



PLATE-FORME DE SIMULATION METIER BASEES SUR L'APPROCHE NSCD POUR LA MODELISATION FINE DES STRUCTURES MAÇONNEES

TAFOREL, P.¹, DUBOIS, F.²

Modélisation des structures maçonnées et spécificités des approches. De multiples outils permettent la modélisation des structures maçonnées (voir [3]). Ils se basent sur des approches continues ou discrètes. Les approches continues cherchent à traduire les non-linéarités (cinématique, comportements volumiques ou surfaciques) dans des modèles de comportements complexes appliqués à des représentations géométriques simples (type panneau). Les approches discrètes tiennent compte naturellement de la description géométrique des structures (type bloc à bloc) ; les modèles de comportements affectés sont nécessairement moins sophistiqués et plus intelligibles.

Les approches discrètes, de façon générale, permettent de représenter plus finement les phénoménologies mais au prix d'un effort plus important : de modélisation, de mise en œuvre des simulations et d'analyse des résultats. Si le choix d'une approche plutôt qu'une autre dépend bien évidemment de la nature de la structure à étudier et du type de sollicitation auquel elle est soumise, il dépend avant tout du niveau de représentation des comportements souhaités et de la nature des réponses attendues.

LMGC90 comme base d'outils de simulation métiers. La plate-forme logicielle LMG90 [1] implémente la méthode de modélisation par éléments discrets NSCD [2]. Elle permet la modélisation de larges collections d'objets en interaction. Elle permet la modélisation des structures maçonnées en tant qu'assemblages de blocs.

Le logiciel LMG90 permet la simulation de modèles de maçonnerie riches [3] pour lesquels chaque bloc est défini par une géométrie propre. Une large gamme de modèles de comportements volumiques (rigide, élastique, élasto-plastique, élastique dilatant, etc.) peut leur être affecté. Les comportements entre objets sont décrits grâce à une multitude de lois de contact (contact frottant, cohésion, etc.). L'une des spécificités du logiciel est de pouvoir utiliser différents modèles de comportements volumiques et lois de contact dans une même simulation. Si la sophistication des modèles qui en découle permet d'atteindre des niveaux de modélisation très fins, il en résulte une grande complexité dans leur mise en œuvre et, après calcul, dans leur exploitation (analyse des résultats).

¹ TAFOREL, Paul, MiMeTICS engineering, paul.taforel@mimetics-engineering.fr

² DUBOIS, Frédéric, Laboratoire de Mécanique et Génie Civil, frederic.dubois@umontpellier.fr

L'objet d'une plates-forme de simulation métier, comme présentée ci-après, est de masquer cette complexité en proposant un outil de modélisation clé en main. Le cas d'une plate-forme dédiée à l'étude des bâtiments en maçonnerie est pris en illustration.

Des plates-formes de modélisation dédiées à des simulations « métiers ». L'adaptation du logiciel LMGC90 à des cas d'études spécifiques se fait à trois niveaux correspondant aux étapes clés de la modélisation : *mise en données*, *calcul* et *analyse des résultats*. Le type de plate-forme développé permet de générer des modèles de calculs représentatifs des systèmes à représenter, qui sont ensuite, via le logiciel de calcul LMGC90, calculés suivant des cas de chargements prédéfinis. Les simulations, une fois achevées, sont ensuite analysées afin d'identifier d'éventuels comportements caractéristiques voire pathologiques. Si ces trois étapes semblent pouvoir être considérées indépendamment les unes des autres, il s'avère qu'elles sont bien plus étroitement liées qu'il n'y paraît.

La nature discrète des modèles rend la phase *d'analyse des résultats* de simulations délicate. Les informations recueillies à l'issue des calculs sont en effet très locales et il est souvent difficile d'en avoir une interprétation à des échelles plus globales (structure). L'étape de *mise en données* est souvent utilisée pour conditionner *l'analyse des résultats* de simulation dans ce sens ; rendant, ce faisant, quasiment indissociables ces deux étapes. Il en est de même pour les étapes de *mise en données* et de *calcul* très dépendantes l'une de l'autre. Le choix même du modèle de calcul s'inscrit dans une stratégie numérique définie en fonction de la finalité de la simulation.

Les grandes étapes de la modélisation doivent être abordées globalement afin de répondre convenablement aux enjeux de modélisation posés. C'est tout l'objet des plates-formes logicielles développées par MiMeTICS engineering, qui cherchent à construire des modèles de calcul particuliers en adéquation avec des stratégies de calcul et d'analyse pensées pour répondre aux problématiques à traiter.

Une plate-forme de modélisation dédiée à la simulation des bâtiments réguliers en maçonnerie. L'adaptation du logiciel LMGC90 à l'étude des bâtiments en maçonnerie a pour objectif de mettre en œuvre des modèles de calculs de bâtiments en maçonnerie soumis à des cas de chargements classiques (pesanteur, tassement différentiel, sollicitation sismique (Figure 2)) et analysés avec des considérations de génie civil classiques montrant des comportements caractéristiques de telles structures.

Mise en données : Si la géométrie des bâtiments en maçonnerie peut être relativement facile à représenter lorsque l'on utilise des macroéléments (panneau), la discrétisation bloc à bloc de la structure nécessite en revanche de représenter la géométrie de chaque élément et de définir des règles d'interaction entre les éléments en contact. Ce type de modélisation devient un exercice fastidieux et source d'erreurs sur des modélisations de la taille d'un bâtiment.

L'un des premiers enjeux de la plate-forme logicielle développée est de permettre, à partir des caractéristiques géométriques générales et structurelles d'un bâtiment, de générer un modèle représentatif du bâtiment interprétable par LMGC90. La paramétrisation de la géométrie du modèle permet *in fine* de générer des modèles de façon simplifiée à partir d'informations facilement accessibles lors de diagnostics

visuels d'un bâtiment.

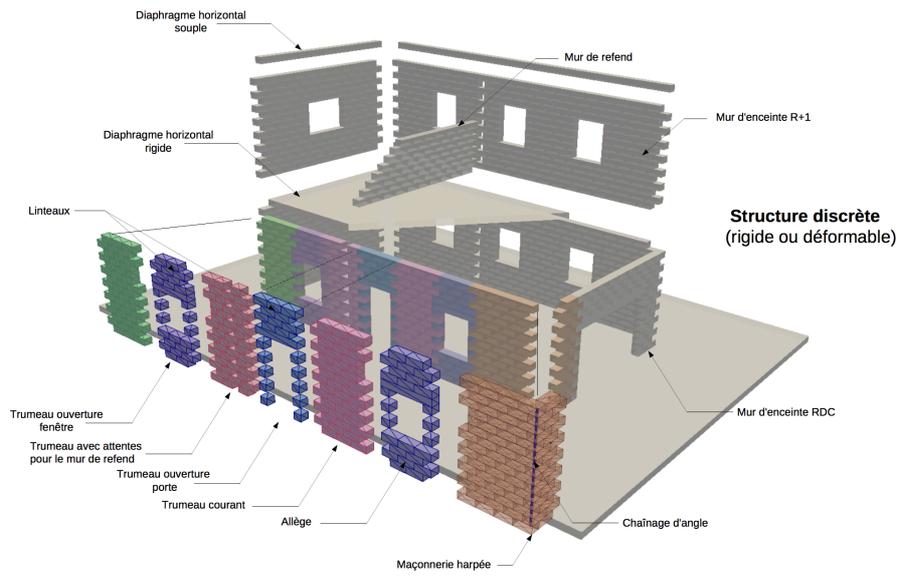


Figure 1 : Décomposition hiérarchique des bâtiments utilisée pour la génération des modèles de calcul avec la plate-forme logicielle.

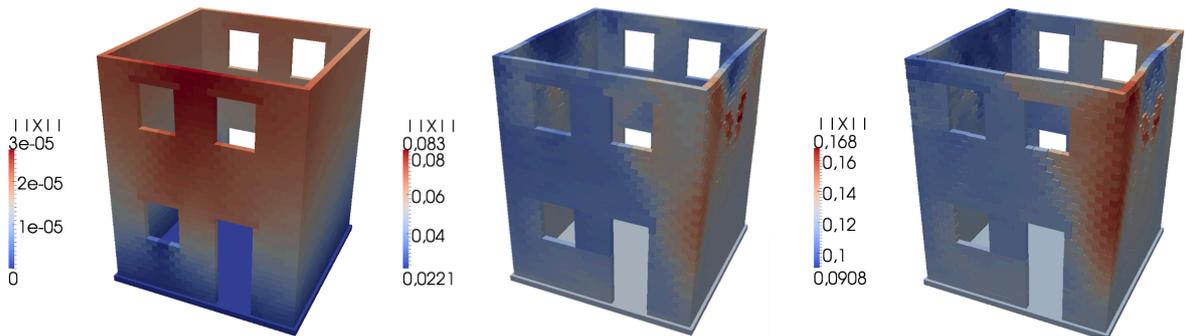


Figure 2 : Exemple de calculs réalisés avec l'outil de modélisation de maçonneries.

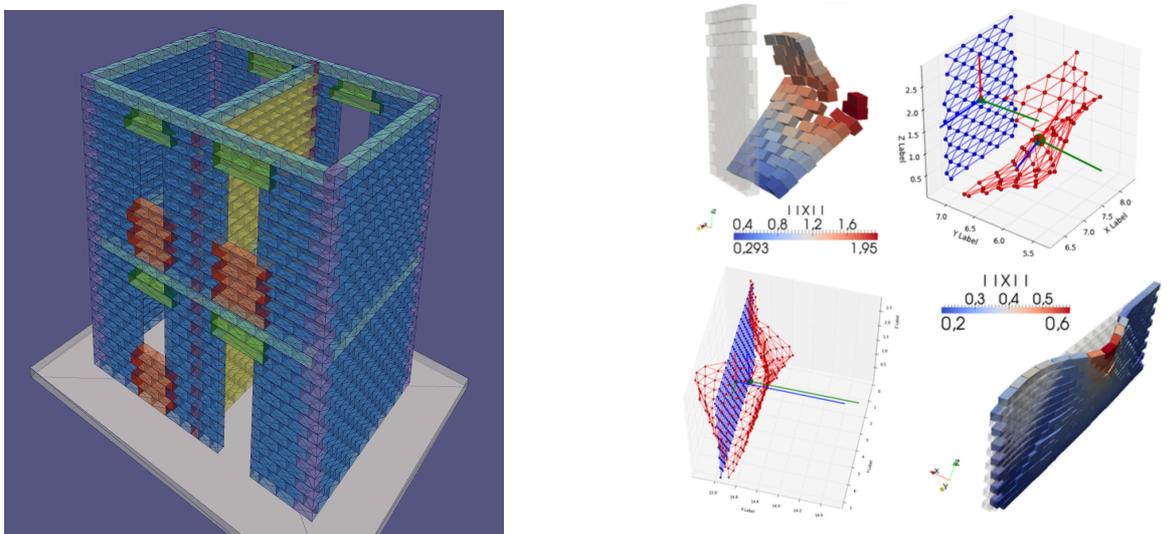


Figure 3 : Visualisation adaptée des bâtiments et gestion d'analyses spécifiques.

Les paramètres utilisés pour décrire les bâtiments renvoient à des considérations géométriques ou dimensionnelles (dimensions des murs, des ouvertures, *etc.*), structurelles (liaison des murs entre eux, présence de diaphragmes, de renforcements, *etc.*) et comportementales (caractéristique des matériaux, des lois d'interface). Enfin, un jeu de paramètres qualifiant la sollicitation permet de compléter le jeu de données nécessaire à la génération d'un modèle de calcul.

L'outil s'appuie sur une décomposition hiérarchique du bâtiment (Figure 1) en entités toujours plus simples reliées entre elles par des éléments de structure spécifiques ou des concepts architecturaux. Le bâtiment se décompose en étages reliés entre eux par des diaphragmes horizontaux (planchers/toiture, souples ou rigides, chaînés ou non). Chaque étage est lui-même décomposé en un ensemble de murs, reliés entre eux par harpage, en présence de chaînages verticaux ou non. Les murs, comportant ou non des ouvertures, sont assimilés à des ensembles de trumeaux (panneaux pleins, allèges, linteaux). Chaque trumeau peut enfin être considéré comme un assemblage de blocs ou rester à l'état de macroélément.

Analyse des résultats : Cette étape s'appuie sur la décomposition utilisée pour mettre en œuvre le modèle de calcul discret. Une base de données est constituée lors de la génération du modèle pour l'analyse des résultats. Elle permet, à l'issue du calcul, de s'intéresser à des comportements de structure et de procéder à des analyses à l'échelle des trumeaux voire à des niveaux de décomposition moins élevés (mur, étage, *etc.*) et à leur visualisation (Figure 3). On retrouve parmi les analyses standard proposées, des analyses de déformation des panneaux (en et hors plan), des estimations de taux de fissuration, *etc.* La mise en place des indicateurs peut être réalisée *a posteriori*, une fois le calcul achevé. Les indicateurs sont calculés par relecture de la base de données de LMGC90 sauvegardée lors du calcul. De nouveaux indicateurs peuvent ainsi être définis et calculés à tout moment sans que cela conduise à relancer les simulations. Nous illustrerons notre propos sur un cas d'étude complet lors de la présentation.

Extension aux autres typologies d'ouvrages et sollicitations. La plate-forme présentée est dédiée à l'étude des bâtiments en maçonnerie de forme régulière. Ce type d'outil « métier », « clé en main », permettant de gérer de façon automatique la mise en données, l'optimisation du calcul et l'analyse à façon des résultats, peut être adapté à n'importe quel type de sollicitation ou de structure, que cela concerne les structures maçonnées ou tout autre système divisé.

Références

- [1] F. Dubois, M. Jean, M. Renouf, R. Mozul, A. Martin, M. Bagnéris. LMGC90, In *Proceedings 10ème Colloque National en Calcul des Structures, Giens, 2011*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00596875/document>
- [2] M. Jean. The non-smooth contact dynamic method, In *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 177, No 3-4, : 235-257, 1999.
- [3] P. Taforel. Apport de la méthode des éléments discrets à la modélisation des maçonneries en contexte sismique : vers une nouvelle approche de la vulnérabilité sismique. Thèse de doctorat, 2012. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00801814>