Préconisations pour la modélisation des “SCS” Steel Concrete Structures.

Résumé :

L'objectif de ce document est de fournir des préconisations pour la modélisation des “Steel Concrete Structures”. Ce document aborde la modélisation des voiles, des planchers ainsi que des jonctions entre les différents éléments de structure. Différentes approches sont possibles et le but de ce document n'est pas de se substituer à l'analyse de l'ingénieur mais bien de lui permettre de choisir les options de modélisation tout en l’alertant sur certaines modélisations qui peuvent conduire à des résultats “non réalistes”.
Ce document aborde également les lois de comportement ainsi que le post-traitement.

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

Table des Matières

1 Introduction....3
1.1 Les analyses à mener....3
1.2 Approches linéaires vs non-linéaires....3
1.2.1 Analyses linéaires....4
1.2.2 Analyses linéaires équivalentes....4
1.2.3 Analyses linéaires et non-linéaires avec un code aux éléments finis....4
2 Modélisations des éléments de structure....6
2.1 Hypothèse d’adhérence parfaite....6
2.2 Modélisation des poteaux et poutres....6
2.3 Modélisation des voiles....6
2.4 Modélisation des planchers avec raidisseurs....8
2.5 Excentrement des éléments de plaques....11
3 Lois de comportement....13
3.1 Pour les armatures et les tôles....13
3.2 Pour le béton....13
3.3 Critères ELS et ELU....13
3.4 Choix des comportements en fonction de l'analyse....14
4 Modélisations des conditions aux limites....15
4.1 Blocages & Forces & Pressions....15
4.2 Liaisons....15
4.3 Liaisons excentrées....16
4.3.1 Nécessité de la prise en compte des excentrements....16
4.3.2 Liaisons excentrées dans code_aster....18
4.4 Exemple d’une liaison entre voiles à 90°....20
4.5 Exemple d’une liaison entre voile et plancher....22
5 Post-traitements avec ParaVis....24
5.1 Déplacements....24
5.2 Efforts généralisés....24
5.3 Contraintes & variables internes aux sous-points....25
5.4 Champs aux sous-points vs éléments supports....26
6 Bibliographie....27
7 Annexe....29
7.1 Duplication des mailles....29
7.2 Exemple de liaison entre voile & plancher....30
7.3 Liaison excentrée : cas test zzzz419....31

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

1 Introduction

L’objectif de ce document est de définir les différents éléments nécessaires pour modéliser et étudier le comportement des "Steel Concrete Structure : SCS" lors d’analyses linéaires et non-linéaires, **à l’échelle d’un bâtiment**. De ce fait, **les modélisations mettant en œuvre des approches avec des éléments finis volumiques ne sont pas dans le scope de ce document**.

Ce document présente les points suivants :
- les éléments finis pour modéliser les voiles, les planchers,
- les lois de comportement pour les matériaux acier et béton,
- les préconisations concernant l’utilisation des 2 points précédents, en tenant compte de l’équilibre nécessaire entre la finesse des résultats, le temps d’analyse des résultats, le temps de calcul, le temps d’entrée des données.
- la modélisation des liaisons entre les différents éléments de structure.

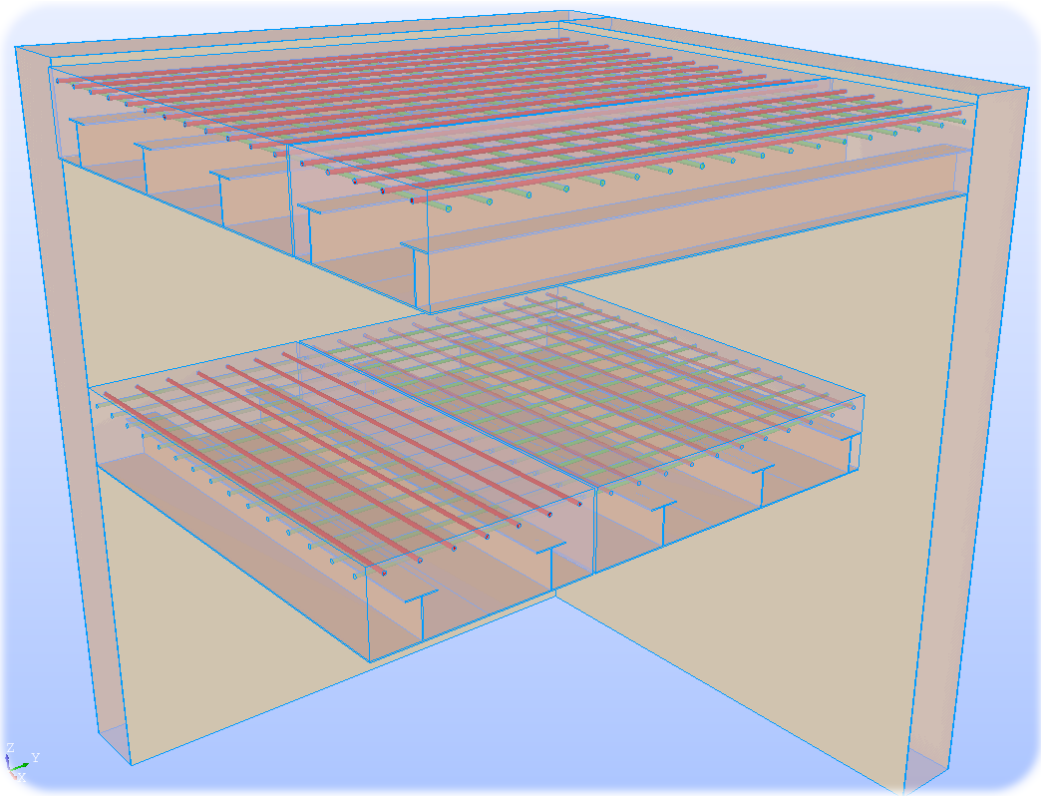


Figure 1-a : Modèle CAO, de la maquette SAM [1] [2] [3].

1.1 Les analyses à mener

Les types d’études et chargements envisagés sont [9] [10] :
- Statique : forces, pressions, déplacements, en tenant compte des effets de la température, de l’hydratation, du séchage, de la corrosion, …
- Dynamique : transitoire et harmonique sur base modale et physique, par réponse spectrale,
- Post-traitement des résultats : `ELS`, `ELU`, contraintes, déformations, efforts généralisés, déplacements, réactions aux appuis, modes de vibration, spectres de plancher, …

1.2 Approches linéaires vs non-linéaires

Un des objectifs des préconisations est de répondre à la fois aux approches linéaires et non-linéaires avec un code aux éléments finis tout en minimisant le temps ingénieur pour passer d’une analyse à l’autre.

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

Pour répondre à cet objectif :
- Le non-linéaire sera uniquement porté par le comportement des matériaux “acier” et/ou “béton”.
- La CAO et le maillage seront communs aux 2 types d’analyses.

Remarque : L’utilisation de comportement non-linéaire nécessite quelques précautions d’usages que l’on trouve dans la documentation “[U2.03.07] : Panorama des outils disponibles pour réaliser des calculs de structure de Génie Civil en béton [14]”.

1.2.1 Analyses linéaires

Lors d’une analyse linéaire tous les matériaux doivent avoir un comportement linéaire quels que soient les chargements imposés.
Par exemple, un béton qui fissure au cours d’un chargement n’a pas un comportement linéaire. Il n’est donc pas possible, dans le cas général, de faire une analyse linéaire lorsque l’on souhaite tenir compte de la fissuration du béton.

Remarque : Les approches réglementaires aux états limites ELS et ELU considèrent que le béton fissuré ne résiste pas en traction, dans ce cas son comportement est donc non-linéaire.

1.2.2 Analyses linéaires équivalentes

Lorsque l’on souhaite tenir compte de la fissuration du béton ou de la plastification des aciers et malgré tout de faire des analyses linéaires, il est possible de réaliser des analyses “linéaires équivalentes”.
Pour mener ce type d’analyse, il est nécessaire de faire des hypothèses sur le comportement des éléments de structure, par exemple sur la façon dont le béton va se fissurer (position de l’axe neutre, ...).

La première phase est de calculer les caractéristiques mécaniques en faisant l’hypothèse d’un comportement “limite” des matériaux (en contraintes et/ou déformations), en utilisant par exemple le diagramme des 3 pivots. A partir de cela, les caractéristiques mécaniques sont calculées.
Cette approche est décrite dans les documents issus du projet Science [12] [11]. Les modélisations proposées sont basées sur une approche de béton armé classique qui est adaptée aux SCS, en prenant en compte la présence des plaques de tôles (pour les voiles et planchers) et des raidisseurs (pour les planchers). Le modélisateur connaissant la géométrie, les matériaux ainsi que leur état limite peut calculer les propriétés homogénéisées (épaisseur, section, inerties, …). Le document D7.9[12] présente la méthodologie à utiliser pour réaliser un calcul d'homogénéisation des caractéristiques mécaniques à partir de la géométrie et des matériaux.

La seconde phase est de renseigner les caractéristiques homogénéisées dans un code de calcul pour ensuite réaliser l’analyse linéaire. Une fois les calculs réalisés, si l'on souhaite connaître les contraintes et déformations, il faudra appliquer la méthodologie présentée au §5 "Conversion of shell results to plate stresses" de D7.9.

Les difficultés de cette approche sont de plusieurs natures :
- Lorsque les sollicitations sont biaxiales et que les éléments présentent des dissymétries, il est nécessaire de déterminer les caractéristiques homogénéisé dans les différentes directions.
- Il est nécessaire de vérifier que les résultats obtenus sont conformes aux hypothèses faites lors de la phase d’homogénéisation et cela pour tous les éléments de structure et pour tous les chargements.
- La phase d’homogénéisation dépend à la fois de la géométrie et des matériaux. Un changement d’épaisseur de tôle, de classe de béton, de section ou de position d’une nappe d’armatures nécessitera de recommencer cette phase d’homogénéisation.

1.2.3 Analyses linéaires et non-linéaires avec un code aux éléments finis

La démarche proposée dans la suite du document, permet de faire des analyses linéaires ou non-linéaires en changeant uniquement le comportement des matériaux.
Les données nécessaires pour mener à bien cette démarche sont identiques à celles du § 1.2.2 . Il est

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

par contre indispensable que les lois de comportement soient aptes à décrire des comportements non-linéaires, par exemple plasticité pour les aciers et fissuration pour le béton (Cf. § 3 sur les lois de comportement).
Dans cette approche :

- Le code de calcul aux éléments finis fait les calculs d’équilibre dans les sections des éléments de structure en fonction de l’évolution des non-linéarités des matériaux.
- Le code de calcul permet l’accès aux grandeurs d’intérêts comme les contraintes, déformations, déplacements, ….
- La position des éléments (tôles, béton, nappes d’armatures) sera portée par le maillage et par les caractéristiques données dans le fichier de commandes.
- Un changement d’épaisseur de tôle, de classe de béton, de section ou de position d’une nappe d’armatures nécessitera de changer les paramètres adéquats dans le fichier de commandes mais sans refaire le maillage.

Remarque : L’utilisation de comportement non-linéaire nécessite quelques précautions d’usages que l’on trouve dans la documentation “ [U2.03.07] : Panorama des outils disponibles pour réaliser des calculs de structure de Génie Civil en béton [14]”.

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

2 Modélisations des éléments de structure

Les éléments finis proposés dans les chapitres suivants, pour la modélisation des SCS permettent de faire les analyses en linéaire et non-linéaire, en statique, en dynamique, en spectral. Ces éléments finis associés aux lois de comportement (Cf. §3) donnent également accès aux efforts généralisés (forces, moments) mais aussi à des informations plus locales comme la répartition des contraintes et déformations, ainsi qu’aux critères ELS et ELU.
L’approche adoptée est d’utiliser les capacités du code à modéliser les différents composants de la structure aussi bien pour des études linéaires et non linéaires. Cela va permettre de garder la même modélisation quel que soit le type d’étude et donc d’éviter de refaire une géométrie, un maillage, une mise en donnée. Le choix entre le linéaire et le non linéaire sera uniquement porté par le type de comportement que l’on affectera aux matériaux.

2.1 Hypothèse d’adhérence parfaite

Une des hypothèses importantes du calcul de béton armé [6] [7] est l’adhérence entre l’acier et le béton. Dans la modélisation des SCS cette hypothèse est également faite. Cela est traduit par le choix des différents éléments finis et leur assemblage qui vont être mis en œuvre lors des études. L’interface entre l’acier et le béton ne sera donc pas modélisée et l’hypothèse d’adhérence sera assurée par la continuité des déformations entre les deux matériaux.

2.2 Modélisation des poteaux et poutres

Les éléments de structure de type poutre et poteau ne sont actuellement pas envisagés en construction SCS. Code_aster permet de modéliser ces éléments. Ce § sera complété si nécessaire.

2.3 Modélisation des voiles

La figure 2.3-b montre une CAO d'un élément de voile SCS, présenté sur la photo 2.3-a.



Figure 2.3-a : Section de voile en SCS (prgm Science).

Pour réaliser des analyses de structures, il est nécessaire de simplifier la modélisation tout en

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

s'assurant de bien respecter le ‘fonctionnement’ du panneau.
Les goujons assurent l'adhérence entre l'acier et le béton. Les tirants empêchent les tôles de s'écarter tout en assurant une adhérence entre l'acier et le béton, ils reprennent également des efforts de cisaillement.

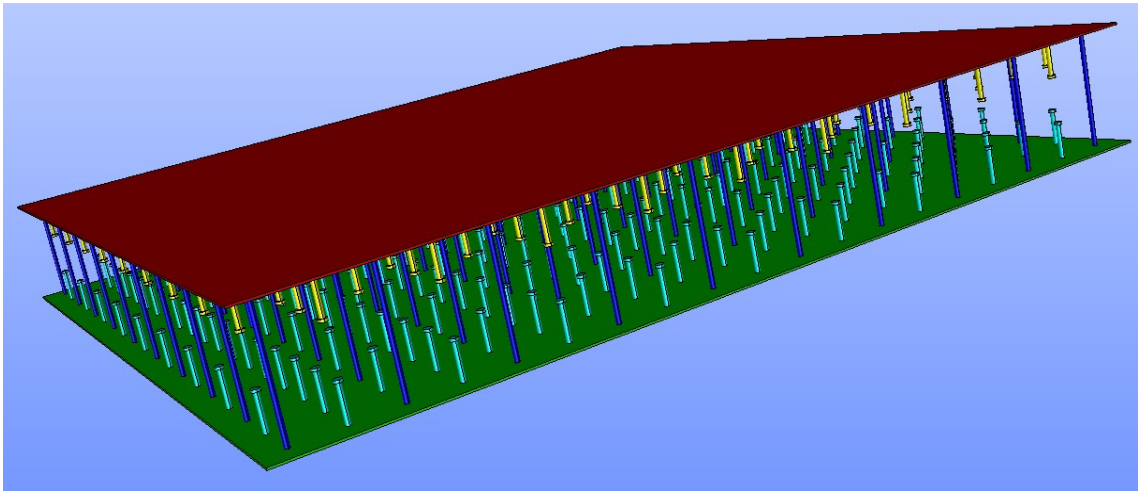


Figure 2.3-b : Géométrie d'un voile en SCS, sous salome_meca.

On remarque également que les deux tôles sont distantes du plan moyen du voile et il est nécessaire de prendre en compte cette distance (notée excentrement dans le reste du document), comme l’on ferait classiquement pour des nappes d’armatures.

Du point de vue d'une approche par éléments finis les modèles de calcul des voiles SCS seront basés sur des éléments de plaques. Les éléments préconisés pour les études avec code_aster sont les DKT. Ce sont des éléments multicouches, avec 3 points d'intégration par couche, qui peuvent rendre compte d’un excentrement. Ce choix est guidé par le fait que ces éléments sont les seuls compatibles, du point de vue cinématique et disponibilité des lois comportement du béton, des plaques d'aciers et des armatures.
De plus la cinématique des éléments de plaques DKT, assure à la fois l'adhérence entre l'acier et le béton ainsi que le non écartement des tôles. Donc, il n’est pas nécessaire de modéliser les goujons ou les tirants, la condition d’adhérence entre les tôles et le béton étant assurée par la cinématique.

Remarque : Quid des éléments de type DST ou COQUE_3D :

- *Pour les éléments DST, la théorie associée à la prise en compte du cisaillement transverse, n’est pas compatibles avec des comportements non-linéaires (documents code_aster U3.12.01, R3.07.03).*
- *Pour les éléments de COQUE_3D, leur cinématique n’est pas compatibles avec les éléments qui vont servir à la modélisation des armatures ou des tôles qui nécessitent la prise en compte d’un excentrement (documents code_aster U3.12.04, U3.12.03).*

L’utilisation de comportement non-linéaire nécessite quelques précautions d’usages que l’on trouve dans la documentation “ [U2.03.07] : Panorama des outils disponibles pour réaliser des calculs de structure de Génie Civil en béton [14] ”.

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

Le maillage de ce type d'élément de structure devient donc très simple, il n’est nécessaire que de mailler sa surface moyenne, figure 2.3-c.

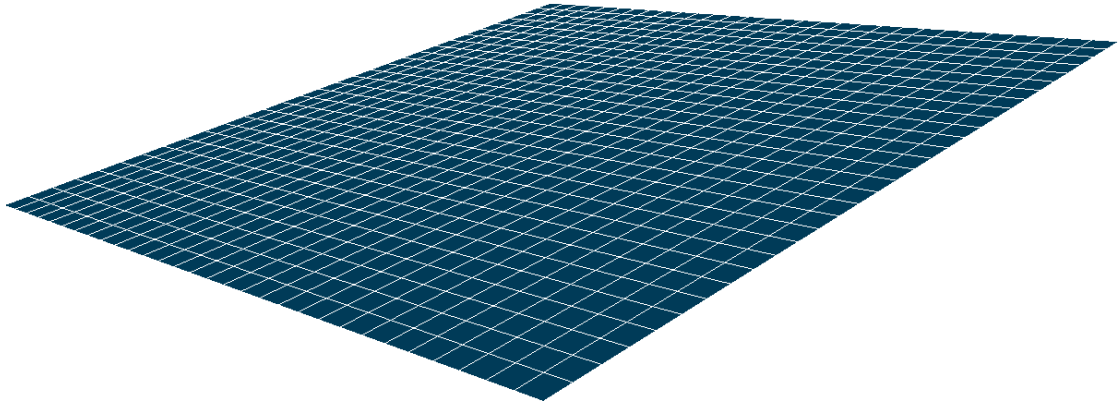


Figure 2.3-c : Maillage de la surface moyenne d'un voile SCS.

Les informations non portées par le maillage (épaisseurs, nombre de couches, position des tôles, nature des matériaux) sont à donner dans le fichier de commandes de code_aster. Si l'utilisateur souhaite modifier une de ces informations, il n'est pas nécessaire de refaire le maillage, il suffit d'intervenir dans la commande AFFE_CARA_ELEM qui regroupe ces informations.
Pour des analyses élastiques linéaires le nombre de couches des éléments modélisant le béton n'a pas d'influence sur les valeurs des contraintes, des déformations ou des efforts généralisés. Par contre, pour des analyses non-linéaires (résistance nulle du béton en traction) le nombre de couche à une influence sur la précision de la position de l'axe neutre et donc sur le calcul des contraintes et des efforts généralisés [16].

Le nombre de couches pour la modélisation du béton peut-être, par exemple, guidé par la taille du granulat et par le fait que la loi de comportement homogénéise localement le comportement du matériau béton. Les DKT possèdent 3 points d'intégrations par couche (document code_aster R3.07.03, §4.9). Le nombre de couches préconisé pour modéliser une épaisseur de béton 'ep' est :

$$N_{couche} = \frac{ep}{(3 * D_{granulat})}$$

Par exemple pour une dalle de 50cm d'épaisseur, avec des granulats de 25mm, cela donne 7 couches.

Le nombre de couche pour la modélisation du béton peut-être, par exemple, guidé par la précision que l’on souhaite avoir sur la position de l’axe neutre dans la section. Dans le cas d’une modélisation avec 7 couches pour une dalle de 50cm, la précision sur sa position est de l’ordre de $0.7\, D_{granulat}$.

Avec la règle énoncée précédemment, les analyses réalisées aux ELU sur un voile et sur un plancher en flexion simple, par rapport à un calcul de béton armé réglementaire (de type BAEL, EUROCODE), présentent un écart qui reste inférieur à 3% sur le maximum de contrainte dans l'acier et dans le béton [25].

Remarque : Lorsque l’on applique progressivement un chargement sur une structure et que des non-linéarité matériaux apparaissent, elles apparaissent également progressivement : le béton se fissure progressivement, les aciers se plastifient progressivement. Ceci implique que l’axe neutre se déplace. La prise en compte de cet effet est nécessaire et est possible avec les éléments DKT multicouches. Par contre, l’utilisation de comportement non-linéaire nécessite quelques précautions d’usages que l’on trouve dans la documentation “[U2.03.07] : Panorama des outils disponibles pour réaliser des calculs de structure de Génie Civil en béton [14]”.

2.4 Modélisation des planchers avec raidisseurs

La figure 2.4-b présente un schéma de principe du plancher présenté à la photo 2.4-a . Le rôle des

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

goujons qui sont soudés sur la tôle inférieure, est d’assurer la liaison entre le béton et la tôle. Comme pour les voiles, les goujons qui assurent l'adhérence entre l'acier et le béton ne seront pas modélisés, la connexion est dite complète.



Figure 2.4-a : Principe d’un plancher SCS, maquette SAM.

La modélisation par éléments finis des planchers sera basée sur des éléments de plaques, comme pour les voiles. Les éléments DKT qui servent à la modélisation de la tôle inférieure et du béton vont assurer la condition d'adhérence parfaite, cf. § 2.5 .

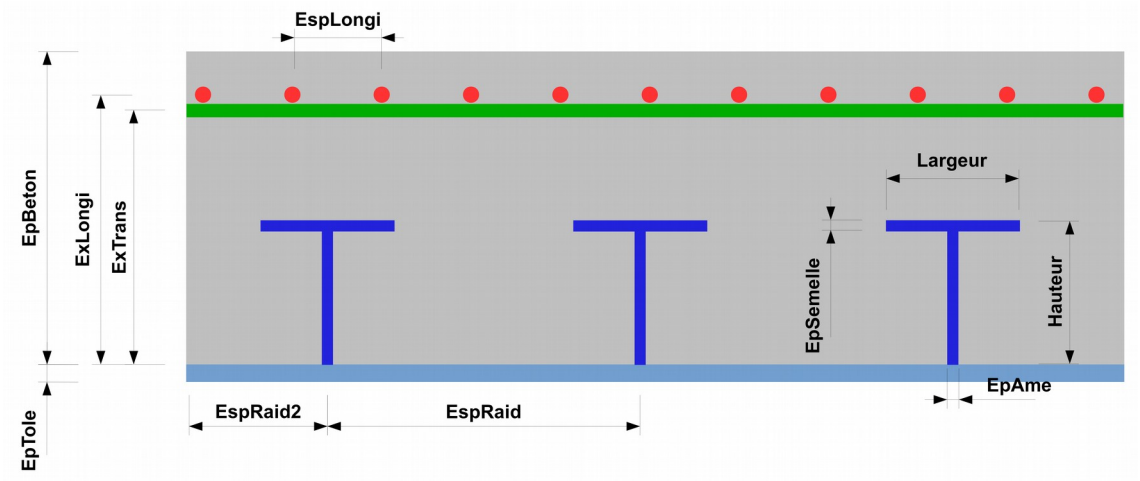


Figure 2.4-b : Schéma de principe d’un plancher avec raidisseur.

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

La figure 2.4-c présente une CAO servant à la réalisation du maillage.

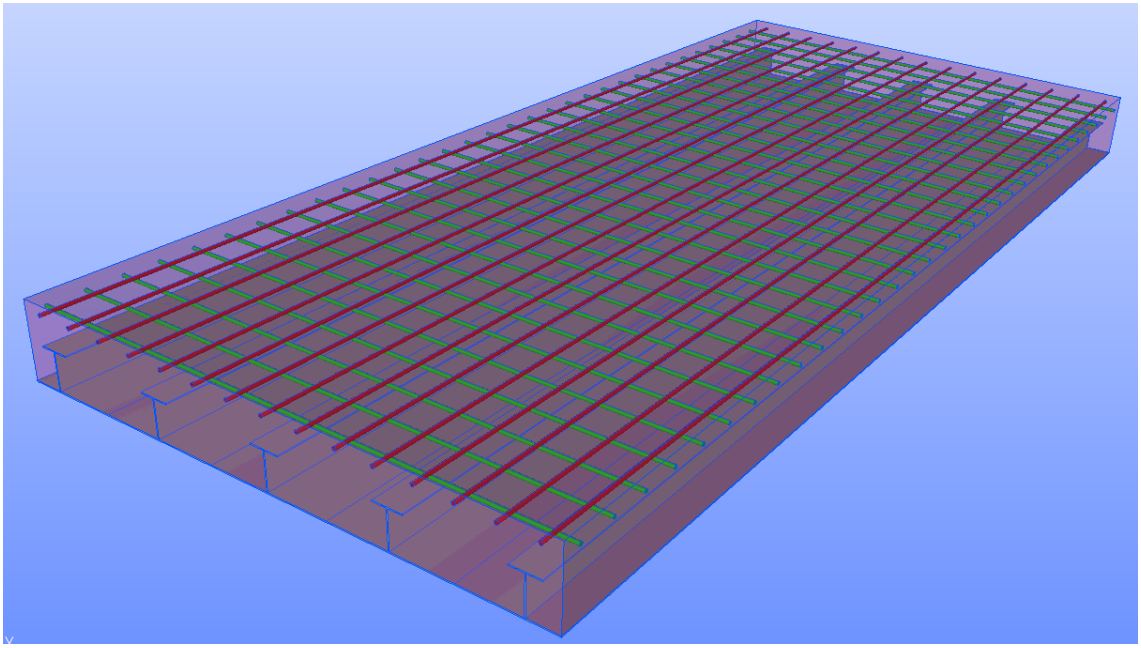


Figure 2.4-c : CAO d’un plancher, réalisée sous salome_meca.

Les nappes d'acier seront modélisées par des éléments de type GRILLE_EXCENTRE, classiquement utilisés pour les études de génie civil. Ce sont des éléments à 1 couche avec un seul point d'intégration dans la couche.

La figure 2.4-d présente la vue du maillage utilisé pour la modélisation d’un plancher avec raidisseur. Pour imposer la même cinématique entre la tôle, le béton et les nappes d'armatures il est nécessaire que les éléments finis partagent les mêmes degrés de liberté. Pour cela les mailles du béton et des nappes seront issus de la duplication des mailles de la tôle (Cf. annexe § 7.1). Cette opération peut-être réalisée soit dans le module Mesh de Salome_Meca, soit dans le fichier de commandes de code_aster. L’excentrement des nappes sera précisé dans le fichier de commandes [18] pour tenir compte de leurs positions.
La conception de ce plancher fait également intervenir des raidisseurs qui sont soudés à la tôle inférieure. Pour avoir une description aussi proche que possible de cette conception, il est nécessaire de prendre en compte cette liaison soudée (Cf §4.2). Deux solutions sont possibles :

- les raidisseurs sont maillés en imposants des conditions de compatibilité de leur maillage avec celui de la tôle.
- les raidisseurs ne seront pas maillés avec un maillage coïncident à celui de la tôle. Dans ce cas la description de cette liaison pourra être faite avec le mot clef LIAISON_MAIL de la commande AFFE_CHAR_MECA[17] U4.44.01.

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

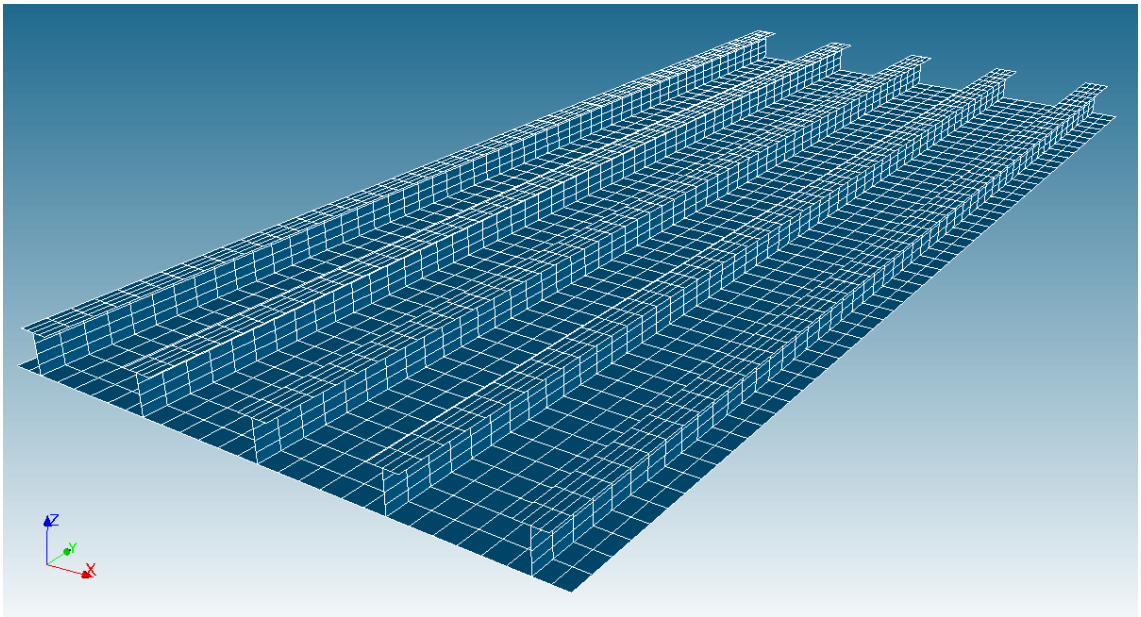


Figure 2.4-d : Maillage du plancher.

Les informations non portées par le maillage (épaisseurs des tôles, du béton, du nombre de couches, de la position des tôles, de la nature des matériaux, ...) sont à donner dans le fichier de commandes de code_aster. Si l'utilisateur souhaite modifier une de ces informations, il n'est pas nécessaire de refaire le maillage, il suffit de modifier les caractéristiques dans la commande AFFE_CARA_ELEM.

2.5 Excentrement des éléments de plaques

Que ce soit pour la modélisation des voiles ou des planchers avec des éléments finis de plaque DKT la prise en compte de la position des composants (armatures, tôles, …) les uns par rapport aux autres est nécessaire. Cette position est définie en donnant l’excentrement par rapport à son maillage surfacique. C’est cette approche qui est utilisée dans code_aster pour modéliser les nappes d’armatures lors d’étude de structure en béton armé (documents code_aster U2.03.07 , U3.12.04). Les éléments finis de plaque DKT (béton, tôle, raidisseur) et les GRILLE_EXCENTRE (armatures) permettent de rendre compte de cet excentrement.

Le principe de mise en œuvre dans code_aster est le même pour les DKT et les GRILLE_EXCENTRE :

- Les supports sont maillés par des éléments surfaciques.
- Il est nécessaire d’orienter la normale à la surface. L’orientation peut-être définie soit lors de la réalisation du maillage, soit dans le fichier de commandes de code_aster. Cette orientation sert à plusieurs choses :
  - lors d’un chargement de pression, il est nécessaire de connaître la normale (documents code_aster [17] U4.44.01).
  - lorsque les éléments ont plusieurs couches, cela sert à connaître le numéro de la couche pour ensuite pouvoir en extraire les résultats (documents code_aster [18] U4.42.01, U2.02.01).
  - définir l’excentrement. Il est positif dans le sens de la normale (documents code_aster [18] U4.42.01, U2.02.01).

Par exemple, pour un voile SCS, si le maillage représente la surface moyenne du voile, une des tôles aura un excentrement positif et l’autre un excentrement négatif. Le béton aura dans ce cas un excentrement nul.

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

Extrait de commandes pour un voile :

```
CarElem =AFFE_CARA_ELEM(
    MODELE=Model,
    COQUE = (
        # Voile : V1
        _F(GROUP_MA=('V1GBeton',), EPAIS= 4.840e-01, COQUE_NCOU=7,),
        _F(GROUP_MA=('V1GTole1',), EPAIS= 8.000e-03, EXCENTREMENT=-2.460e-01,),
        _F(GROUP_MA=('V1GTole2',), EPAIS= 8.000e-03, EXCENTREMENT= 2.460e-01,),
    ),
)
```

Par exemple, pour un plancher SCS, le maillage représente la surface moyenne de la tôle inférieure, donc le béton et les nappes d’armatures auront un excentrement, dont le signe sera défini par l’orientation de la normale.
Extrait de commandes pour un plancher :

```
CarElem =AFFE_CARA_ELEM(
    MODELE=Model,
    COQUE = (
        # Plancher : Pb1
        _F(GROUP_MA=('Pb1GToleBasSurf',), EPAIS= 8.00e-03, VECTEUR=( 0.0, 1.0, 0.0),),
        _F(GROUP_MA=('Pb1GBeton',),       EPAIS= 5.00e-01, VECTEUR=( 0.0, 1.0, 0.0),
           EXCENTREMENT= 2.540e-01, COQUE_NCOU=7,),
    ),
    GRILLE = (
        # Plancher : Pb1, Nappe : Np1. 15ø25 / 3.60m
        _F(GROUP_MA=('Pb1NNp1',), SECTION= 2.0453077172e-03, VECT_1=( 0.0, 1.0, 0.0),
           EXCENTREMENT= 4.4550e-01,),
        # Plancher : Pb1, Nappe : Np2. 32ø25 / 8.00m
        _F(GROUP_MA=('Pb1NNp2',), SECTION= 1.9634954085e-03, VECT_1=( 1.0, 0.0, 0.0),
           EXCENTREMENT= 4.2050e-01,),
    ),
)
```

Pour la définition des éléments excentrés, d’autres choix sont possibles :

- Pour les voiles, si la position du maillage surfacique correspond à une des tôles, l’autre tôle sera excentrée de l’épaisseur du voile et le béton excentré de sa demi-épaisseur.
- Pour les planchers, si la position du maillage correspond au plan moyen du béton, la tôle inférieure sera excentrée ainsi que les nappes d’armatures, avec des signes différents.
- Si la position du maillage ne correspond à aucun plan moyen d’un des éléments, il faudra donc tous les excentrer.

Lors de cette phase, la définition de la normale à la surface maillée est nécessaire pour correctement excentrer les éléments les uns par rapport aux autres.

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

3 Lois de comportement

3.1 Pour les armatures et les tôles

Le comportement pour les aciers est de type élasto-plastique avec écrouissage cinématique linéaire. Ce comportement VMIS_CINE_GC[8] correspond aux préconisations des différents règlements : BAEL91(§A.2.2), EUROCODE2(§3.2, §3.2.7), EUROCODE3(§3.2) et EUROCODE4(§3.2, §3.3).
C'est le même comportement qui est utilisé pour tous les aciers : ferraillage des poutres et poteaux, nappes d'armatures, plaques en acier. Les paramètres de la loi (limite élastique, pente plastique) sont adaptés en fonction des nuances des aciers et de leur utilisation. Pour le post-traitement les critères [19] ELS et ELU sont accessibles en plus des grandeurs classiques (contrainte, déformation).

Les caractéristiques nécessaires sont : le module d'Young 'E', la limite d'élasticité 'SY'.

```
ARMA_GCNL =DEFI_MATER_GC(
    RHO=7800.0, ACIER=_F(E=2.0E+11, SY=400.0E+06,),
)
```

3.2 Pour le béton

Le comportement pour le béton est de type élastique-endommageable en traction et en compression. Le comportement MAZARS_GC[8], disponible dans code_aster, se rapproche des préconisations (ce ne sont pas des obligations) des différents règlements : BAEL91(§A.2.1, §A.4.3.3, §A.4.3.4, §A.4.4.32), EUROCODE2(§3.1, §3.1.5), EUROCODE4(§3.1). La commande DEFI_MATER_GC[9], permet de définir très simplement les paramètres de la loi en fonction de ces deux règlements.
C'est le même comportement qui est utilisé pour toutes les modélisations du béton pour les voiles et les planchers. Pour le post-traitement, les critères ELS et ELU sont accessibles en plus des grandeurs classiques (contrainte, déformation). En modifiant les paramètres de la loi, il est possible de représenter divers comportement du béton aussi bien en traction qu'en compression : élasticité, résistance nulle en traction, parabole rectangle en compression. C'est actuellement, dans code_aster, la seule loi de comportement de béton écrite en contrainte plane pour une utilisation avec des DKT multicouches, ce qui permet de s'affranchir d'un algorithme du type De Borst.

Les caractéristiques nécessaires sont [19] :

- si CODIFICATION='BAEL', la résistance caractéristique en compression FCJ.
- si CODIFICATION='EUROCODE', la classe du béton.
- les unités des contraintes utilisées lors de l'étude.

```
BETO_GCNL =DEFI_MATER_GC(
    RHO=2500.0,
    MAZARS=_F(CODIFICATION='BAEL91',UNITE_CONTRAINTE='Pa',FCJ=50.0E+06),
)
```

Remarque : L'EUROCODE2 permet d'utiliser une modélisation plus simple du comportement du béton (diagramme parabole rectangle ou bilinéaire pour le béton comprimé) mais se pose la question de sa représentativité lorsque la sollicitation n'est plus unidimensionnelle, comme dans les voiles et les planchers. La modélisation du comportement du béton avec la loi MAZARS_GC [8] permet de rendre compte, dans une certaine mesure, de ces sollicitations multi-axiales.

3.3 Critères ELS et ELU

Les lois de comportement définies avec DEFI_MATER_GC [19] intègrent le calcul des critères ELS et ELU. Ces critères sont normés par les valeurs limites issues soit des règlements soit des données fournies par l'utilisateur.
Les variables internes pour les critères ELS et ELU sont respectivement V1 et V2 ou 'CRITSIG', 'CRITEPS'.

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

3.4 Choix des comportements en fonction de l'analyse

En fonction des analyses, il peut être nécessaire de changer le comportement des matériaux. Par exemple, si l'on souhaite réaliser une analyse dynamique sur base modale le comportement des matériaux sera élastique alors que pour une étude dynamique transitoire, si besoin, ils pourront être non-linéaires. La réalisation d'une étude aux états limites ultimes, donc non-linéaire, est très simplement réalisée en changeant le comportement des matériaux.
La loi de comportement de l'acier est basée sur un critère de plastification de type Von Mises, mais cette loi est apte à représenter un comportement élastique.
La loi de comportement du béton est basée sur une loi endommageable. Cette loi peut, en ajustant ces paramètres matériaux, avoir :

- en traction et/ou en compression un comportement élastique
- une résistance résiduelle nulle en traction, correspondant à un béton fissuré.
- en compression, un comportement proche du “parabole-rectangle”.

Remarque : L’utilisation de comportement non-linéaire nécessite quelques précautions d’usages que l’on trouve dans la documentation “[U2.03.07] : Panorama des outils disponibles pour réaliser des calculs de structure de Génie Civil en béton [14]”.

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

4 Modélisations des conditions aux limites

4.1 Blocages & Forces & Pressions

L’application des conditions aux limites de types blocages, forces, pressions se fait de façon classique avec l’opérateur AFFE_CHAR_MECA [17].
Les modélisations font intervenir des éléments de plaques excentrées pour lesquels l’orientation de la la normale à la surface maillée va définir l’excentrement et permettre d’appliquer un éventuel chargement de pression. Il faudra donc veiller à être cohérent, cf. opérateurs AFFE_CHAR_MECA [17], AFFE_CARA_ELEM [18].

4.2 Liaisons

L’excentrement des plaques permet de rendre compte de la disposition des différents éléments (tôles, nappes d’armatures, béton) les uns par rapport aux autres. Cette fonctionnalité permet à code_aster de calculer les caractéristiques homogénéisées des voiles et planchers, aussi bien en linéaire qu‘en non-linéaire.
Un point important dans la modélisation de la structure est de décrire au mieux les liaisons entres les différents éléments de la structure : la liaison entre 2 voiles, la liaison entre un voile et un plancher, … .
Ces liaisons peuvent être décrites de plusieurs façons :

- **Lorsque les maillages sont coïncidents**. Les nœuds ainsi que les arêtes et/ou faces des éléments sont communs. Les degrés de libertés portés par les nœuds doivent être cohérents. Lors de l’assemblage du système d’équations, code_aster tient compte des degrés de libertés portés par les différents nœuds. Le maillage ainsi que l’affectation des modèles éléments finis est suffisant pour la réalisation de cette liaison.
  Par exemple, cette solution peut être utilisée lors de la modélisation d’un plancher pour modéliser la liaison entre les raidisseurs et la tôle inférieure.
  Cette solution impose des contraintes lors de la réalisations des maillages (taille des mailles, ...) qui peut s’avérer difficile à mettre en œuvre.

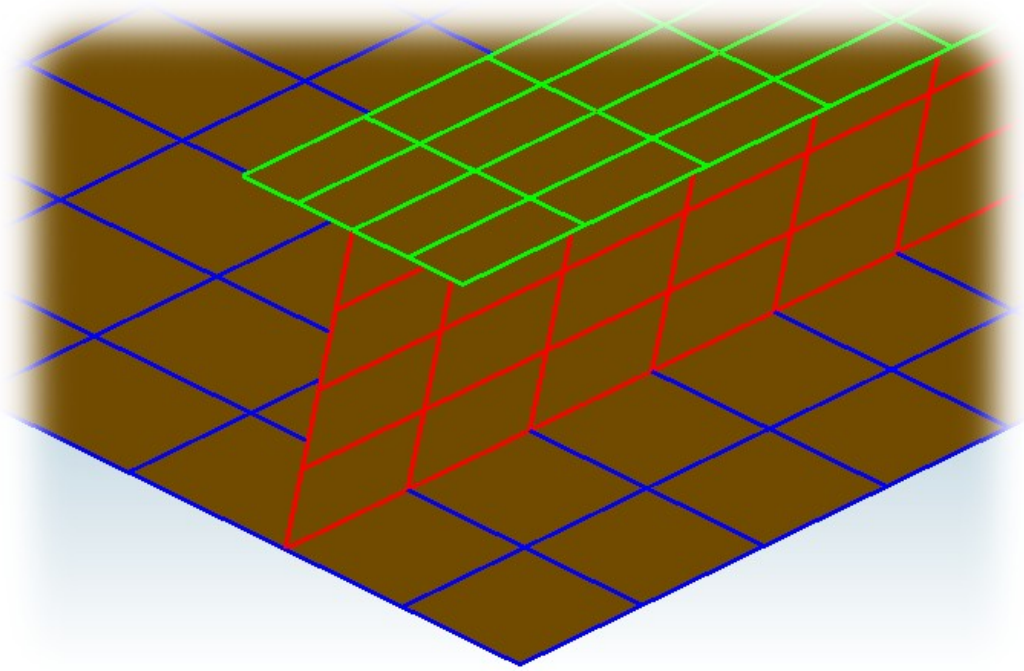


Figure 4.2-a : Maillages coïncidents, raidisseurs de planchers.

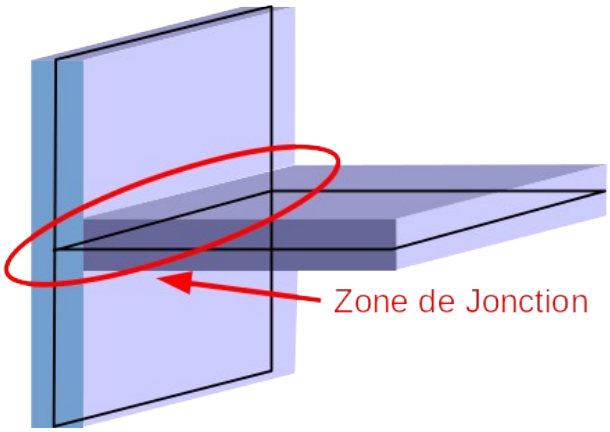
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- **Lorsque les maillages ne sont pas coïncidents**. Dans ce cas, il n’y a ni nœuds, ni arêtes, ni faces en commun entre les éléments que l’on souhaite relier. Il est nécessaire d’utiliser une fonctionnalité de code_aster pour réaliser la liaison entre les maillages. L’opérateur qui permet cette liaison est AFFE_CHAR_MECA [17] avec le mot clef LIAISON_ELEM.
  Extrait de commandes pour la liaison entre 2 éléments :

```
LIAISON_MAIL = (
    #  Plancher : Pb1, Jonction : Voile1
    _F(GROUP_MA_ESCL='PlancherTole',
       GROUP_MA_MAIT='Voile', TYPE_RACCORD='COQUE',),
),
```

  Une particularité de cette liaison, est que les maillages à relier n’ont pas besoin d’être parfaitement en “face” les uns des autres. Mais pour assurer une liaison “réaliste” le raffinement des maillages à liaisonner doit être proche.

  C ette “ façon de faire” n’est pas recommandée :
  - Lorsqu’un élément de structure qui fait partie de la liaison est modélisé à l’aide de plaques excentrées. L’excentrement ne sera pas pris en compte, car il est nécessaire de donner des informations supplémentaires (cf § 4.3 sur les liaisons excentrées).
  - Lorsqu’il existe dans la jonction des éléments “épais” qui sont modélisés par des éléments de plaques. Ce sont les surfaces moyennes qui sont maillées et dans la zone d’intersection des éléments de structure se pose la question de la justification de la modélisation (cf. Annexe § 7.2).



4.3 Liaisons excentrées

Lorsque des éléments utilisent la notion d’excentrement (plaques et grilles à l’aide des éléments finis du type DKT et GRILLE_EXCENTRE) et sont reliés entre eux, il est nécessaire de se poser la question de la modélisation des liaisons. Ce chapitre aborde une façon de décrire “au mieux” les liaisons en tenant compte des excentrements des éléments les uns par rapport aux autres.

4.3.1 Nécessité de la prise en compte des excentrements

La figure 4.3.1-a présente un cas d’étude qui permet de mettre en évidence la nécessité de prendre en compte les excentrements. Ce cas est modélisé avec des DKT sans excentrements qui va servir de référence, et avec des DKT excentrés. Il fait partie de la base de vérification de code_aster [20].

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

La figure 4.3.1-b présente les déplacements et les contraintes obtenues lors d’une analyse élastique avec des DKT sans excentrement, ce cas sera notre solution de référence.

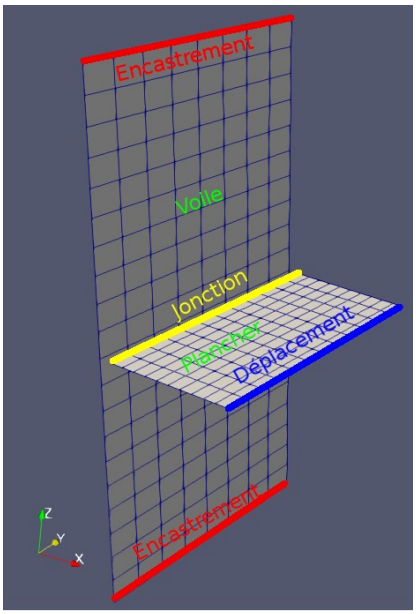


Figure 4.3.1-a : Modèle EF d’une liaison entre voile & plancher.

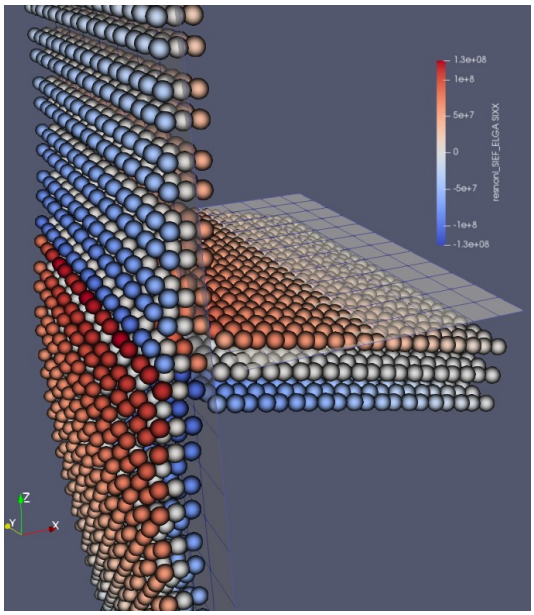


Figure 4.3.1-b : Liaison entre voile & plancher. Solution de référence.

Le principe de la validation est d’utiliser des DKT excentrés : de mailler la plaque horizontale décalée dans la direction “-z” d’une valeur $\delta z = 50\,cm$[1] et ensuite de l’excentrer en renseignant dans le fichier de commandes le mot clef EXCENTREMENT de la commande AFFE_CARA_ELEM d’une valeur de δz dans la direction “+z”. On a donc représenté la plaque horizontale par un maillage décalé de $-\delta z$ que l’on a ensuite excentré d’une valeur δz. Si tout ce passe “bien” la solution de ce problème doit correspondre à la solution du problème de référence qui n’est ni décalé ni excentré.
Les figures 4.3.1-c, 4.3.1-d présentent les résultats (sous 2 points d’observations différents) obtenus sans prendre en compte l’excentrement dans la liaison entre le voile et le plancher. On peut remarquer que les contraintes dans le plancher sont comparables à celles obtenues avec le modèle de référence, figure 4.3.1-b. Par contre les résultats obtenus dans le voile aussi bien pour les contraintes et les déplacements et donc par conséquence pour les efforts généralisés, sont faux.

1 Les 50cm sont de l’ordre de l’épaisseur d’un plancher SCS et proches de l’excentrement des nappes d’armatures.

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

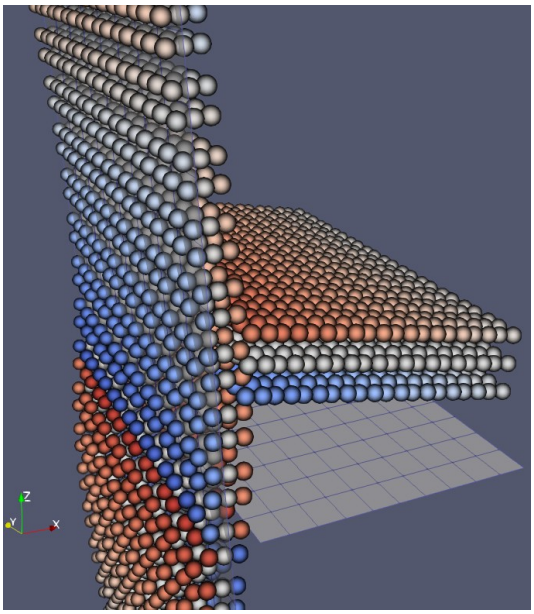


Figure 4.3.1-c : Liaison entre voile & plancher. Solution obtenue sans liaison excentrée (vue 1).

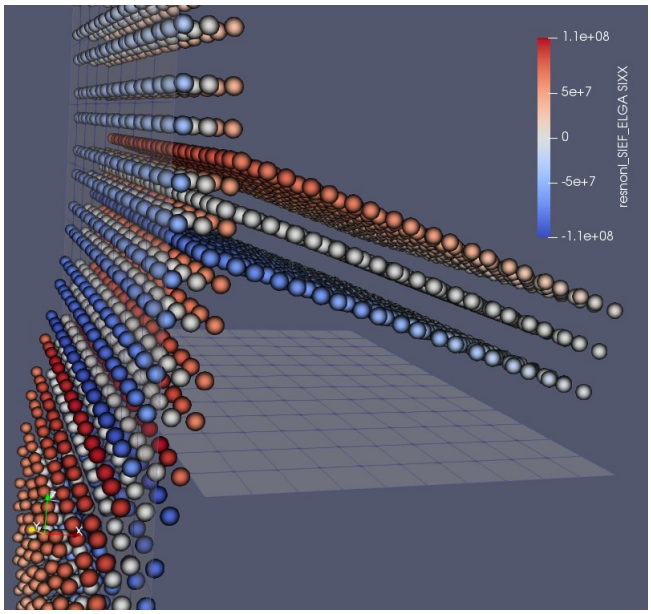


Figure 4.3.1-d : Liaison entre voile & plancher. Solution obtenue sans liaison excentrée (vue 2).

Cette différence vient du fait que les relations décrivant la cinématique de la liaison sont écrites entre les nœuds “non excentrés” du plancher et les mailles du voile qui sont en vis-à-vis. L’excentrement est bien pris en compte dans l’écriture de la cinématique des éléments finis et de leurs équations d’équilibre mais ne modifie en aucun cas la position du maillage support. Cela a pour conséquence que la commande AFFE_CHAR_MECA avec l’option LIAISON_MAIL ne tient pas compte de l’excentrement.

4.3.2 Liaisons excentrées dans code_aster

Lorsque les liaisons concernent des éléments excentrés et que l’on souhaite tenir compte de cet excentrement dans les équations cinématiques de la liaison, il est alors nécessaire de donner à code_aster les informations pour écrire correctement ces équations en tenant compte de la position réelle des éléments les uns par rapport aux autres et non plus seulement à partir du maillage support.
L’opérateur qui permet de tenir compte de l’excentrement des liaisons est toujours AFFE_CHAR_MECA [17] avec le mot clef facteur LIAISON_ELEM , avec en plus la possibilité d’excentrer les GROUP_MA_MAIT et/ou GROUP_MA_ESCL . Cet excentrement est renseigné à l’aide des mots clefs TRANSF_GEOM_MAIT et TRANSF_GEOM_ESCL . Ils fonctionnent et utilisent les mêmes outils que la commande PROJ_CHAMP [21] avec les mots clefs TRANSF_GEOM_1 et TRANSF_GEOM_2 .

Les figures 4.3.2-a et 4.3.2-b permettent de comparer les résultats obtenus avec la solution de référence et ceux obtenus avec la liaison excentrée. Les contraintes, les déplacements ainsi que les efforts généralisés sont identiques. Ce test fait partie de la base de validation de code_aster [20].

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

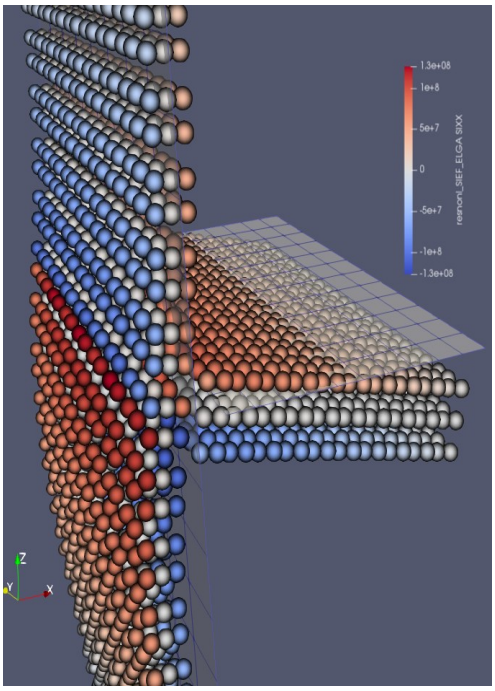


Figure 4.3.2-a : Liaison entre voile & plancher. Solution de référence.

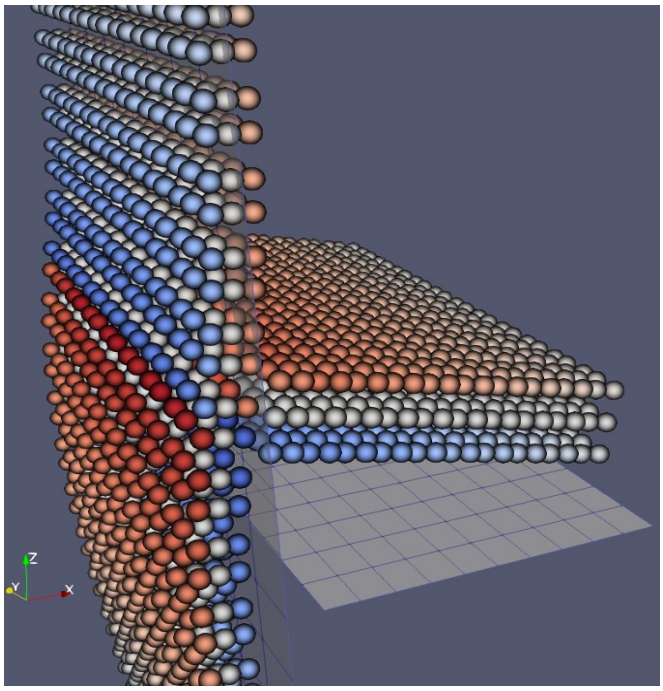


Figure 4.3.2-b : Liaison entre voile & plancher. Solution obtenue avec la liaison excentrée.

Pour cet exemple, la prise en compte de l’excentrement se fait simplement en précisant la transformation temporaire des coordonnées des nœuds esclaves, de la façon suivante :

```
TRANSF_GEOM_ESCL= (TrFxE, TrFyE, TrFzE),
```

Pour plus de détail voir le §7.3 ou le cas test ZZZZ419 [20].

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

4.4 Exemple d’une liaison entre voiles à 90°

La figure 4.4-a présente la CAO d’une jonction entre 2 voiles. Le maillage de la structure sera positionné sur la surface moyenne du voile. Les éléments excentrés seront donc les tôles des voiles.

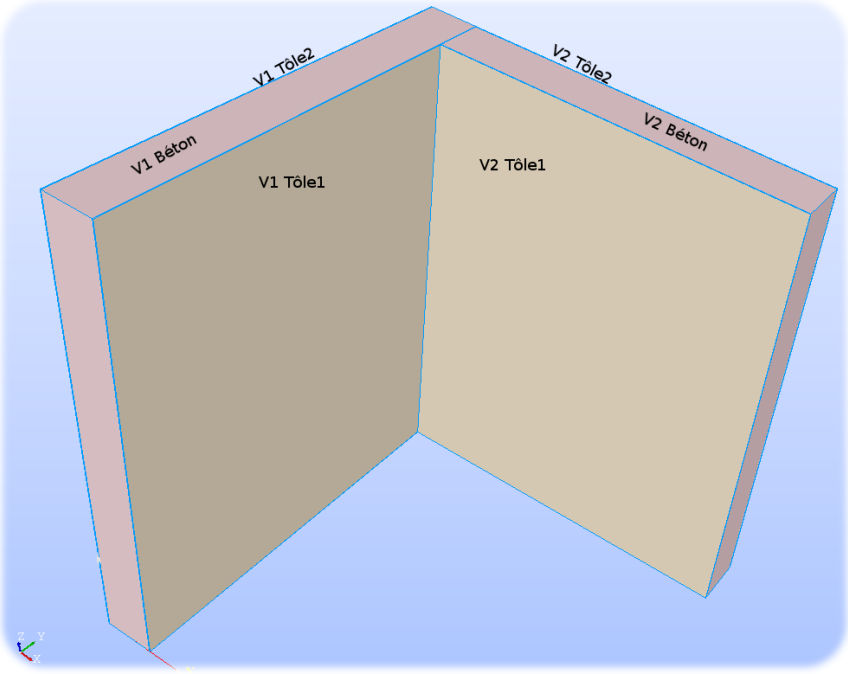


Figure 4.4-a : CAO d’une jonction entre 2 voiles.

L’affectation des caractéristiques (épaisseurs, nombre de couches, excentrement) se fait à l’aide de la commande AFFE_CARA_ELEM [18]. Le signe de l’excentrement pour les tôles des voiles est fonction du sens de la normale. Pour les 2 voiles, la normale est orientée de la tôle1 vers la tôle2. L’excentrement est donc négatif pour la tôle1 et positif pour la tôle2.

```
CarElem =AFFE_CARA_ELEM( . . .,
    COQUE = (
        # Voile : V1
        _F(GROUP_MA=('V1GBeton',), EPAIS= 4.840e-01, VECTEUR=( 0.0, 0.0, 1.0),
           COQUE_NCOU=7, INER_ROTA='OUI',),
        _F(GROUP_MA=('V1GTole1',), EPAIS= 8.000e-03, VECTEUR=( 0.0, 0.0, 1.0),
           EXCENTREMENT=-2.460e-01, INER_ROTA='OUI',),
        _F(GROUP_MA=('V1GTole2',), EPAIS= 8.000e-03, VECTEUR=( 0.0, 0.0, 1.0),
           EXCENTREMENT= 2.460e-01, INER_ROTA='OUI',),
        # Voile : V2
        _F(GROUP_MA=('V2GBeton',), EPAIS= 4.840e-01, VECTEUR=( 0.0, 0.0, 1.0),
           COQUE_NCOU=7, INER_ROTA='OUI',),
        _F(GROUP_MA=('V2GTole1',), EPAIS= 8.000e-03, VECTEUR=( 0.0, 0.0, 1.0),
           EXCENTREMENT=-2.460e-01, INER_ROTA='OUI',),
        _F(GROUP_MA=('V2GTole2',), EPAIS= 8.000e-03, VECTEUR=( 0.0, 0.0, 1.0),
           EXCENTREMENT= 2.460e-01, INER_ROTA='OUI',),
    ),
)
```

La définition de la liaison entre les voiles V1 et V2, peut tenir compte ou pas de l’excentrement des éléments. Ce choix est à faire lors de l’utilisation de LIAISON_MAIL de la commande AFFE_CHAR_MECA [17] et reste à l’appréciation du modélisateur.

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

Ci-dessous un extrait de commande, qui définit la liaison entre les 2 voiles sans tenir compte de l’excentrement.

```
CLIM 1 = AFFE_CHAR_MECA( . . .,
    LIAISON_MAIL = (
        # Voile : V2, Jonction Jct1 de Bord3 avec V1
        _F(GROUP_MA_ESCL='V2GBord3', GROUP_MA_MAIT='V1GBeton', TYPE_RACCORD='COQUE',
           DISTANCE_ALARME= 2.750e-01, DISTANCE_MAX= 2.750e-01,),
    ),
)
```

Ci-dessous un extrait de commande, qui définit la liaison entre les 2 voiles en tenant compte de l’excentrement des tôles. Cet excentrement est pris en compte dans les équations cinématiques qui décrivent la liaison à l’aide des mots clefs TRANSF_GEOM_MAIT et TRANSF_GEOM_ESCL.

```
CLIM 2 = AFFE_CHAR_MECA( . . .,
    LIAISON_MAIL = (
        # Voile : V2, Jonction Jct1 : Liaison de Bord3 avec V1 Tole1
        _F(GROUP_MA_ESCL='V2GTole1Bord3', GROUP_MA_MAIT='V1GTole1', TYPE_RACCORD='COQUE',
           TRANSF_GEOM_ESCL=(FV2GTole1DX,FV2GTole1DY,FV2GTole1DZ),
           TRANSF_GEOM_MAIT=(FV1GTole1DX,FV1GTole1DY,FV1GTole1DZ),
           DISTANCE_ALARME= 1.50e-02, DISTANCE_MAX= 1.50e-02,),
        _F(GROUP_MA_ESCL='V2GTole2Bord3', GROUP_MA_MAIT='V1GTole1', TYPE_RACCORD='COQUE',
           TRANSF_GEOM_ESCL=(FV2GTole2DX,FV2GTole2DY,FV2GTole2DZ),
           TRANSF_GEOM_MAIT=(FV1GTole1DX,FV1GTole1DY,FV1GTole1DZ),
           DISTANCE_ALARME= 1.50e-02, DISTANCE_MAX= 1.50e-02,),
    ),
)
```

Que l’on décrive la liaison avec ou sans les excentrement cela n’a pas d’impact sur le maillage. La figure 4.4-b présente le maillage des 2 voiles. Les éléments de plaques sont situés sur le plan moyen des voiles et ne sont donc pas coïncident. Bien que la liaison CLIM1 ne tient pas compte de l’excentrement des tôles, elle tient compte de la position relative des plans moyens des 2 voiles.

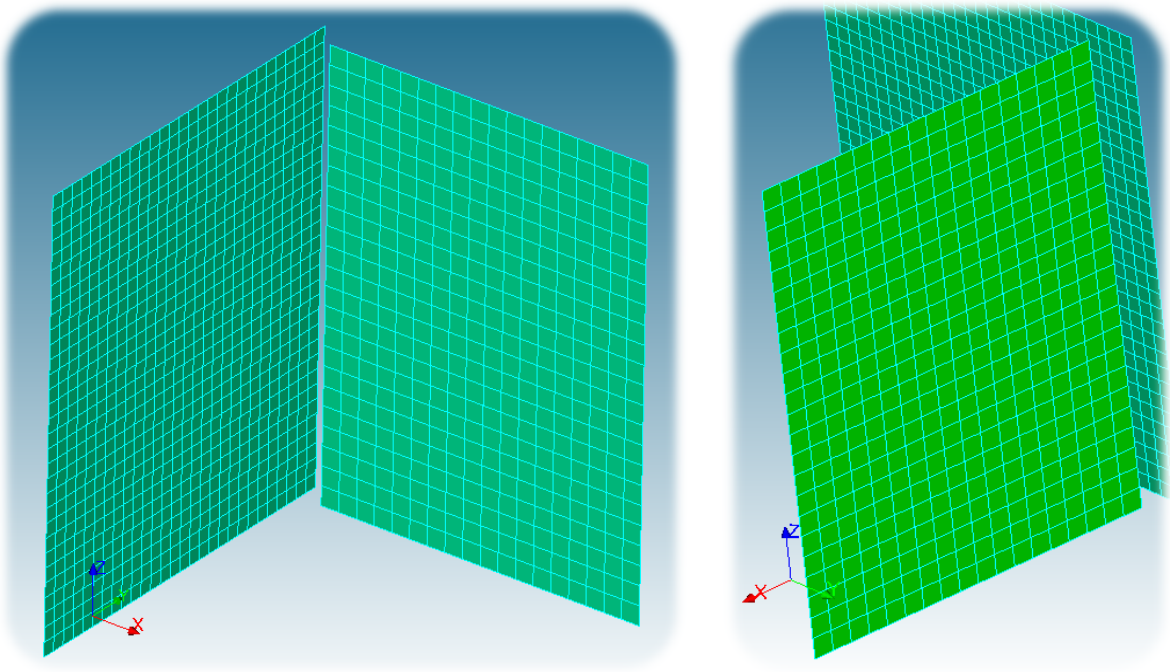


Figure 4.4-b : Maillage de la jonction entre 2 voiles à 90°.

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

4.5 Exemple d’une liaison entre voile et plancher

La figure 4.5-a présente la CAO d’une jonction entre un plancher et un voile.
Les éléments excentrés sont :

- Pour le voile :
  - Les 2 tôles. Excentrement de la 1/2 épaisseur du béton. Le plancher est lié à une des tôles, mais les goujons et tirants (non représentés) assurent la continuité des efforts. Du fait de la construction du voile (dédoublement des mailles, mais pas des nœuds) faire la liaison entre le béton ou une des 2 tôles conduit aux mêmes résultats, à conditions de donner l’excentrement adéquat.
- Pour le plancher :
  - Le béton est excentré de sa 1/2 épaisseur.
  - Les nappes d’armatures sont excentrées.

La liaison entre le voile et le plancher sera constituée de 2 LIAISON_MAIL :

- la première, entre la tôle du voile qui est excentrée, avec :
  - la tôle inférieure du plancher qui n’est pas excentrée,
  - les raidisseurs du plancher qui ne sont pas excentrés.
- la seconde, entre la tôle du voile qui est excentrée et une des nappes d’armature qui est également excentrée.

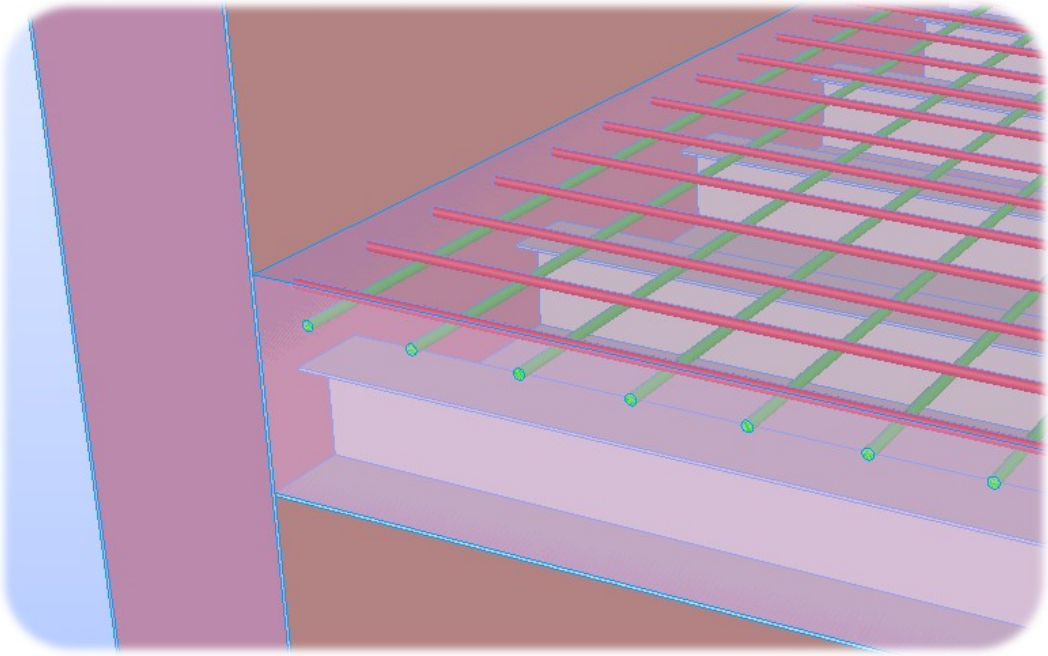


Figure 4.5-a : CAO d’une jonction entre un voile et un plancher.

Les lignes de commandes présentées ci-dessous, permettent de rendre compte de la jonction entre un voile et un plancher présentée à la figure 4.5-a.

```
CLIM =AFFE_CHAR_MECA( . . . .
    LIAISON_MAIL = (
        #  Plancher : Pb1, Jonction : Voile1
        _F(GROUP_MA_ESCL=('Pb1GRaidBord1', 'Pb1GToleBasBord1',),
           GROUP_MA_MAIT='V1GTole2', TYPE_RACCORD='COQUE',
           TRANSF_GEOM_MAIT=(FV1GTole2DX,FV1GTole2DY,FV1GTole2DZ),
           DISTANCE_ALARME= 1.50e-01, DISTANCE_MAX= 1.50e-01,),
        _F(GROUP_MA_ESCL='Pb1NNp1Bord1', GROUP_MA_MAIT='V1GTole2',
           TYPE_RACCORD='COQUE',
           TRANSF_GEOM_MAIT=(FV1GTole2DX,FV1GTole2DY,FV1GTole2DZ),
           TRANSF_GEOM_ESCL=(FPb1NNp1DX,FPb1NNp1DY,FPb1NNp1DZ),
           DISTANCE_ALARME= 1.50e-01, DISTANCE_MAX= 1.50e-01,),
    ),
)
```


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

Avec :

- 'V1GTole2' : une des tôle s du voile.
- 'Pb1GRaidBord1' , 'Pb1GToleBasBord1' : le bord des raidisseurs et le bord de la tôle inférieure du plancher.
- 'Pb1NNp1Bord1' : le bord de la nappe d’armature.
- FV1GTole2DX , FV1GTole2DY , FV1GTole2DZ : les fonctions qui décrivent l’excentrement de la tôle du voile. Les valeurs sont celles qui sont données dans l’opérateur AFFE_CARA_ELEM [18] avec le mot clef EXCENTREMENT pour les tôles du voile.
- FPb1NNp1DX , FPb1NNp1DY , FPb1NNp1DZ : les fonctions qui décrivent l’excentrement de la nappe d’armature. Les valeurs sont celles qui sont données dans l’opérateur AFFE_CARA_ELEM [18] sous le mot clef EXCENTREMENT pour les grilles d’armatures.

La figure 4.5-b présente le maillage correspondant à la CAO de la figure 4.5-a. La 1/2 épaisseur du voile est pris en compte dans l’écriture des liaisons excentrées.

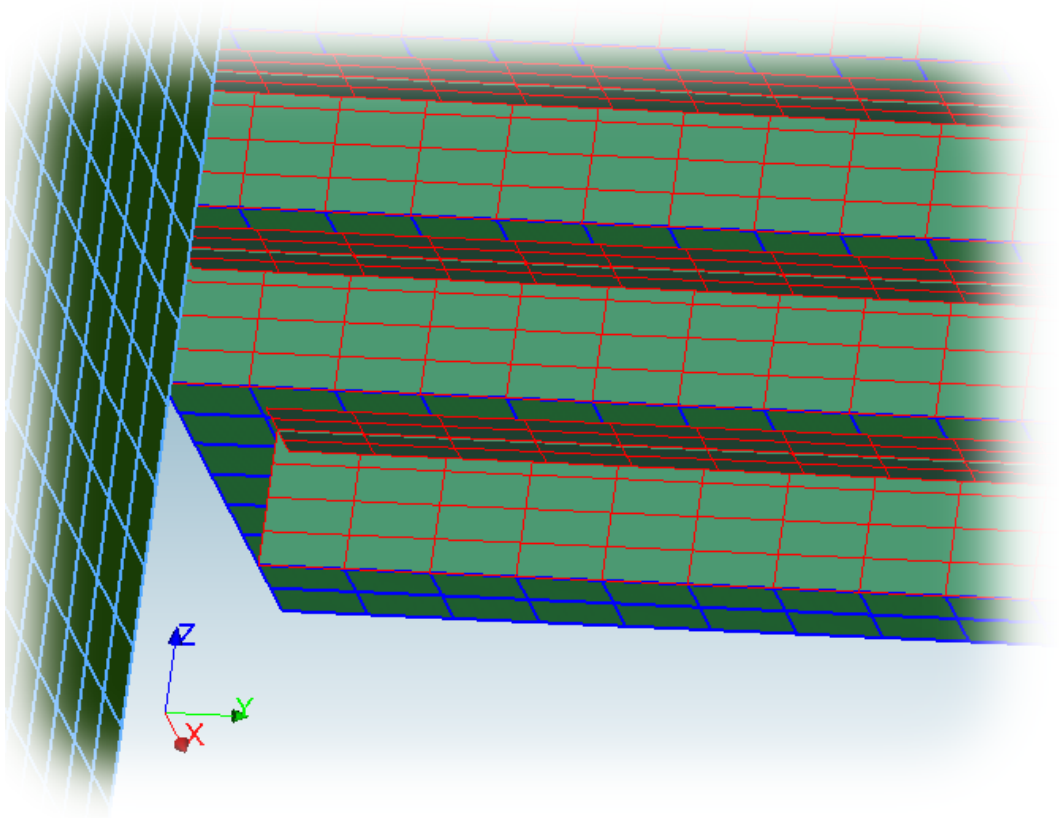


Figure 4.5-b : Maillage de la jonction entre le voile et le plancher, correspondant à la CAO présenté à la figure 4.5-a.

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

5 Post-traitements avec ParaVis

Dans ce chapitre, on aborde quelques spécificités liées à la visualisation des champs à sous-points à l'aide de ParaVis. Il est toujours possible d'écrire les résultats sous forme de texte libre ou sous forme de table à l'aide de la commande IMPR_RESU au format résultat ou avec le couple de commandes CREA_TABLE, IMPR_TABLE.

5.1 Déplacements

Le post-traitement des déplacements ne nécessite pas de calcul spécifique. La sortie au format MED est réalisée à l'aide de la commande IMPR_RESU.
Les éléments finis abordés dans ce document pour la modélisation sont des DKT et des GRILLE_EXCENTRE. Ces éléments possèdent les degrés de liberté :

- de translation : DX, DY, DZ.
- de rotation : DRX, DRY, DRZ.

Pour faciliter la visualisation du maillage déformé sous ParaVis (filtre Warp By Vector), il est plus aisé de préciser uniquement les degrés de liberté de déplacements, lors de la création du fichier :

```
IMPR_RESU(FORMAT='MED',
    RESU=_F(RESULTAT=Rstnl, NOM_CHAM =('DEPL',),NOM_CMP=('DX','DY','DZ'),),
)
```

5.2 Efforts généralisés

Le post-traitement des efforts généralisés pour les DKT nécessite un calcul spécifique. La commande CALC_CHAMP permet de calculer les champs EFGE_ELGA, EFGE_ELNO qui ont les composantes suivantes : NXX, NYY, NXY, MXX, MYY, MXY, QX, QY.
La sortie au format MED est ensuite réalisée à l'aide de la commande IMPR_RESU.

```
Rstnl=CALC_CHAMP(reuse=Rstnl,
    RESULTAT=Rstnl, CARA_ELEM=CarElem, TOUT='OUI',
    CONTRAINTE=('EFGE_ELNO',),
)
IMPR_RESU(FORMAT='MED',
    RESU=_F(RESULTAT=Rstnl, NOM_CHAM =('EFGE_ELNO',),
            GROUP_MA=LeGroupeDeMaille,),
)
```

Remarque : Les éléments GRILLE_EXCENTRE n'ont actuellement pas d'efforts généralisés.

Remarque : Il n'est pas conseillé de faire un calcul des efforts généralisés aux nœuds EFGE_NOEU. Les repères locaux des éléments connectés à un même nœud ne sont pas “forcément” orientés de façon identique, dans ce cas le message d'alarme suivant est émis.

```
<A> <UTILITAI_4>

 Vous avez demandé le calcul d'un champ aux noeuds sur des éléments
 de structure. Mais les repères locaux de certaines mailles entourant
 des noeuds sur lesquels vous avez demandés le calcul ne sont pas
 compatibles (Au maximum, on a 90.0456 degrés d'écart entre les angles
 nautiques définissant ces repères).

 Risque & Conseil :
   Il se peut que vous obteniez des résultats incohérents.
   Il est donc recommandé de passer en repère global les champs
   utiles au calcul du champ aux noeuds.


 Ceci est une alarme. Si vous ne comprenez pas le sens de cette
 alarme, vous pouvez obtenir des résultats inattendus !
```

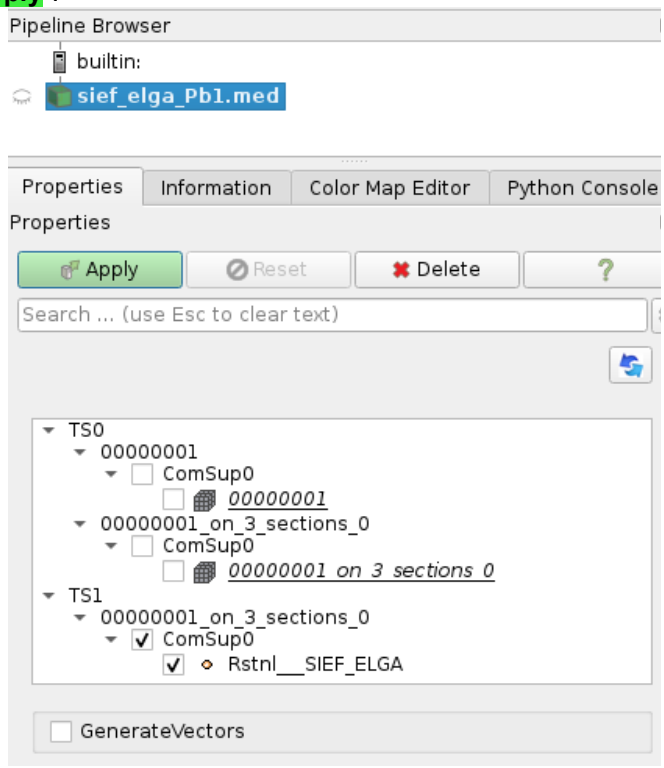

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5.3 Contraintes & variables internes aux sous-points

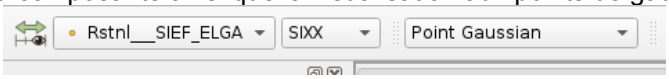
Le post-traitement des contraintes ou des variables internes ne nécessite pas de calcul spécifique. La sortie au format MED est réalisée à l'aide de la commande IMPR_RESU. Par contre les éléments utilisés sont des éléments à sous-points, il est donc nécessaire lors de l'impression de préciser le concept issu de la commande AFFE_CARA_ELEM.

```
IMPR_RESU(FORMAT='MED',
          RESU=_F(RESULTAT=Rstnl, CARA_ELEM=CarElem,
                  GROUP_MA = ( 'Pb2GToleBasSurf' , 'Pb2GBeton' , 'Pb2NNp1' , 'Pb2NNp2' , ) ,
                  NOM_CHAM =('SIEF_ELGA',),
                  NOM_CMP =('SIXX','SIYY','SIXY',), ),
)
```

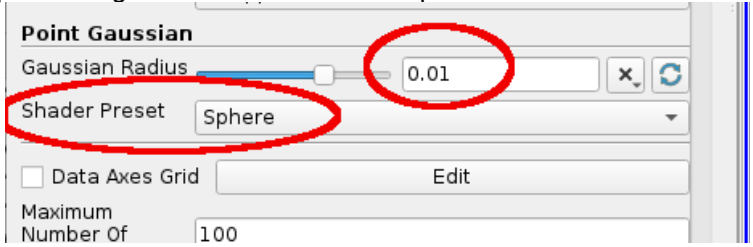
Pour la visualisation avec ParaVis de ce champ (qui est aux sous-points), il faut choisir le champ et valider le choix par “**Apply**”.



Ensuite, il faut choisir la composante ainsi que la visualisation aux points de gauss



Il peut-être également nécessaire de modifier la taille des “sphères” pour la visualisation du champ. Cette taille doit être donnée dans l'unité du maillage. Dans l'exemple, figure 5.3-a, le maillage est en mètre, la taille des points de gauss est de 0.01m. La représentation est faite avec des sphères.



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

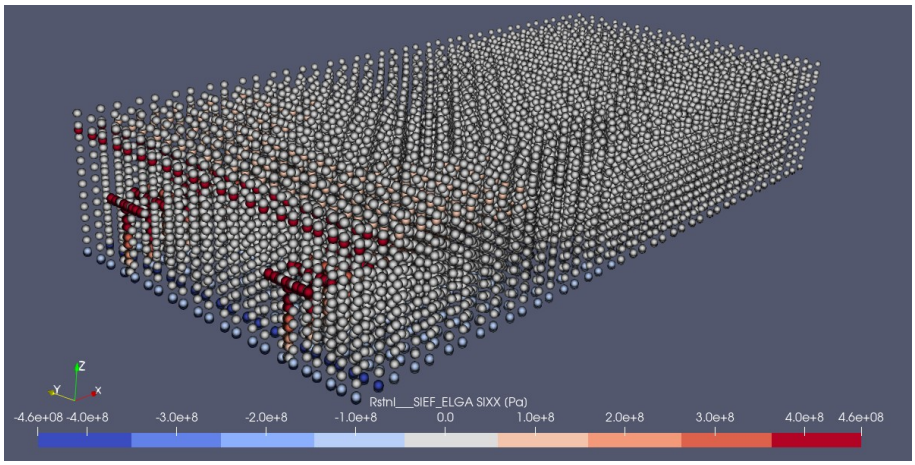


Figure 5.3-a : Visualisation aux sous-points, de la composante SIXX de la contrainte.

5.4 Champs aux sous-points vs éléments supports

La visualisation des champs aux sous-points (SIEF_ELGA, VARI_ELGA, ...) peut être assez difficile, du fait de la représentation avec des “sphères” et de leur nombre important.
Code_aster permet d’extraire des composantes des champs aux sous-points, et de les affecter sur les éléments supports (triangles, quadrangles).

La commande POST_CHAMP avec le mot clef facteur MIN_MAX_SP (SP pour sous-points) permet de faire cette extraction. Plusieurs options sont possibles : ‘MAXI’ , ‘MINI’ , ‘MAX_ABS’ , ‘MINI_ABS’ .
Il est également possible d’extraire avec cette commande et le mot clef facteur EXTR_COQUE un champ avec toutes ces composantes pour une couche particulière.

```
MaxVari =POST_CHAMP(
    RESULTAT=Rstnl, GROUP_MA=ListeDesGroupesDeMailles,
    MIN_MAX_SP = (
        _F(NOM_CHAM='VARI_ELGA',NOM_CMP=('V1',),TYPE_MAXI='MAXI_ABS',NUME_CHAM_RESU=1),
        _F(NOM_CHAM='VARI_ELGA',NOM_CMP=('V2',),TYPE_MAXI='MAXI_ABS',NUME_CHAM_RESU=2),
    ),
)
IMPR_RESU(FORMAT='MED',
    RESU=_F(RESULTAT=MaxVari, IMPR_NOM_VARI='NON',
            GROUP_MA=ListeDesGroupesDeMailles,
            NOM_CHAM=('UT01_ELGA','UT02_ELGA',),NOM_CMP =('VAL',),),
)
```

La figure 5.4-a , présente la visualisation du champ après l’utilisation de la commande POST_CHAMP .

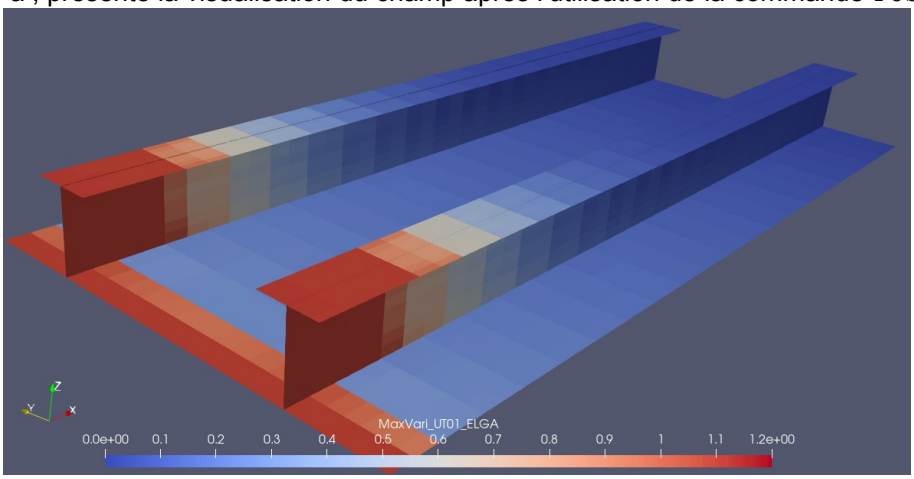


Figure 5.4-a : Représentation d’une composante d’un champ aux sous-points, içi VARI_ELGA, sur les éléments supports.

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

6 Bibliographie

[1] D305918007339
P414-Design of steel concrete composite (SC) structures-revised

[2] CQN3725NWD004 BPE_B
Maquette 3D TEGG en steel concrete

[3] CQN3725PDP035 BPE_B
Plan d'exécution de la maquette TEGG en steel concrete

[4] D305918002232[A]
Commandite de la maquette SAM

[5] D305918014091[A]
SCIENCE Project Diesel Ultime Secours - Steel Concrete Structure : Results of the New Calculation in accordance with the SC Design Guide

[6] Eurocode 2 - Calcul des structures en béton
Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments

[7] BAEL 83

[8] Code_aster
https://www.code-aster.org

[9] 6125-1715-2018-03864-FR
Projet R&D NID, livrable 7-2 : Recommandations pour la modélisation de modules SCS par un code aux éléments finis.
Jean-Luc Fléjou

[10] 6125-1723-2019-02944-FR
Projet R&D NID, livrable 7-2.2 : Steel Concrete Steel – Validation des modèles numériques à l'aide de la maquette SAM.
Jean-Luc Fléjou

[11] D305917010338 [A]
Synthèse du projet Science 2013-2017

[12] Science - Work Package 7, Deliverable D7.9
Effective properties for use in the analysis of SC structures , RFSR-CT-2013-00017 ,
P. Francis, The Steel Construction Institute, UK , 2016

[13] https://www.code-aster.org onglet ‘formations’.
Code_Aster / Salome-Meca - Module 4 : Génie Civil
06-Structural Elements for Civil Engineering Studies

[14] https://www.code-aster.org
U2.03.07 : Panorama des outils disponibles pour réaliser des calculs de structure de Génie Civil en béton

[15] https://www.code-aster.org
U3.12.04 : Modélisations GRILLE_EXCENTRE , GRILLE_MEMBRANE et MEMBRANE

[16] https://www.code-aster.org
U2.02.01 : Notice d’utilisation des éléments plaques, coques, coques volumiques SHB, grilles et membranes

[17] https://www.code-aster.org
U4.44.01 : Opérateurs AFFE_CHAR_MECA

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

[18] https://www.code-aster.org
U4.42.01 : Opérateur AFFE_CARA_ELEM

[19] https://www.code-aster.org
U4.42.07 : Opérateur DEFI_MATER_GC

[20] https://www.code-aster.org
V1.01.419 : Vérification de LIAISON_MAIL avec des coques excentrées.

[21] https://www.code-aster.org
U4.72.05 : Opérateur PROJ_CHAMP.

[22] D305918005045[A]
Grant Agreement number : 800732 — SCHEDULE

[23] Eurocode 4 - Calcul des structures mixtes acier-béton
Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments

[24] Eurocode 3 - Calcul des structures en acier
Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments

[25] Méthode de dimensionnement et calculs éléments finis des structures mixtes acier-béton : Comparaison avec les Eurocodes.
Tristan BERNELLE, Juin 2019

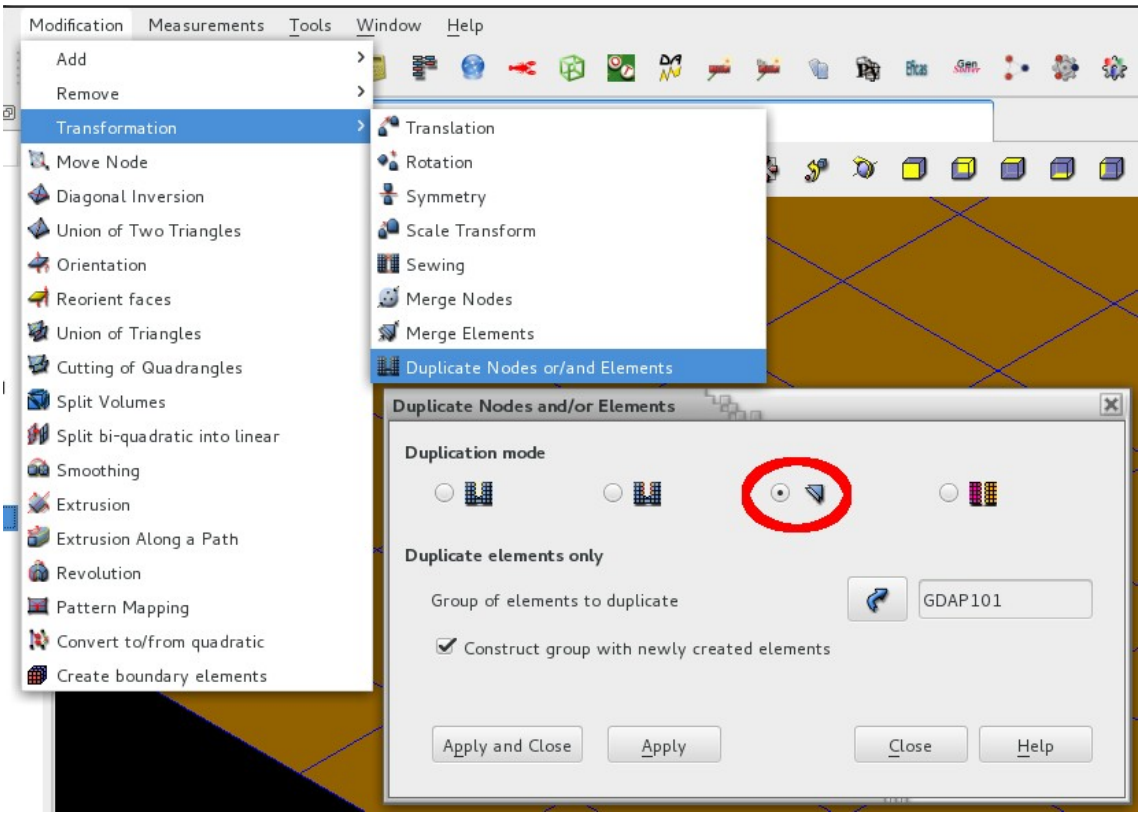
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

7 Annexe

7.1 Duplication des mailles

La duplication des mailles peut-être réalisée soit dans le module Mesh soit avec des commandes de code_aster.

- Dans le module Mesh de Salomé_Méca :



- Dans le fichier de commandes de code_aster :

```
MAILL2=CREA_MAILLAGE(MAILLAGE=MAILL1,
    CREA_MAILLE=_F( NOM = 'GDAP105', GROUP_MA = 'GDAP101', PREF_MAILLE = 'B',)
)
```


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

7.2 Exemple de liaison entre voile & plancher

La modélisation de la liaison entre un voile et un plancher réalisée avec l’approche ci-dessous n’est pas recommandée.

Les figures 7.2-a, 7.2-b montrent une modélisation possible de la liaison, réalisée à l’aide d’éléments finis de plaques. Les figures 7.2-c, 7.2-d montrent la CAO correspondante à cette modélisation, en faisant apparaître les épaisseurs des différents éléments.

Outre le fait que le plancher est relié au plan moyen du voile, l’excentrement des nappes d’armatures n’est pas non plus pris en compte. Pour mieux modéliser cette liaison il faudrait :

- que le plancher soit correctement positionné, donc tangent à une des tôles du voile.
- que la distance (1/2 épaisseur du voile) entre le plan moyen du voile et le plancher soit correctement pris en compte. La liaison entre le voile et la tôle inférieure du plancher, les raidisseurs ainsi que les nappes d’armatures doit tenir compte des distances réelles. Ne pas tenir compte de la position des éléments les uns par rapport aux autres conduit à un torseur d’effort “non réaliste”.
- que l’excentrement des nappes d’armatures du plancher soit pris en compte. La liaison doit prendre en compte la zone d’ancrage des armatures dans le voile en tenant compte de leur position réelle.

Les 3 points précédents sont “corrigés” lors de l’utilisation des “liaisons excentrées”, cf. §4.3.

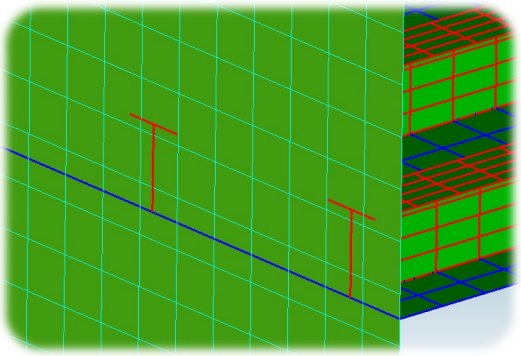


Figure 7.2-a

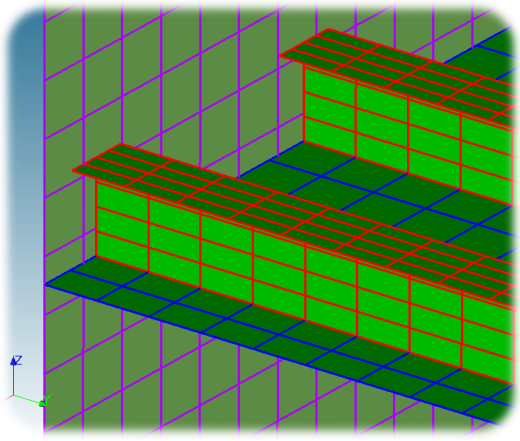


Figure 7.2-b

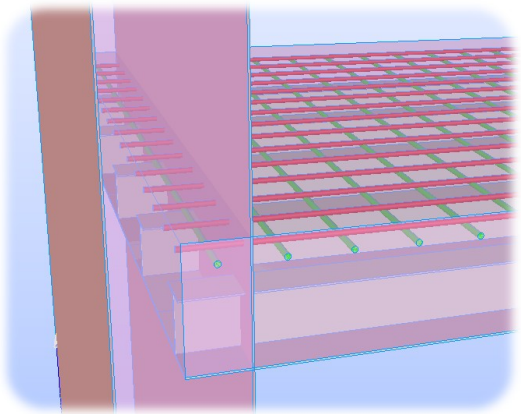


Figure 7.2-c

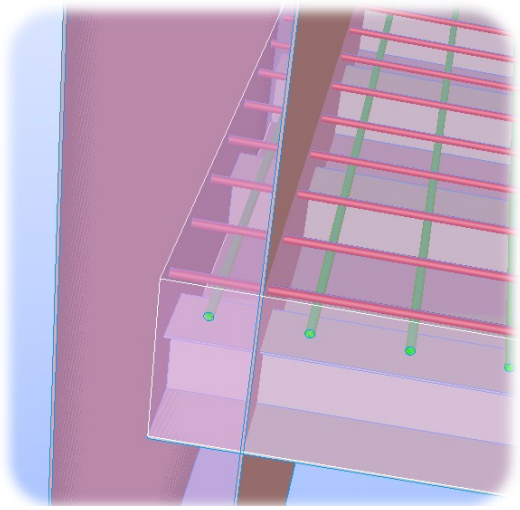


Figure 7.2-d

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

7.3 Liaison excentrée : cas test zzzz419

Commandes issus du cas test ZZZZ419 [20] de la base de vérification de code_aster.

```
# Maillage : plancher à 2.0m. Sera excentré de 0.50m ==> au final 2.5m
mesh20 = LIRE_MAILLAGE(UNITE=20, FORMAT='MED',)
# Maillage : plancher à 2.5m
mesh25 = LIRE_MAILLAGE(UNITE=25, FORMAT='MED',)

model20 = AFFE_MODELE(
    MAILLAGE=mesh20,
    AFFE=_F(MODELISATION=('DKT', ), PHENOMENE='MECANIQUE', TOUT='OUI'),
)

model25 = AFFE_MODELE(
    MAILLAGE=mesh25,
    AFFE=_F(MODELISATION=('DKT', ), PHENOMENE='MECANIQUE', TOUT='OUI'),
)

# Fonctions pour le déplacement pendant la phase d'appariement
TrFxE = FORMULE(NOM_PARA= ['X',], VALE=' X ', )
TrFyE = FORMULE(NOM_PARA= ['Y',], VALE=' Y ', )
TrFzE = FORMULE(NOM_PARA= ['Z',], VALE=' Z+0.50 ', )

load20 = AFFE_CHAR_MECA(
    MODELE=model20,
    LIAISON_MAIL= (
        _F(GROUP_MA_ESCL=('MGBordPlaGau', ), GROUP_MA_MAIT=('MGFaceMur', ),
           TYPE_RACCORD='COQUE', TRANSF_GEOM_ESCL= (TrFxE, TrFyE, TrFzE),
        ),
    ),
)

load25 = AFFE_CHAR_MECA(
    MODELE=model25,
    LIAISON_MAIL= (
        _F(GROUP_MA_ESCL=('MGBordPlaGau', ), GROUP_MA_MAIT=('MGFaceMur', ),
           TYPE_RACCORD='COQUE',
        ),
    ),
)
```


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