Notice de modélisation des jonctions entre éléments structurels de Génie Civil en béton armé

Résumé :

Ce document a pour but de donner des conseils pour réaliser des études de structures en béton armé comportant des voiles, des dalles et radiers en utilisant les fonctionnalités dédiées (en particulier les liaisons cinématiques, un modèle de comportement non linéaire de jonction). Il donne des informations sur la méthodologie de maillage, sur la mise en œuvre des liaisons cinématiques, sur le paramétrage des modèles de comportement.

Le comportement non linéaire, qui permet de modéliser une jonction en flexion entre un voile et un plancher ou un radier et affecté sur un éléments discret (rotules), de type DIS_TR sur des mailles SEG2 , à deux nœuds, accessible par le mot-clé JONC_ENDO_PLAS , voir § 13 [R5.03. 17].

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

Table des Matières

1 Introduction 3
2 Première étape : le maillage 4
2.1 Maillage pour modèle avec éléments finis de plaques 4
2.2 Maillage pour modèle mixte avec éléments finis volumiques et de plaques 5
3 Deuxième étape : la mise en donnée du problème 6
3.1 Lecture et enrichissements éventuels du maillage 6
3.2 Affectation d'un modèle 6
3.2.1 Modèle avec éléments finis de plaque et avec une jonction en croix 6
3.3 Caractéristiques des éléments de structure 6
3.4 Choix de la loi de comportement des matériaux 6
3.4.1 Définition du comportement non linéaire de jonction 6
3.5 Définition des caractéristiques des matériaux 7
3.5.1 Définition paramètres de la loi de comportement non linéaire de jonction 7
3.6 Définition des liaisons cinématiques 7
3.6.1 Définition du repère local 8
3.6.2 Raccord simple parfaite par liaisons sur les degrés de liberté 8
3.6.3 Raccord a vec relâchements de liaisons sur les degrés de liberté 8
3.7 Définition des chargements 9
4 Résolution 9
5 Post-traitement 9
5.1 Variables internes 9
6 Liste des cas-tests de vérification/validation 9
7 Exemple d'application commenté 10
8 Bibliographie 10
9 Description des versions du document 10

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

1 Introduction

Pour réaliser un calcul sur une structure en béton armé composée de voiles, de dalles, de radier s , on peut adopter selon l'enjeu et la performance de calcul visée, une :

- modélisation avec des éléments finis volumiques dans le domaine occupé par le béton (géométrie des coffrages), avec des aciers modélisés eux aussi en éléments finis volumiques : ce choix doit être réservé à des analyses locales ;

- modélisation avec des éléments finis volumiques dans le domaine occupé par le béton (géométrie des coffrages), avec les aciers des lits d'armature modélisés par des grilles-membranes, placées sur le plan moyen des lits d'armature. Cette situation est celle par exemple de radier ou de planchers épais ;

- modélisation avec des éléments finis de plaques dites « généralisées », qui seront support d'une loi de comportement exprimée directement en efforts généralisés (flexion et membrane), représentant le comportement du béton armé homogénéisé dans la section. Cette situation est celle par exemple d'assemblages structurels à base de voiles et planchers. Cette modélisation utilise la géométrie des plans moyens des voiles, des dalles, des radiers...

Il est aussi nécessaire de modéliser les jonctions en béton armé r eliant un voile et un plancher ou un radier. Ces j o nctions ont des dimensions identiques ou proches de celle de l'épaisseur des éléments structure ls raccordés : elles sont donc essentiellement tridimensionnelles dans la partie géométrique de raccord (le « cœur »). On peut distinguer des jonctions entre 2, 3 ou 4 éléments structure ls, de forme en croix ou en T, ou en L.

Diverses dispositions constructives codifiées régissent le ferraillage de ces jonctions. Selon les choix de conception, on peut considérer une bonne continuité de transmission des moments de flexion entre les éléments structure ls raccordés lorsque l'on a continuité des armatures à la traversée. Au contraire, si celles-ci sont discontinues, la possible fissuration du béton modifie le comportement de la liaison : un encastrement parfait n'est pas toujours représentatif.

L es choix opérés pour le bétonnage influent également : on peut avoir le cas d'un plancher bétonné en même temps que le voile, ou au contraire le cas de plancher avec prédalle préfabriquée et recevant par bétonnage une dalle complémentaire de compression. Le phasage de construction avec présence d'étaiement sous les prédalles contribue aussi à la sollicitation de la jonction (poids mort du béton et des charges additionnelles lors du coulage du plancher).
Souvent le le voile prolongeant au-dessus du plancher le voile de la levée inférieure n'est pas coulé et les ferraillage s sont en attente.

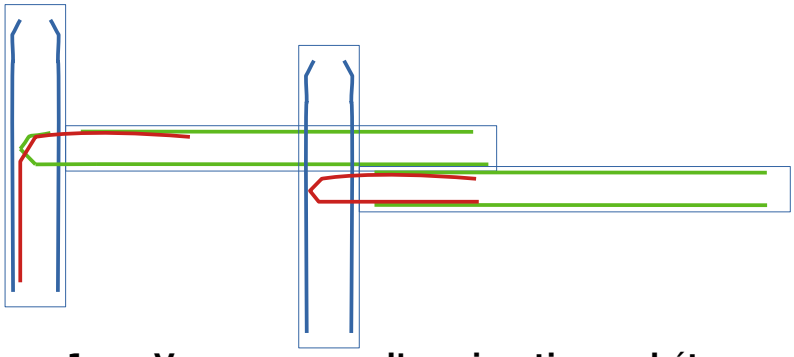


Figure 1-a : V ue en coupe d'une jonction en béton armé r eliant un voile et un plancher et de son ferraillage : à gauche : solution avec équerres ; à droite : solution en U .

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

A vec la solution de ferraillage de gauche, l'équerre assure un bon encastrement y compris en situation de fissuration du béton ; avec la solution de ferraillage de droite, le U autorise après fissuration de la jonction beaucoup plus de rotations différentielles du plancher p ar rapport au voile .

La cinématique imposée sur les frontières du cœur de jonction par les éléments structure ls raccordés est malgré tout (au 1 er ordre) contrôlée par celle adaptée aux zones courantes de ces éléments structure ls de voiles, de dalles, de radiers... La cinématique du cœur de la jonction lui-même peut être représentée avec suffisamment de précision vers des déformations simples dans le p l an transversal.

Figure 1-b : V ue en coupe d'une jonction en béton armé r eliant un voile et un plancher : cinématique du cœur de la jonction.

E n cela, les jonctions v o ile-plancher se comportent différemment des joints poutres-colonnes qi souvent exhibent des fissuration en croix au sein du cœur.

2 Première étape : le maillage

On détaille ici les différentes étapes de la mise en donnée d'un problème type de structure en béton armé dan s *Code_Aster,* pour les deux types de modélisation. Pour chaque phase, on précise les éventuelles questions à se p oser et les informations qu'il faut fournir.

2.1 Maillage pour modèle avec éléments finis de plaques

C e choix de maillage offre l'avantage d e la simplicité ; cependant il c o mporte un arbitraire, car souvent on utilise les coordonnées des plans de coffrage et non pas la position exacte des feuilles moyens des voile s et des plancher s. Cela a de plus l'inconvénient de compter deux fois le volume qui est à l'intersection des deux plans (donc dans la modélisation on comptera deux fois lamasse et on exagérera les portées).
On admet que deux plans maillés en mailles surfaciques (plancher e t voile) se coupent selon une droite qui appartient au maillage de la structure.

Pour modéliser plus précisément la jonction entre éléments structurels plans, on propose donc de prévoir le maillage du volume « cœur » de la jonction, sous forme d'un parallélépipède avec des dimensions transversales identiques aux véritables épaisseurs des éléments structurels plans raccordés.
Sur ce volume on produira un maillage en une bande unique de mailles hexaédriques à 8 nœuds HEXA8 . Les plans transversaux frontières entre ces mailles contiendront les nœuds extrémités des mailles planes de la géomé tr ie des éléments structurels plans.

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

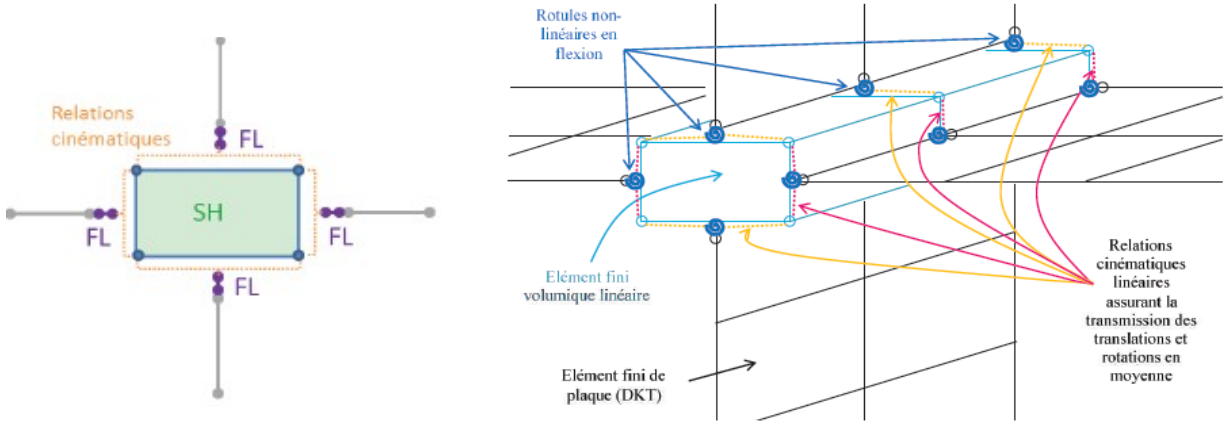


Figure 2.1-a : Mise en œuvre du modèle non linéaire discret en flexion d'une jonction entre deux voiles et deux planchers (situation courante). À gauche : vue en coupe (plan (x, y)) ; à droite : vue en perspective .

2.2 Maillage pour modèle mixte avec éléments finis volumiques et de plaques

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

3 Deuxième étape : la mise en donnée du problème

3.1 Lecture et enrichissements éventuels du maillage

Figure 3.1-a : V ue en coupe d'une jonction e t son maillage .

3.2 Affectation d'un modèle

3.2.1 Modèle avec éléments finis de plaque et avec une jonction en croix

3.3 Caractéristiques des éléments de structure

3.4 Choix de la loi de comportement des matériaux

Le choix de la loi de comportement des matériaux, soit pris individuellement (béton et acier), soit après homogénéisation pour le béton armé, détermine les mots-clés à renseigner sous DEFI_MATERIAU [U4.43.01]. On pourra consulter le panorama général [U2.03.07].

3.4.1 Définition du comportement non linéaire de jonction

Le comportement JONC_ENDO_PLAS [R5.03.17] est utilisé pour modéliser sur des éléments discrets (rotules), de type DIS_TR sur des mailles SEG2, à deux nœuds, le comportement non linéaire d'une liaison en flexion hors-plan. La relation non linéaire s'exprime dans le plan moment M - rotation relative θ selon l'axe local Oz. La phénoménologie représentée comporte : élasticité puis endommagement affaiblissant la rigidité élastique et écrouissage cinématique (déformations

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

irréversibles). On distingue les trajets en rotation « positive » et en rotation « négative », pour lesquels la dégradation peut se produire de manière non symétrique selon les caractéristiques des sections.

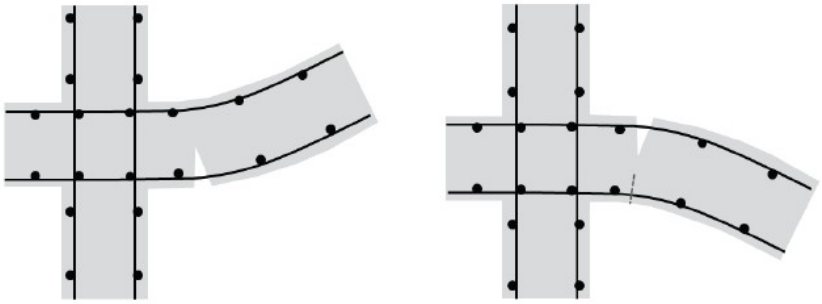


Figure 3.4.1-a : P hénoménologie en flexion d'une jonction voiles - planchers en béton armé : ouverture de fissure et extension des armatures selon le sens de la flexion exercée.

3.5 Définition des caractéristiques des matériaux

3.5.1 Définition paramètres de la loi de comportement non linéaire de jonction

Ils sont au nombre de huit (réels positifs tous obligatoires, cf. [U4.43.01]) :

- KE : raideur en rotation élastique $K_e > 0$;
- KP : pente d'écrouissage plastique $K_p \leqslant K_e$;
- KDP : raideur tangente $K_d^+ \in \left[K_e, K_p \right]$ en phase endommageante pour la flexion positive,
- KDM : raideur tangente $K_d^- \in \left[K_e, K_p \right]$ en phase endommageante pour la flexion négative,
- RDP : rotation seuil d'endommagement $\theta_d^+ > 0$ en flexion positive,
- RDM : rotation seuil d'endommagement $\theta_d^- < 0$ en flexion négative,
- MYP : seuil de plasticité M_y^+ en flexion positive,
- MYM : seuil de plasticité $M_y^- \leqslant K_e \theta_d^-$ en flexion négative.

Figu re 3.5.1-a : Co xxxxx re

3.6 Définition des liaisons cinématiques

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

Dans de nombreuses situations, la conception du maillage de al structure et affectation des éléments finis font que la continuité cinématique sur l'ensemble des degrés de liberté sur les nœuds communs aux interfaces entre éléments structurels est automatiquement assurée.

Les équations de liaisons cinématiques sont écrites dans le repère local de l'élément discret : translation et rotation.

3.6.1 Définition du repère local

On rappelle que Code_Aster utilise un repère global : celui du maillage de la structure entière. Et tout élément de structure possède un repère local, automatiquement affecté par Code_Aster par défaut, ou bien choisi par l'utilisateur à l'aide de l'opérateur AFFE_CARA_ELEM / mot-clef ORIENTATION, cf. [U4.42.01].

3.6.2 Raccord simple parfaite par liaisons sur les degrés de liberté

La droite qui appartient au maillage de la structure support de la frontière entre le plan du p lan cher et celui du voile ou entre ceux de deux voiles est dédoublée : elle est le support de couples de nœuds en vis- à -vis. Il faut donc que le maillage ait été construit avec des nœuds en vis- à -vis.

La liaison entre les deux pla ques se fait par des liaisons de corps solide : translation et rotations.

Le mot-clef LIAISON_COQUE d e l'opérateur AFFE_CHAR_MECA [U4.44.01] perm et de repr é senter le raccord entre les deux pla ques, en spécifiant le groupe de mailles ou de nœuds bord de la première plaque, puis le groupe de mailles ou de nœuds bord de la deux ièm e plaque .

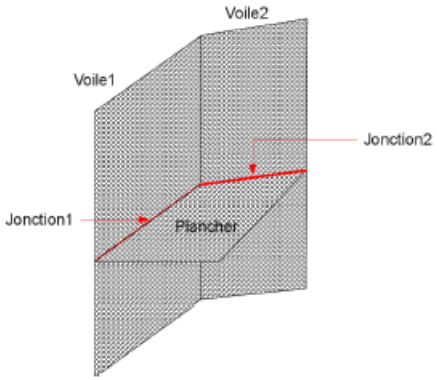
3.6.3 Raccord a vec relâchements de liaisons sur les degrés de liberté

L' outil *Release Tool* de *Salomé_Méca* [SV1.06.10], permet de construire facilement des conditions de relâchements de liaison entre le s degrés de liberté à la frontière entre le plan du plancher et celui du voile ou entre ceux de deux voiles. Il utilise un maillage, un modèle *Code_Aster* . On choisit le groupe de mailles ou de nœuds support de la liaison à relâcher. Il y a trois options possibles :

- relâchement nœuds nœuds ;
- relâchement nœuds plan ;
- relâchement plan plan ;

Les degrés de libertés sont dans le repère global du maillage : DX, DY, DZ, DRX, DRY, DRZ.

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



Figu re 3.6.3-a : Co xxxxx re

A DÉTAILLER : JE N'AI PAS TROUVE PLUS D'INFOS DANS LE REX NI LA DOC.

3.7 Définition des chargements

4 Résolution

5 Post-traitement

5.1 Variables internes

D issipation intrinsèque instantané e.

6 Liste des cas-tests de vérification/validation

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

7 Exemple d'application commenté

8 Bibliographie

[1] HERVE-SECOURGEON E. « Caractérisation et modélisation du comportement au séisme des jonctions voile-plancher en béton armé pour l'analyse sismique des ouvrages de génie civil et des équipements ». Thèse de Doctorat de l'Université Paris-Saclay, juin 2020.

[2] HERVE-SECOURGEON E., VOLDOIRE F., GATUINGT F., OLIVER-LEBLOND O. « Wall slab connection models for finite element seismic analysis of reinforced concrete structures. » Structural Concrete. Submitted 2020.

9 Description des versions du document

Version Code_Aster	*Auteur*(s) Organisme(s)	Description des modifications
V15.4	*E.Hervé-Secourgeon, J.-L.Fléjou, F.Voldoire,* EDF-R&D/ERMES	Texte initial.

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