinés	<input type="checkbox"/>
Taille de coupe chanfreinée [mm]	0,0

▼ **Soudures**

Toutes les soudures [mm] 4,0 S 355

- L'un en partie inférieure du poteau :

Production cost - 139 €

RAID2 [Raidisseurs] Pré-conception Éditeur Copier Supprimer

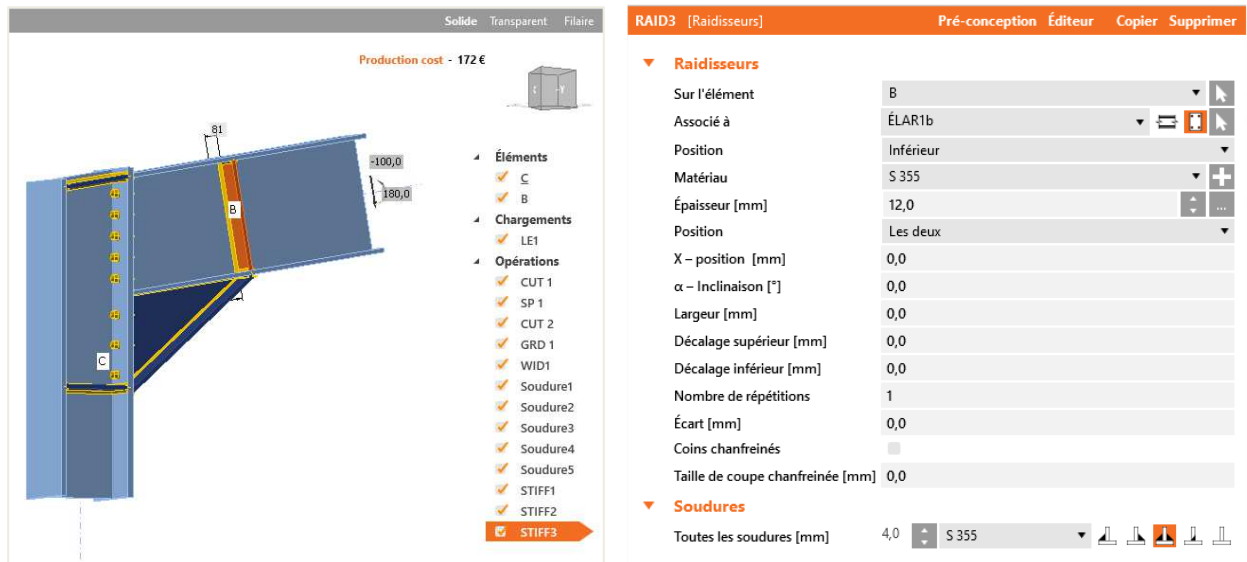
▼ **Raidisseurs**

Sur l'élément	C
Associé à	ÉLAR1b
Position	Inférieur
Matériau	S 355
Épaisseur [mm]	12,0
Position	Les deux
X - position [mm]	0,0
α - Inclinaison [°]	0,0
Largeur [mm]	0,0
Décalage supérieur [mm]	0,0
Décalage inférieur [mm]	0,0
Nombre de répétitions	1
Écart [mm]	0,0
Coins chanfreinés	<input type="checkbox"/>
Taille de coupe chanfreinée [mm]	0,0

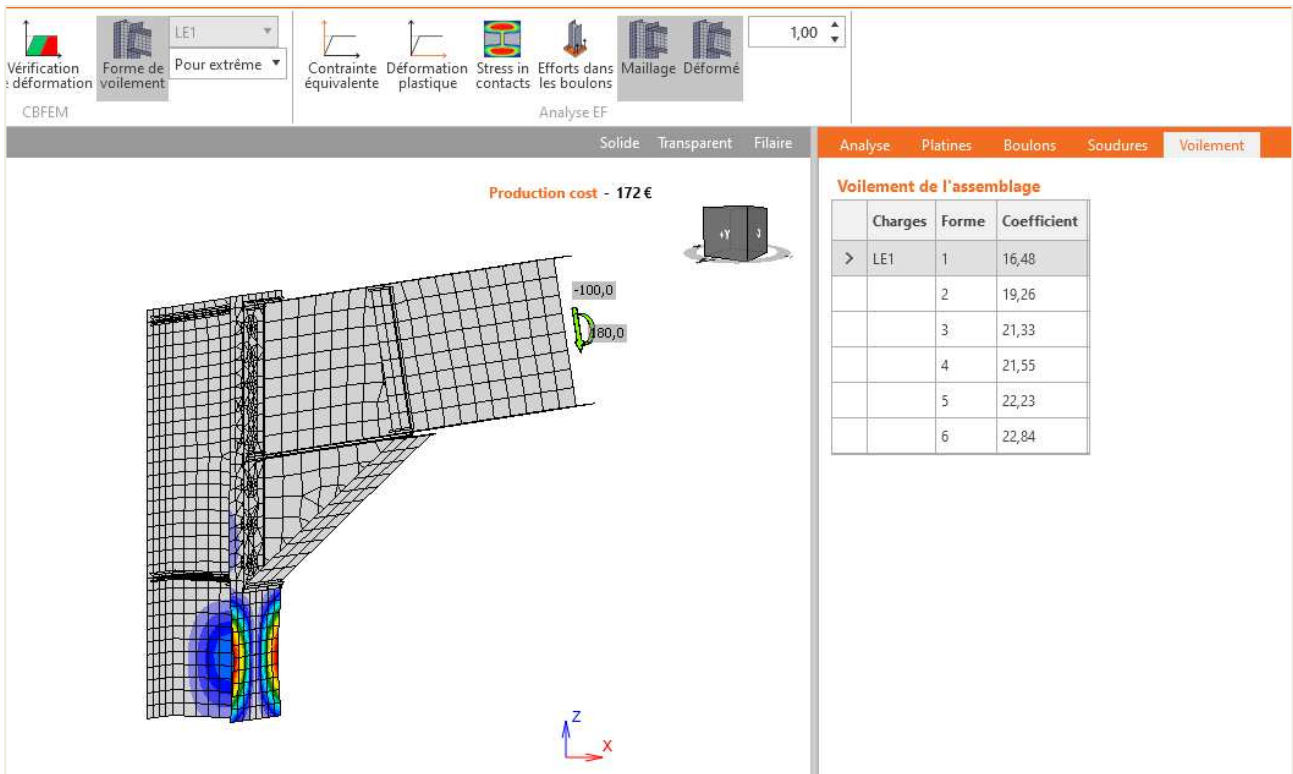
▼ **Soudures**

Toutes les soudures [mm] 4,0 S 355

- Un troisième sur la poutre au niveau de l'extrémité du jarret :



Par le menu « Vérification », lançons un calcul avec voilement pour voir si les raidisseurs ont joué leur rôle et limiter le voilement :



On retrouve alors la forme de voilement et le coefficient (quasiment) vus précédemment sur la première attache.

VI. Calcul de rigidité

Un autre type de calcul possible dans IDEA Statica est le calcul de la rigidité de l'assemblage et le contrôle de la raideur par rapport aux limites de l'EC.

A. Pourquoi une analyse de rigidité

Différentes raisons peuvent justifier un calcul de rigidité :

- Tout d'abord, pour confirmer les choix faits au niveau du modèle analytique (connexion rigide, semi-rigide, rotulé).
Est-ce que l'assemblage, indiqué comme « rigide », travaille exactement de cette façon ? Est-ce que considérer l'attache d'un élément secondaire comme « rotulée » est correct, surtout si elle est connectée avec 2 boulons ou plus ?
...
- Aussi, pour démontrer que l'assemblage « pied de poteau » est rigide ou articulé.
Ce contrôle nous permet effectivement de certifier que l'assemblage « Pied de poteau » est vraiment rigide ou articulé. En effet, les limites de rigidité indiquées par le code sont basées sur la rigidité des éléments connectés.
- Enfin, pour implémenter des valeurs de rigidité calculées dans le modèle analytique.
La possibilité d'implémenter les valeurs de raideur calculées dans le modèle, peut permettre à l'utilisateur de vérifier plus en détail la structure.

B. Application à l'exemple

Copions à nouveau notre deuxième attache par exemple, pour effectuer le calcul de rigidité sur cette troisième attache, « CON3 », et choisissons alors le deuxième contrôle « ST » :



On retrouve alors nos trois attaches dans le menu « Projet » :

Éléments du projet		Nouveau	Copier	Supprimer	Calculer tout			
Nom	Description	Type d'analyse			Rapport			
CON1		EPS	ST	CD	DR	FAT	Contrainte, déformation	
CON2		EPS	ST	CD	DR	FAT	Contrainte, déformation	
> CON3		EPS	ST	CD	DR	FAT	Rigidité	

Pour le calcul en rigidité, il faut savoir dans quel élément la charge va être introduite : la poutre ou le poteau. Par défaut, c'est le poteau qui est l' « Élément analysé » :

Production cost - 172 €

Éléments

- C
- B

Chargements

Opérations

C [Élément analysé] Copier Supprimer

Propriétés

- Section transversale: 1 - HEB240
- Miroir Y:
- Miroir Z:
- Type géométrique: Fini

Position

- Defined by: Rotations
- β - Direction [°]: 0,0
- γ - Angle [°]: -90,0
- α - Rotation [°]: 0,0
- Décalage ex [mm]: 0
- Décalage ey [mm]: 0
- Décalage ez [mm]: 0
- Align: In node

Modèle

- Type de modèle: N-Vy-Vz-Mx-My-Mz
- Efforts dans: Noeud

Analyse de rigidité

- Longueur théorique de My [m]: 6,00

Pour que ce soit la poutre, sélectionnez-la et cliquez sur :

Production cost - 172 €

Éléments

- C
- B

Chargements

Opérations

B [Élément] Configurer l'élément analysé Copier Supprimer

Propriétés

- Section transversale: 2 - IPE360
- Miroir Y:
- Miroir Z:
- Type géométrique: Fini

Position

- Defined by: Rotations
- β - Direction [°]: 0,0
- γ - Angle [°]: 10,0
- α - Rotation [°]: 0,0
- Décalage ex [mm]: 0
- Décalage ey [mm]: 0
- Décalage ez [mm]: 0
- Align: In node

Modèle

- Type de modèle: N-Vy-Vz-Mx-My-Mz
- Efforts dans: Noeud

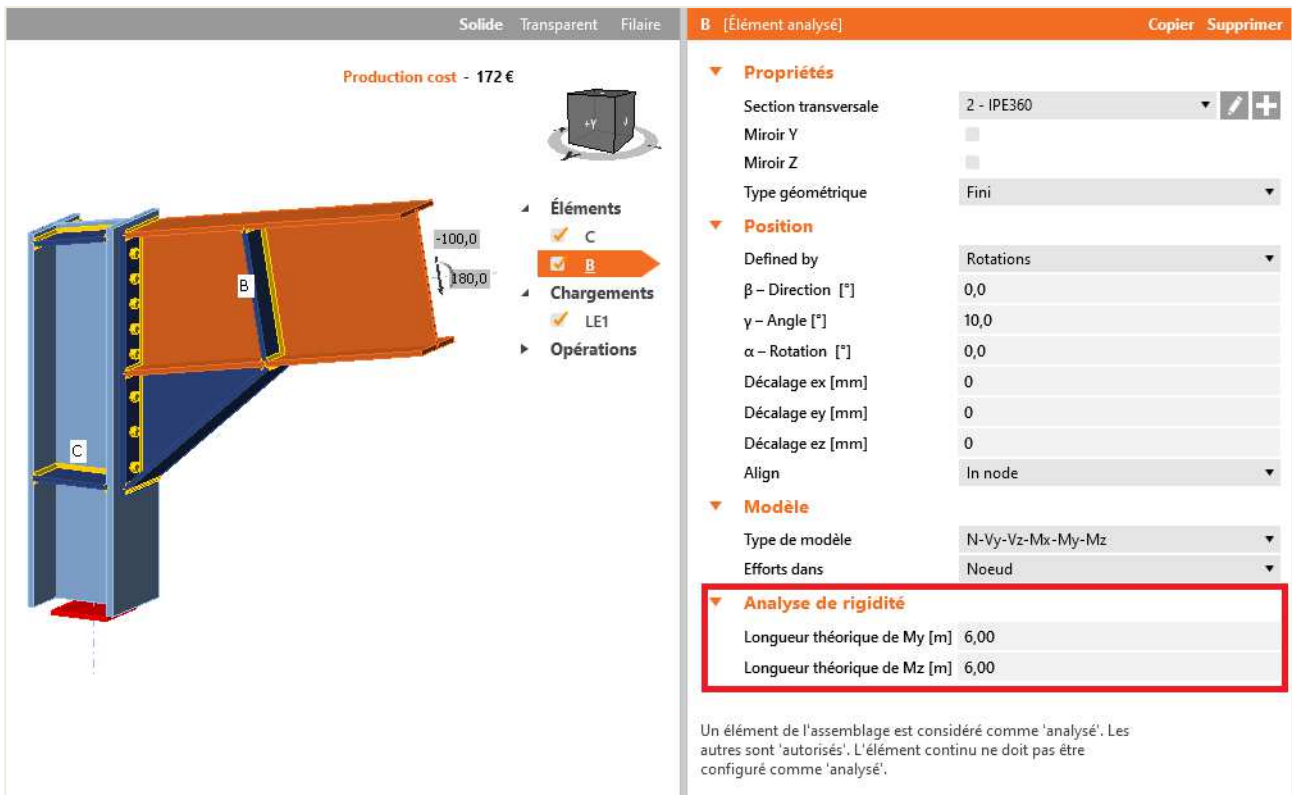
Analyse de rigidité

C'est donc désormais la poutre qui recevra les efforts et qui sera analysée.

Laissons les efforts saisis, à savoir :

- $F_z = -100\text{kN}$
- $M_y = 180\text{kN.m}$

Dans les propriétés de l'élément poutre (B), un nouveau paragraphe est apparu pour l'analyse de rigidité :



Production cost - 172 €

Éléments

- ✓ C
- ✗ B

Chargements

- ✓ LE1

Opérations

Propriétés

Section transversale: 2 - IPE360

Miroir Y:

Miroir Z:

Type géométrique: Fini

Position

Defined by: Rotations

β - Direction [°]: 0,0

γ - Angle [°]: 10,0

α - Rotation [°]: 0,0

Décalage ex [mm]: 0

Décalage ey [mm]: 0

Décalage ez [mm]: 0

Align: In node

Modèle

Type de modèle: N-Vy-Vz-Mx-My-Mz

Efforts dans: Noeud

Analyse de rigidité

Longueur théorique de My [m]: 6,00

Longueur théorique de Mz [m]: 6,00

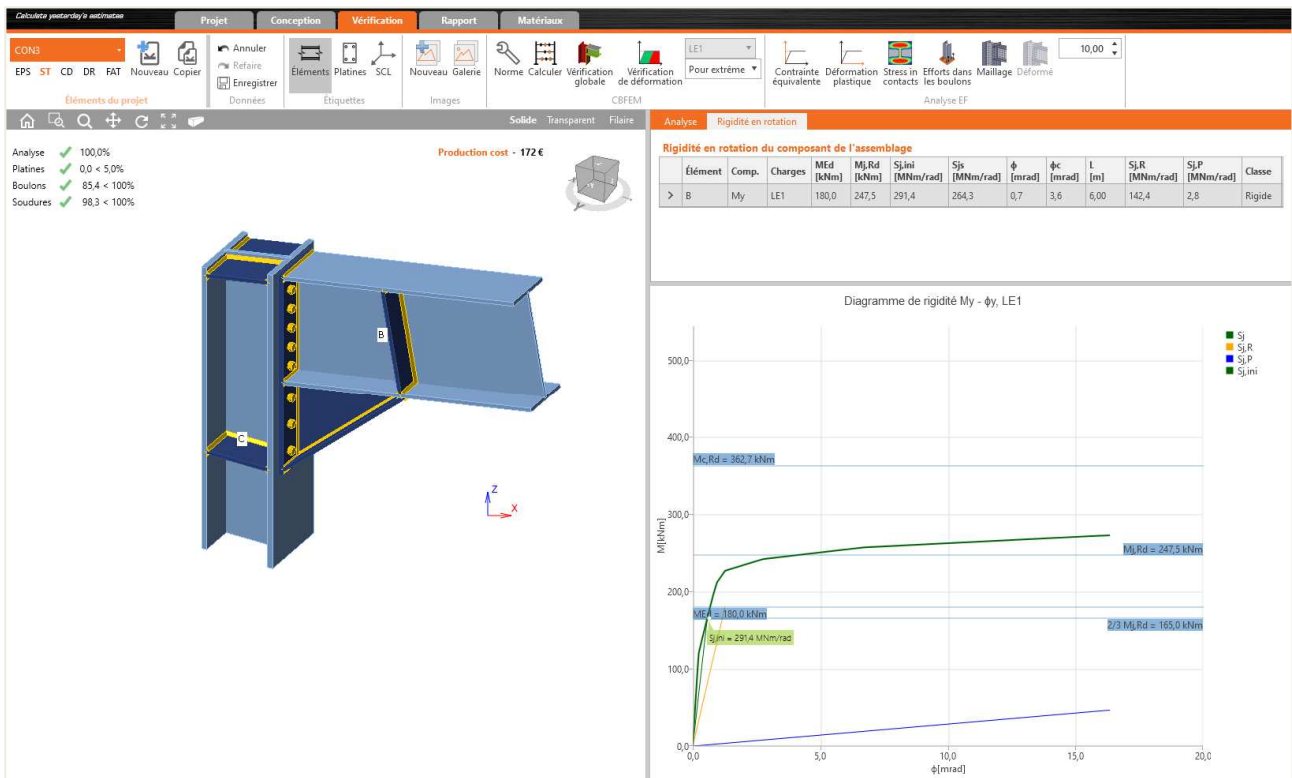
Un élément de l'assemblage est considéré comme 'analysé'. Les autres sont 'autorisés'. L'élément continu ne doit pas être configuré comme 'analysé'.

Ce sont les longueurs réelles de la poutre, qui vont dépendre des appuis / points de stabilisation. Il se peut que dans la direction z, on ait des points de stabilisation différents par rapport à la direction y. Dans ce cas, les longueurs réelles pourraient être différentes dans les deux directions.

Cela ne joue pas directement sur la rigidité, mais sur la classification de l'élément.

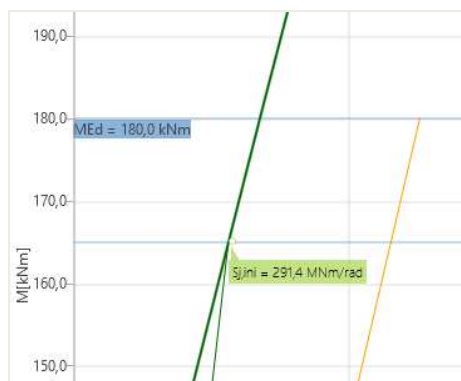
Laissons les valeurs par défaut, et lançons le calcul par le menu « Conception ».

Dans le menu « Vérification », cliquez dans le tableau de droite sur « Rigidité en rotation » :



Dans ce tableau, on peut voir que le composant calculé est le My. On peut visualiser également :

- M_{Ed} : le moment de calcul / appliqué.
- M_{j,Rd} : le moment résistant de l'assemblage, valeur que l'on retrouve dans le diagramme (ligne horizontale bleue).
- S_{j,ini} : la rigidité initiale, qui est calculée à partir de l'intersection entre la ligne horizontale qui représente les 2/3.M_{j,Rd} et la courbe du moment en fonction de la rotation :



On peut considérer que cette rigidité initiale correspond à la rigidité de l'assemblage si le moment est inférieur à 2/3.M_{j,Rd} et que l'on considère qu'on reste dans une partie linéaire.

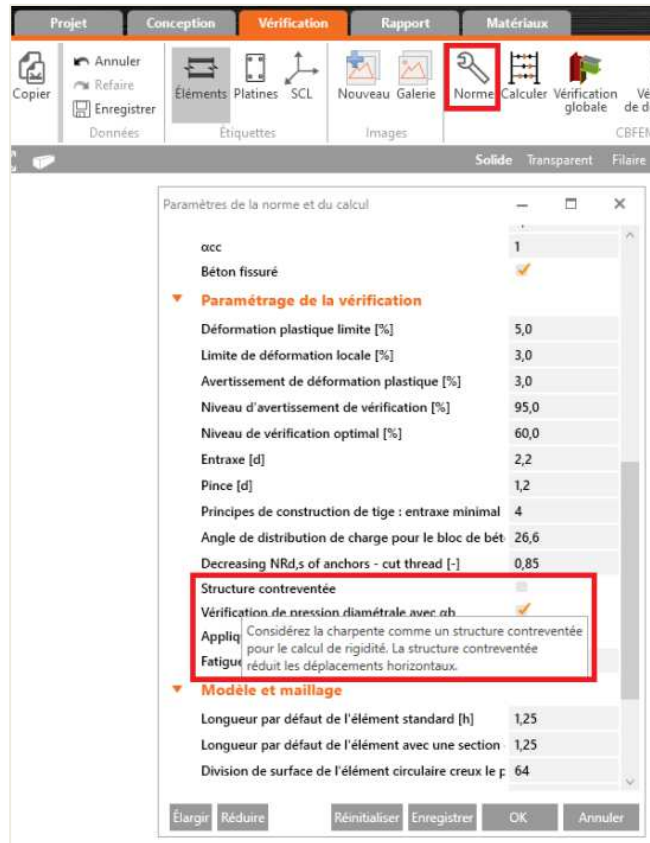
Mais si le moment réel dépasse la valeur de 2/3.M_{j,Rd}, on doit alors utiliser l'autre valeur donnée dans le tableau, à savoir S_{j,s}. Cette valeur de la rigidité en rotation sécante est calculée à partir de l'intersection entre la ligne horizontale qui représente le vrai moment M_{Ed} et la courbe du moment en fonction de la rotation.

Si par contre, le moment M_{Ed} était inférieur à M_{j,Rd}, on aurait pu considérer qu'on restait dans la partie linéaire (c'est-à-dire que la rigidité ne va pas dépendre beaucoup du moment), alors la rigidité initiale aurait pu être prise en compte.

- La valeur φ est la rotation pour le moment appliqué.
- La valeur φ_c est la capacité de rotation maximale de l'assemblage.
- On retrouve la longueur L de la poutre de 6m.

- $S_{j,R}$ est la ligne orange sur le diagramme, c'est la limite entre un assemblage rigide et semi-rigide.
- $S_{j,P}$ est la ligne violette sur le diagramme, c'est la limite entre un assemblage semi-rigide et articulé.

Ces limites d'assemblages dépendent de divers paramètres, dont la longueur de la poutre, mais aussi de la façon dont est contreventée la structure. Ceci est une donnée à cocher ou décocher dans l'onglet « Norme » du menu « Vérification » :



Si la structure est contreventée, il sera plus aisé pour l'assemblage d'être rigide, car les limites s'abaisseront.

Note : On considère notamment qu'une structure est contreventée, ou à « nœuds non déplaçables », si le α critique est supérieur à 10.

Ici, dans cet exemple, S_{jS} est égal à 264,3MN.m/rad. Cette rigidité, à prendre en compte, se trouve au-delà de la limite $S_{j,R}$. L'assemblage est donc considéré comme rigide. L'hypothèse faite au départ, à savoir d'avoir considéré un encastrement total, donc une attache rigide, était donc correcte.

Si l'assemblage avait été considéré comme semi-rigide, il aurait fallu re-calculer le modèle complet dans le logiciel de calcul de structures (SCIA Engineer par exemple), en entrant la rigidité exacte de l'assemblage à travers une rotule.

En réalité, le workflow de travail le plus rigoureux aurait été de commencer par saisir un moment arbitraire dans IDEA, de récupérer ainsi la valeur de la rigidité initiale $S_{j,ini}$, puis de relancer un calcul dans le logiciel d'analyse avec la rigidité exacte, de récupérer le nouveau moment, etc.

IDEA a effectué un exemple de ce processus itératif :

Iteration n°	Value MEd (kNm)	Stiffness value obtained (MNm/rad)
1	Arbitrary	Sj,ini = 8.893
2	33.69	Sj,s = 4.004
3	29.68	Sj,s = 7.125
4	32.79	Sj,s = 4.570
5	30.50	Sj,s = 6.328
6	32.24	Sj,s = 4.945
7	30.96	Sj,s = 5.962
8	31.95	Sj,s = 5.175
9	31.21	Sj,s = 5.763
10	31.78	Sj,s = 5.310
11	31.35	Sj,s = 5.652
12	31.68	Sj,s = 5.390
13	31.43	Sj,s = 5.588
14	31.62	Sj,s = 5.437

Comme on peut le voir, c'est un processus assez laborieux. On note qu'après une dizaine d'itérations, les valeurs de rigidité et de moment sont très proches.

Comme on peut le voir, toutes les valeurs, mêmes les première tournent autour de la valeur finale. Pour éviter toutes ces itérations, IDEA suggère donc de ne faire que deux itérations et de prendre la moyenne de ces deux moments. Par exemple, ici :

$$M_{Ed,moy} = \frac{33,69 + 29,68}{2} = 31,685 \text{ kN.m}$$

On retrouve quasiment le même moment final que par l'ensemble des itérations.

VII. Export SCIA Engineer - IDEA

Il est possible d'exporter un assemblage depuis SCIA Engineer vers IDEA StatiCa à travers l'outil IDEA StatiCa Checkbot. Ce dernier permet de récupérer les nœuds et les barres qui y sont connectées afin de passer dans les outils IDEA StatiCa Connection pour le calcul d'assemblage ou bien IDEA StatiCa Member pour le calcul de la stabilité des barres.

A. Installation du lien

Afin d'installer le lien, il faut simplement:

- Cliquer sur l'onglet BIM dans la page d'accueil d'IDEA StatiCa
- Cliquer sur Activation du lien BIM
- Cliquer sur « installer » à côté du logo de SCIA Engineer

The screenshot shows the IDEA StatiCa software interface. The top navigation bar includes a home icon, tabs for 'ACIER', 'BÉTON', and 'BIM' (which is highlighted with a red box), and a 'Centre d'assistance' link. Below the navigation bar, there are several options: 'Checkbot', 'Activation du lien BIM...' (highlighted with a red box), and 'Ouvrir un projet existant / Import depuis un autre progr...'. On the right side, a list of applications is displayed with their status:

Application	Status
Advance Design	Target application not fo
Axis VM	Target application not fo
ETABS 19	Please install our add-in
ETABS 18	Please install our add-in
RFEM 5	Target application not fo
RSTAB 8	Target application not fo
Robot Structural Analysis	Target application not fo
SAP2000 v23	Please install our add-in
SAP2000 v22	Target application not fo
SCIA Engineer	Installed

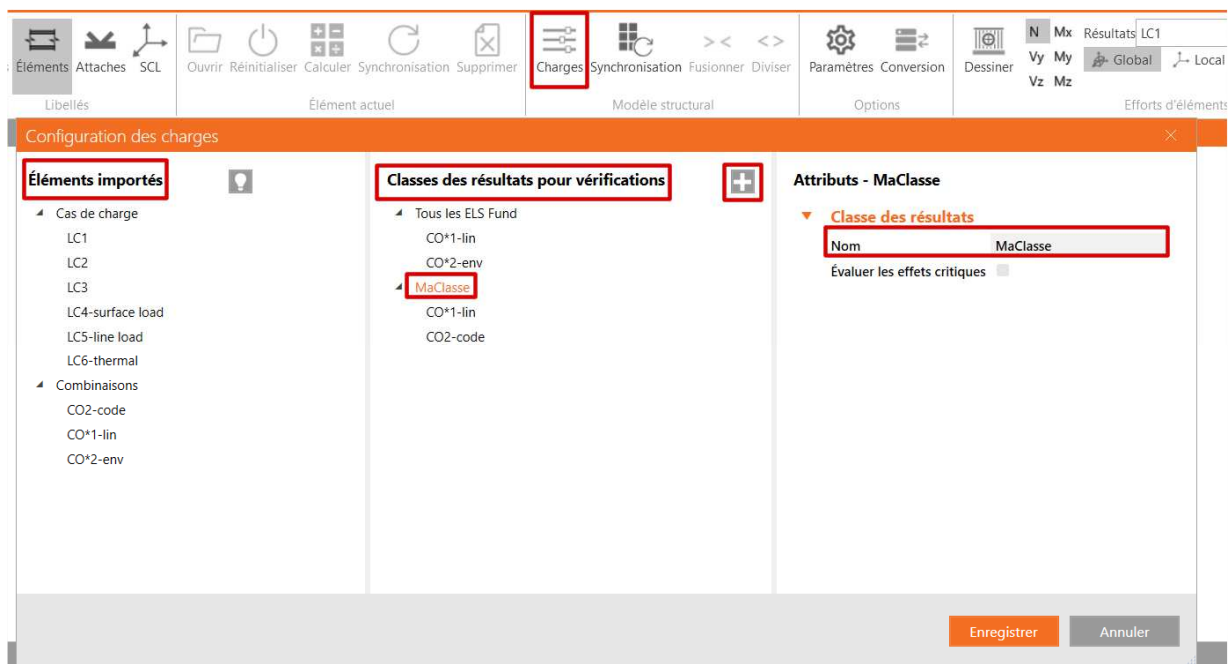
The 'SCIA Engineer' entry is highlighted with a red box, indicating it is the target application for the export process.

2. Il est possible d'importer depuis SCIA des attaches et/ou des éléments :
 - Si un nœud est sélectionné dans SCIA avant de cliquer sur « attaches », seule l'attache correspondante (comprenant le nœud et ses barres associées) sera importée.
 - Si une barre est sélectionnée dans SCIA avant de cliquer sur « élément », la barre sélectionnée sera importée, ainsi que les attaches correspondantes aux nœuds internes de cette barre.
 - Si plusieurs nœuds et/ou plusieurs barres sont sélectionnés, toutes les attaches et les barres associées seront importées quand on clique sur « attaches » ou « élément ».
 - Si rien n'est sélectionné dans SCIA, un message d'erreur s'affiche si on clique sur « attaches » ou « élément » et rien n'est importé.
3. La liste des attaches et des éléments importés est affichée.
4. Menu qui affiche les propriétés de l'attache ou de l'élément sélectionné et qui permet de choisir les charges à prendre en compte et d'ouvrir l'attache ou l'élément dans l'outil correspondant.

A noter que si un export qui a déjà été fait à partir de ce projet, ce dernier est gardé en mémoire et l'utilisateur visualise directement la liste des nœuds et des barres importées.

C. Gestion des charges importées

La gestion des charges importées se fait donc à partir de l'icône charges.

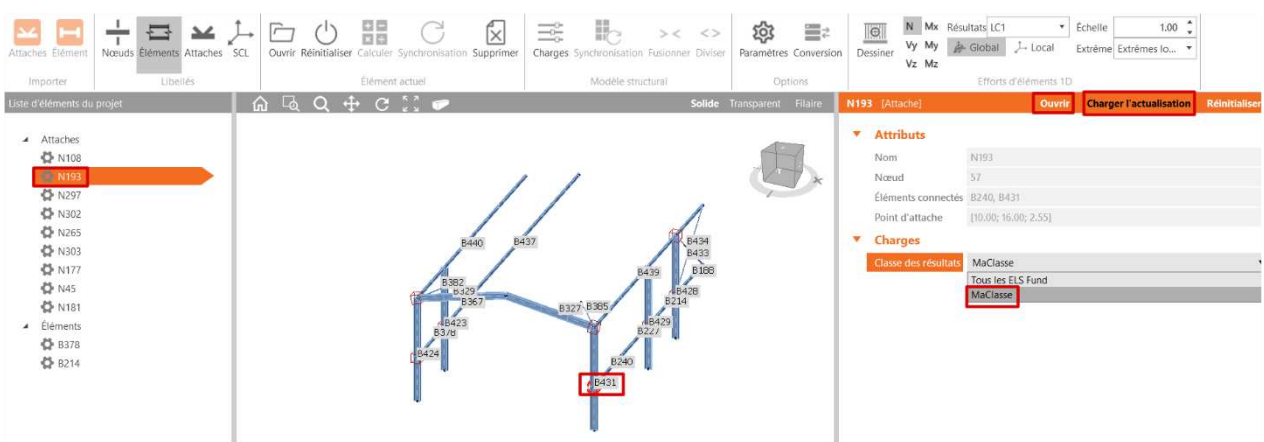


En cliquant dessus une nouvelle fenêtre s'ouvre :

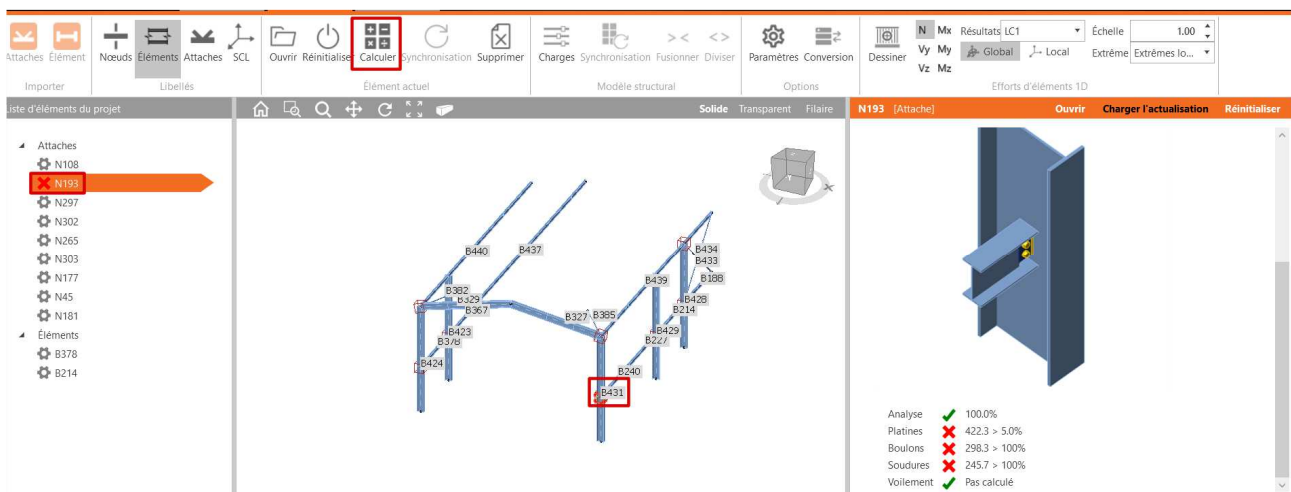
- A gauche, on retrouve les « éléments importés » où sont regroupés les cas de charges ainsi que les combinaisons du projet.
A noter que Checkbot ne crée pas des combinaisons automatiquement selon les normes nationales et n'importe que les combinaisons linéaires ou de type enveloppe avec des coefficients définis. Donc si vous n'avez dans SCIA Engineer que les enveloppes par défaut de l'Eurocode, il faut les éclater en combinaisons linéaires uniques ou en sous-enveloppes que l'on appelle « combinaisons automatiques » pour qu'elles soient visibles dans cette fenêtre.

- Au centre, on retrouve les « classes de résultats pour vérifications » qui regroupent les cas de charges ou combinaisons utilisés pour la vérification.
Une classe est créée par défaut contenant les combinaisons linéaires ou les combinaisons automatiques à l'ELU. Vous pouvez cliquer sur un des cas de charges ou des combinaisons à l'ELS, et faire glisser cet élément en dessous de la classe pour qu'il y soit inclus. Vous pouvez également cliquer sur le bouton avec l'icône « + » plus pour créer votre propre classe, à laquelle vous allez pouvoir rajouter des cas de charges ou des combinaisons en les faisant glisser en dessous.
- A droite, on retrouve les propriétés de la classe sélectionnée.
On peut ainsi changer le nom de la classe, et cocher ou décocher l'option « évaluer les charges critiques ».

D. Ouverture des assemblages dans IDEA StatiCa Connection



- Pour ouvrir une des attaches qui ont déjà été importées, on peut la sélectionner, soit dans la liste des attaches à gauche, soit en cliquant sur le cube entourant le nœud dans l'interface graphique.
- Et dans la fenêtre des propriétés qui est à droite, on peut sélectionner la classe pour laquelle on voudrait contrôler l'attache.
- Si c'est une classe pour laquelle on a rajouté de nouvelles combinaisons, il faut d'abord cliquer sur charger l'actualisation pour prendre en compte ses nouvelles combinaisons.
- Enfin, on peut cliquer sur le bouton « ouvrir » et l'assemblage sera ouvert dans une nouvelle fenêtre dans l'outil IDEA StatiCa Connection. Il pourra être modélisé, calculé et vérifié.



- Une fois que l'assemblage est créé et calculé, on peut voir dans Checkbot si le contrôle est vérifié ou pas. Un petit signe vert est représenté à gauche de l'assemblage s'il est vérifié, et une croix rouge est utilisée dans le cas où le contrôle n'est pas vérifié.
- Si on sélectionne l'attache dans Checkbot, on peut voir dans la fenêtre des propriétés à droite l'assemblage qui a été créé avec le résumé du contrôle en dessous de l'image.
- Il y a également le bouton « Calculer » qui permet de calculer l'assemblage directement dans Checkbot sans devoir l'ouvrir IDEA StatiCa Connection. Ceci permet de gagner du temps si on rajoute par exemple des combinaisons à la classe, on peut tout de suite lancer le calcul depuis cette fenêtre.

E. Information sur IDEA StatiCa Checkbot

Il y a quelques informations importantes à savoir sur l'échange entre SCIA Engineer et IDEA StatiCa à travers Checkbot :

- Le dossier IDEA StatiCa qui contient le projet incluant les attaches et les éléments importés depuis SCIA Engineer, est sauvegardé dans le même dossier où se trouve le fichier SCIA Engineer originale. Les deux projets sont donc toujours liés, sauf si vous copiez votre dossier IDEA StatiCa ou votre fichier SCIA et le placez dans un autre dossier. A ce moment-là, la liaison sera perdue et les deux fichiers seront indépendants.
- L'outil Checkbot utilise le format de fichier SAF, et il est donc limité par ce qui est possible avec ce format-là. Donc pour l'instant, il n'est pas possible d'importer les combinaisons non-linéaires qui ne sont pas disponibles dans le format SAF.