

Projet Code Aster

Yakine RACHEDI, Jessica SADER

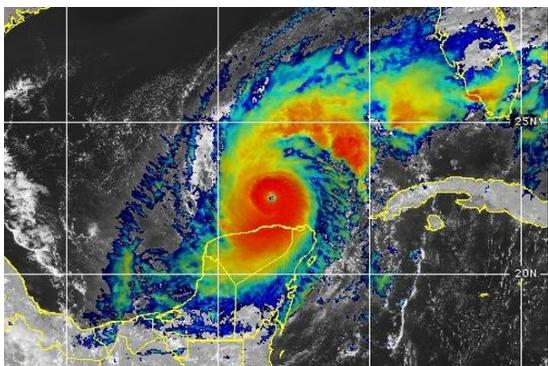
6 janvier 2025

Table des matières

1 Présentation du projet	2
2 Géométrie	3
3 Maillage	7
3.1 Géométrie 1 : Sans fenêtres	7
3.2 Géométrie 2 : Avec fenêtres	7
3.2.1 Difficultés liées à l'ajout des fenêtres	7
3.2.2 Choix et validation du maillage final	12
4 Calculs sur AsterStudy et interprétation des résultats	12
4.1 Calcul de la force appliquée sur le modèle	12
4.2 Cas de la géométrie 1 : sans fenêtres	13
4.3 Résultats obtenus pour la géométrie 1	13
4.4 Cas de la géométrie 2 : ajout des fenêtres	14
4.5 Résultats obtenus pour la géométrie 2	14
5 Conclusion	15

1 Présentation du projet

Ce projet a pour objectif de modéliser l'impact de phénomènes météorologiques extrêmes, tels que les tempêtes et les ouragans, sur des structures résidentielles. Nous prenons comme exemple les conditions climatiques sévères en Floride, aux États-Unis.



Ouragan Milton en Floride en octobre 2024

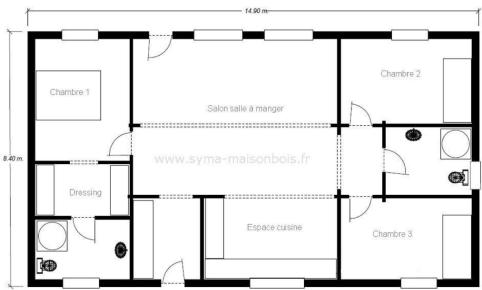
Dans ce cadre, nous modéliserons une maison typique de la région :



Exemple typique d'une maison dans la région de Floride

Pour simplifier l'analyse, nous utiliserons une géométrie simplifiée d'une maison, qui sera détaillée dans la section suivante.

La géométrie et les dimensions de la maison seront inspirées de ce plan :



Plan de la maison modélisée sous *Salome_Meca*

L'objectif principal est d'étudier l'impact des vents extrêmes sur une maison en modélisant différents matériaux de construction. Les matériaux étudiés incluront la brique, le béton et le verre. De plus, nous analyserons l'effet de la présence ou de l'absence de fenêtres sur la résistance globale de la structure.

La force appliquée sur la maison sera modélisée par une pression dynamique, selon la formule suivante :

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \cdot C_d$$

où :

- F : force appliquée (en N),
- ρ : densité de l'air (en kg/m³),
- V : vitesse du vent (en m/s),
- A : surface exposée au vent (en m²),
- C_d : coefficient de traînée (sans unité).

L'analyse vise à mieux comprendre le comportement des matériaux soumis à des conditions climatiques extrêmes et à identifier les configurations structurelles les plus résistantes.

Le projet a été réalisé sur Code_Aster (via Salome_Meca) et structuré en plusieurs étapes clés :

- Définition et simplification de la géométrie de la maison,
- Création du maillage à l'aide du module de géométrie,
- Simulation numérique avec le module AsterStudy,
- Interprétation et analyse des résultats obtenus.

2 Géométrie

Dans cette section, nous détaillons la géométrie du modèle étudié. La structure représente une maison simplifiée, basée sur le plan présenté dans la section de présentation. Deux configurations de cette maison ont été modélisées afin d'analyser l'impact des ouvertures (fenêtres) et l'effet du vent sur celles-ci :

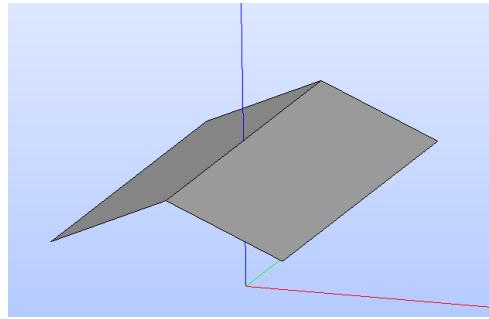
- **Géométrie 1** : Maison **sans fenêtres**, composée uniquement des murs, du toit et de la porte.

- **Géométrie 2** : Maison **avec fenêtres**, où des ouvertures ont été ajoutées aux murs.

Les deux géométries partagent les mêmes dimensions globales :

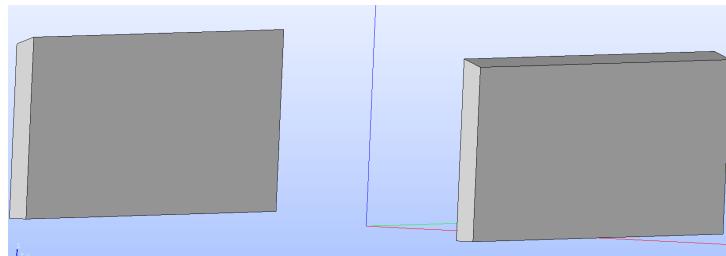
- **Largeur** : 8.4 m,
- **Longueur** : 14.9 m,
- **Hauteur des murs** : 3 m.

Le toit est représenté sous forme d'**éléments 2D surfaciques** avec une pente symétrique reposant sur les murs. Nous avons d'abord construit un côté du toit, puis utilisé une méthode de miroir pour générer l'autre côté.



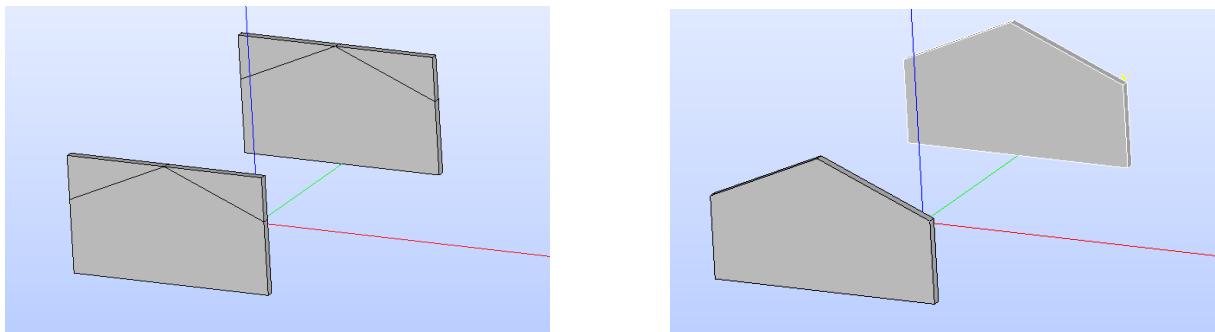
Représentation du toit en 2D

Les murs sont modélisés par des **éléments volumiques 3D**. Chaque mur des quatre côtés a été construit individuellement sous forme de boxes en 3D. Ensuite, nous avons effectué des partitions et utilisé un **Coumpound** pour sélectionner les bonnes parties des murs. Par exemple, pour les murs gauche et droit, on sélectionne les parties coupées par le toit afin que ce dernier repose correctement sur ces éléments.



Représentation des murs droit et gauche en 3D

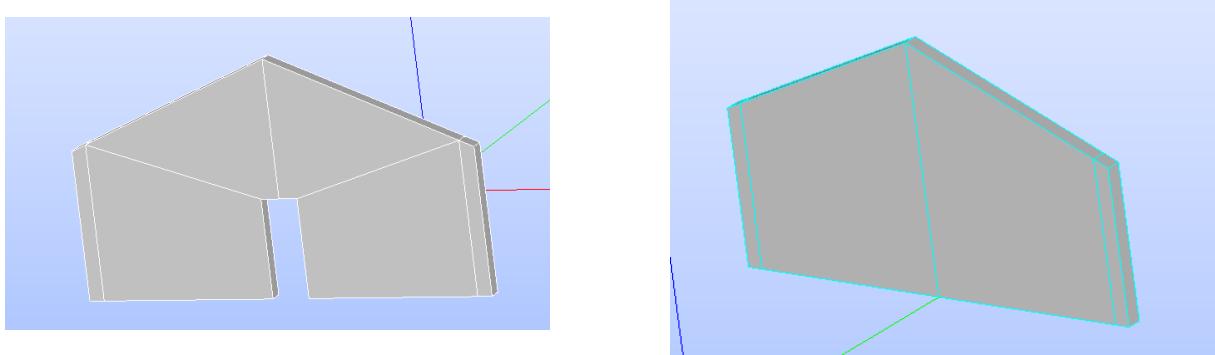
Le toit a ensuite été placé sur les murs droit et gauche. Nous avons créé une boîte de hauteur appropriée pour garantir qu'elle s'intersecte correctement avec le toit, puis effectué une nouvelle partition et un **compound** pour obtenir la face triangulaire des murs avant et arrière.



Représentation des murs avant et arrière en 3D

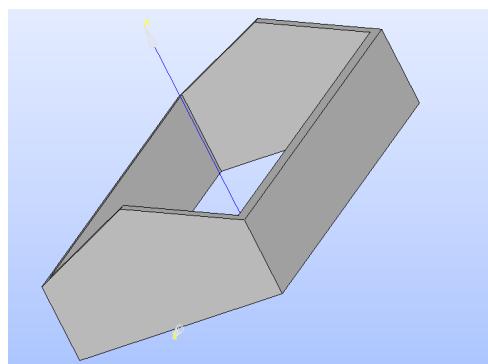
Pour le mur avant, une boîte représentant les dimensions d'une porte a été créée, puis une translation a été appliquée pour qu'elle s'intersecte avec le mur avant. Un **cut** a été effectué pour ajuster cette forme.

Afin d'éviter des problèmes lors du maillage en éléments hexahédriques, des partitions ont été réalisées sur les murs avant et arrière, comme illustré ci-dessous :



Partition du mur avant et arrière pour le maillage

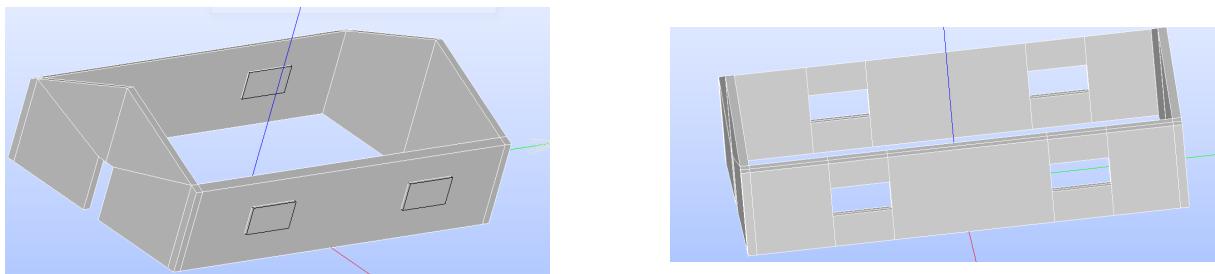
Nous obtenons finalement une géométrie 3D sous cette forme :



Vue 3D finale de la géométrie des murs

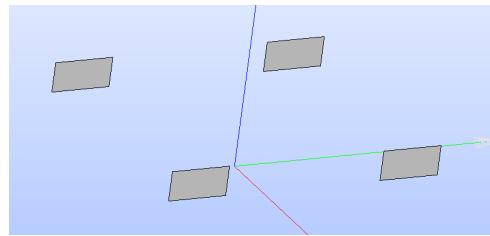
Pour la deuxième géométrie, deux fenêtres ont été ajoutées sur chaque murs en 2D (utilisés par la suite comme éléments coques).

Il s'agit de créer une boîte, puis de réaliser des translations pour positionner les fenêtres aux endroits voulus, et enfin de couper les murs avec ces quatre translations pour obtenir la forme correspondante :



Partition des murs avant et arrière pour l'ajout des fenêtres

Une fois les ouvertures réalisées, des éléments 2D ont été créés et placés sur les fenêtres. Les dimensions de chaque fenêtre sont les suivantes : une longueur de **1 m** et une largeur de **2 m**.

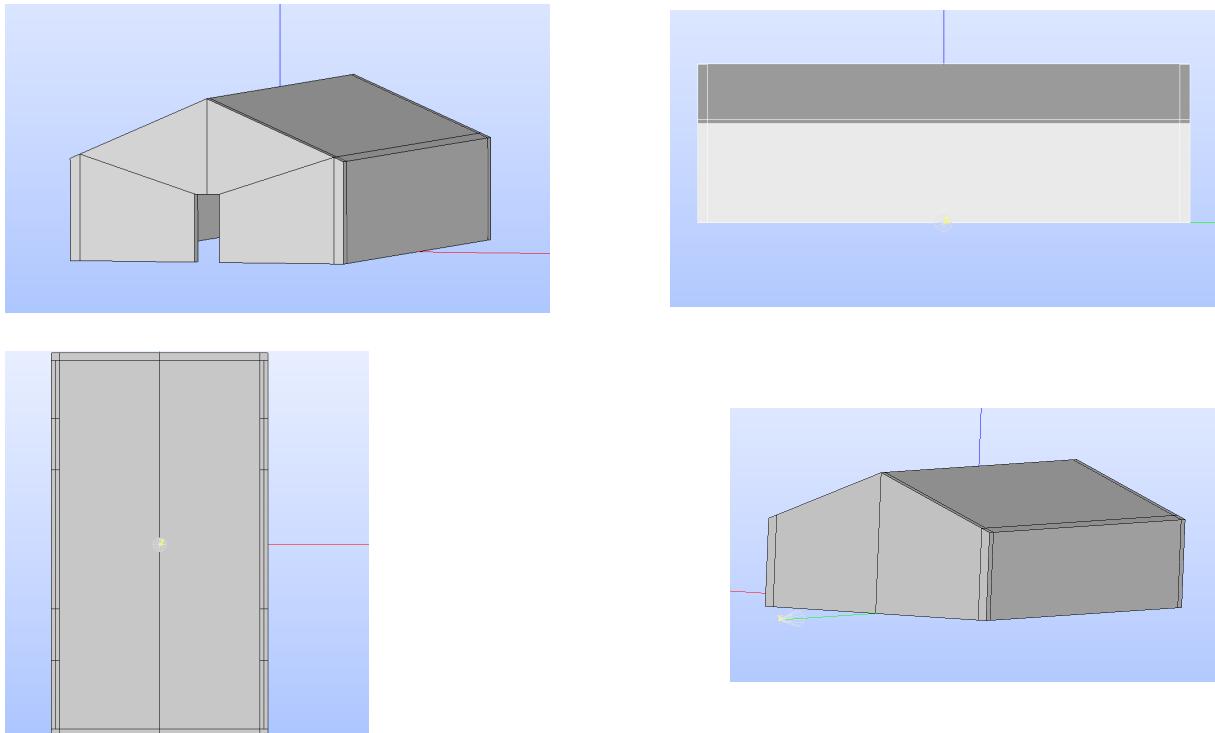


Ajout des fenêtres en 2D

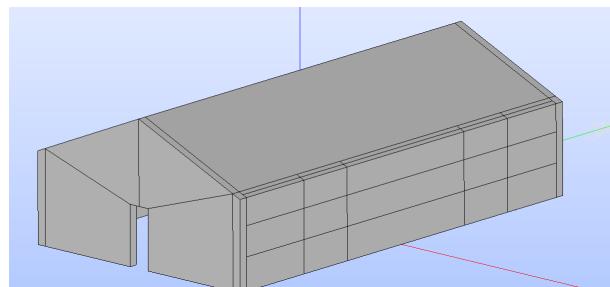
Les fenêtres ajoutées dans la deuxième géométrie sont modélisées avec des **éléments 2D surfaciques**. Par la suite, ces éléments 2D seront transformés en **éléments coques** pour une analyse plus précise avec une épaisseur de **0,1 m**.

Une partition a été réalisée pour garantir que le maillage capture correctement les liaisons entre les noeuds.

Les figures suivantes montrent les deux configurations géométriques modélisées :



Représentation géométrique de la structure : Géométrie 1



Géométrie 2 : Ajout des fenêtres

3 Maillage

Le maillage constitue une étape essentielle pour garantir la précision des résultats. Cette section présente les maillages réalisés pour les deux géométries étudiées :

3.1 Géométrie 1 : Sans fenêtres

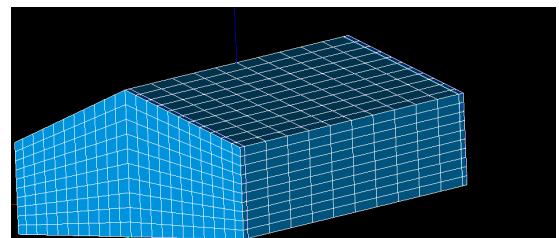
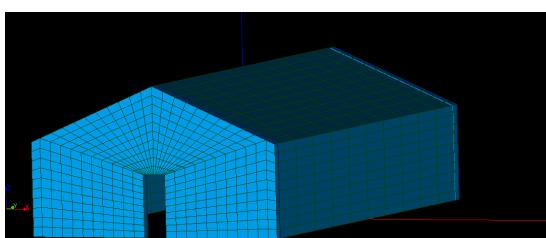
Après avoir réalisé les partitions pour garantir un maillage correct, et compte tenu de la forme globalement rectangulaire de la structure, nous avons opté pour les types de maillages suivants :

- **Hexaèdres** algorithme Hexadron(i,j,k) pour les éléments 3D,
- **Quadrangles** algorithme Mapped Quadrangulation pour les éléments 2D,
- **Discrétisation filaire** : Wire Discretization pour les éléments 1D.

Une hypothèse a été adoptée avec un nombre de segments égal à 10. Ensuite, un **sub-mesh** a été défini pour raffiner le maillage dans des zones spécifiques, notamment :

- Les coins de la maison,
- Les intersections entre les murs,
- Les intersections entre les murs et le toit.

Ainsi, le maillage obtenu est conforme, comme illustré dans les figures ci-dessous.



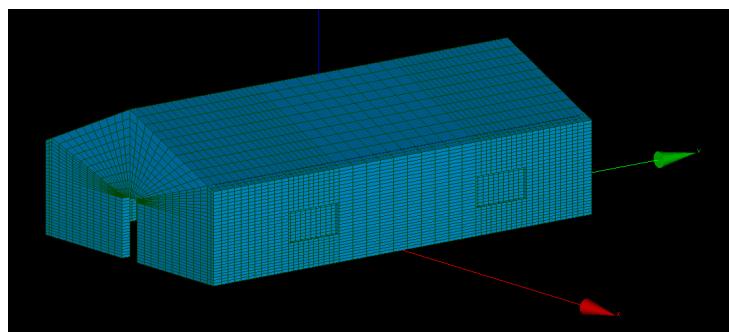
Représentation du maillage pour la géométrie 1.

3.2 Géométrie 2 : Avec fenêtres

3.2.1 Difficultés liées à l'ajout des fenêtres

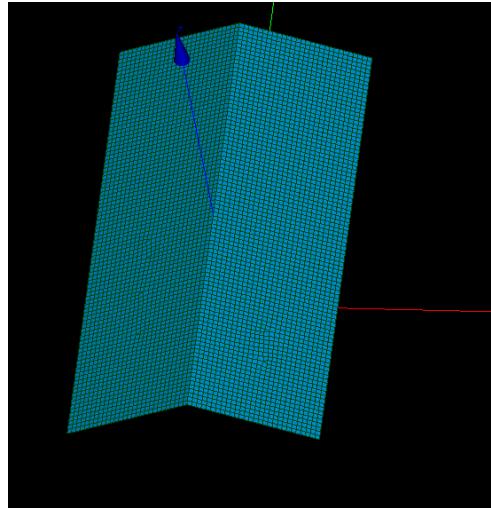
L'ajout des fenêtres a engendré de nombreux problèmes imprévus. Comme chaque partie de la géométrie de la maison a été construite indépendamment des autres, il a été nécessaire de réaliser des partitions complexes pour ajuster correctement les fenêtres à leur position, en tenant compte de la porte. Cette tâche s'est avérée particulièrement compliquée.

De plus, l'approche utilisée pour les partitions a alourdi considérablement le fichier .hdf généré par Salome-Meca en raison du grand nombre de partitions. Bien que le maillage soit techniquement correct, il reste **non conforme**, comme illustré ci-dessous :



Maillage non conforme obtenu après partitionnement

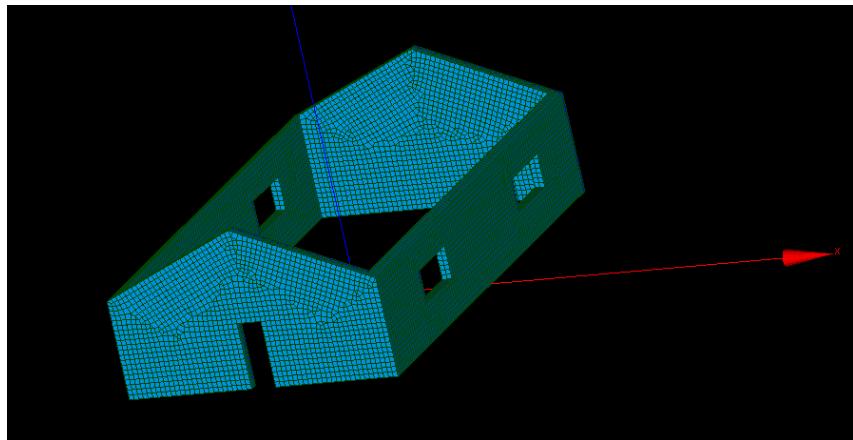
Pour obtenir un maillage conforme, chaque partie de la géométrie a été maillée individuellement, avant d'assembler les différentes parties pour former le maillage final. Voici les étapes suivies :



Toit 2D

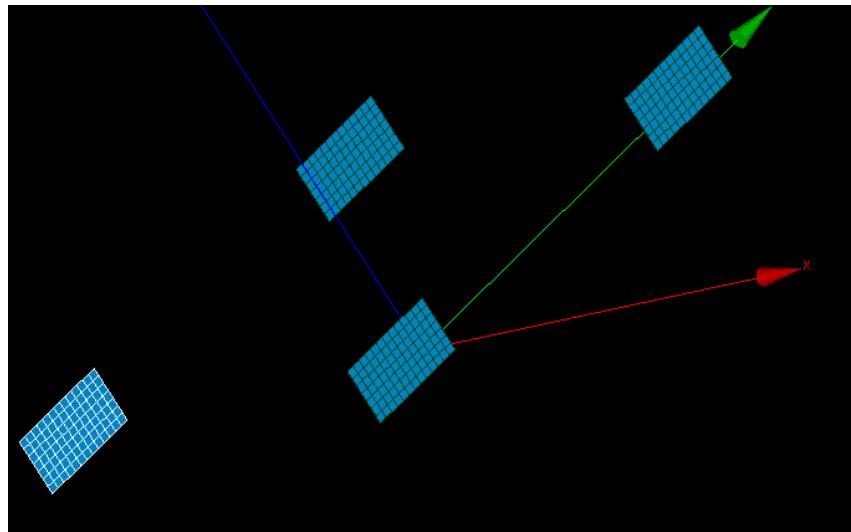
Le toit, considéré comme un élément surfacique, a été maillé en utilisant l'algorithme **Netgen-2D-1D** avec l'option **Quad Dominated** dans l'hypothèse **Netgen-2D**.

Pour les murs, un maillage a été réalisé à l'aide de l'algorithme **Netgen-3D-2D-1D** en appliquant les mêmes hypothèses :



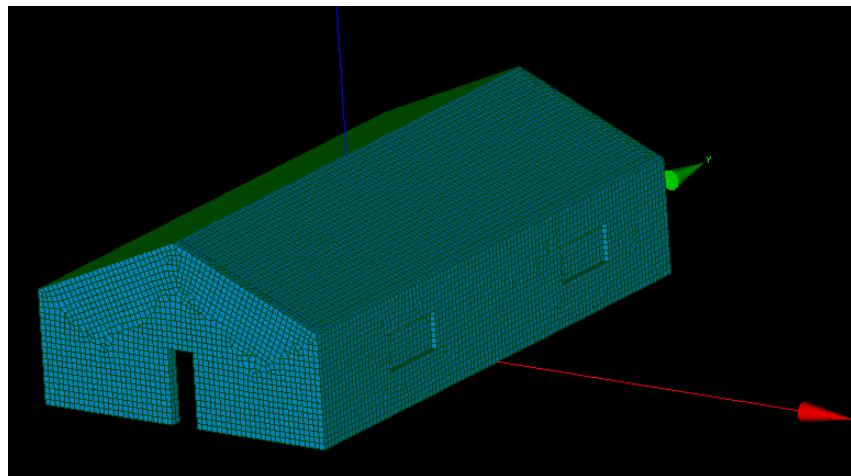
Murs 3D

De manière similaire, chaque fenêtre a été maillée individuellement en utilisant l'algorithme **Netgen-1D-2D**, toujours avec les mêmes hypothèses :



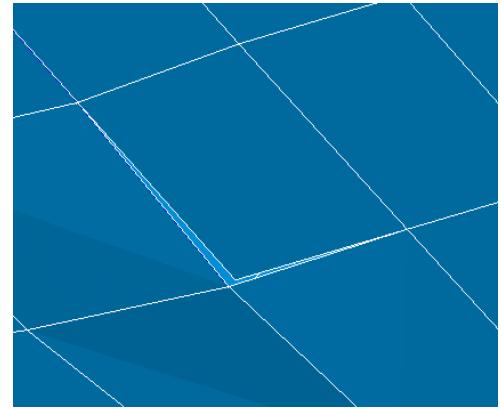
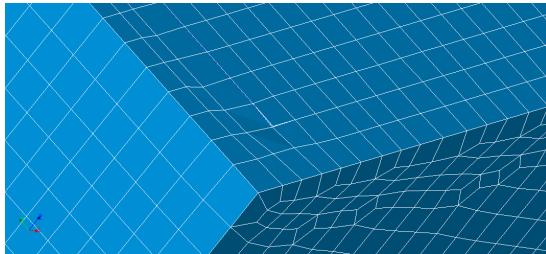
Fenêtres 2D

Enfin, après avoir assemblé toutes les parties (toit, murs et fenêtres), le maillage final de la géométrie avec fenêtres est obtenu, comme illustré ci-dessous :



Maillage de la géométrie avec fenêtres

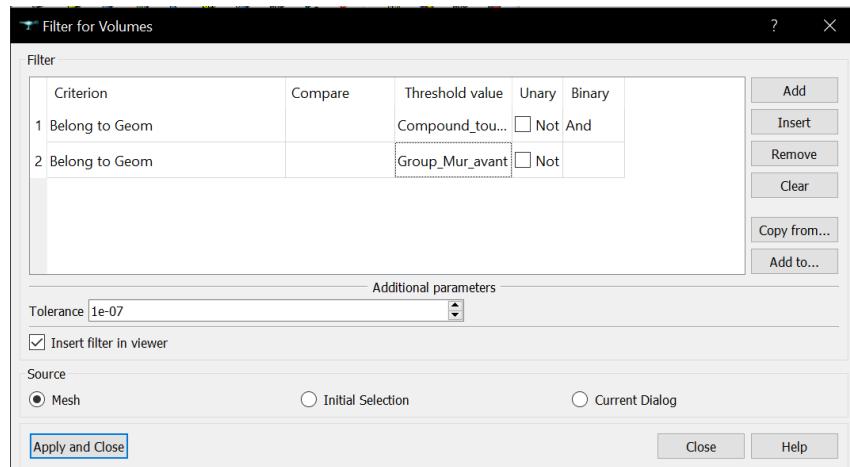
Nous avons également rencontré des difficultés et des erreurs lors de notre travail concernant la création du maillage et les groupes de ce dernier.
En effet, en créant un maillage conforme, nous avons rencontré un défaut lors de l'assemblage du toit et des murs. Comme vous pouvez le voir dans l'image qui suit, le choix de l'algorithme de maillage est crucial puisqu'il peut déformer légèrement la structure :



Défaut dans l'assemblage du maillage.

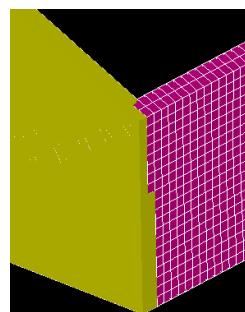
Un second problème que nous avons rencontré lors de notre travail est la création des groupes pour le maillage conforme (sans défaut).

Pour la création de ces derniers, nous utilisons les filtres. Pour cela, nous sélectionnons le critère **Belong to Geom** et nous choisissons les 2 structures qui nous intéressent : la géométrie complète de la maison et l'objet pour lequel on désire créer le groupe. Dans l'image qui suit, on choisit donc **Compound_toute_la_maison** et **Group_mur_avant** :



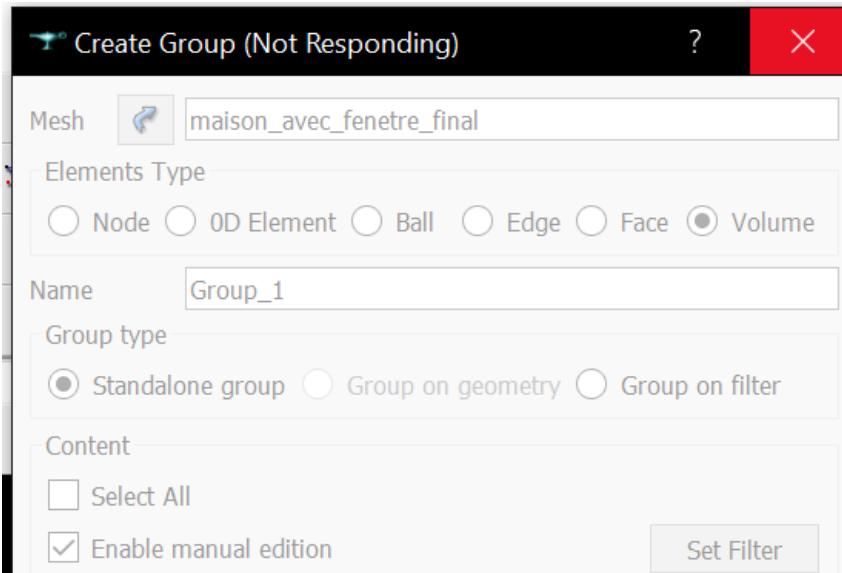
Création des groupes : méthode des filtres

De plus, lors de l'utilisation de cette méthode, nous avons remarqué des défauts dans la sélection des éléments correspondants au groupe : dans le cas du mur avant, des éléments manqués dans le groupe.



Éléments du groupe mur avant

Finalement, vu que le fichier .hdf est lourd, lors de la création des groupes sur nos PCs personnels, le programme *Salome_Meca* crashait et ne marchait plus.



Arrêt du programme *Salome_Meca*

Suite à la création des groupes, nous aurons les groupes suivants :

1. Pour les parties en 2D : les 4 fenêtres (soit chaque fenêtre seule, soit 2 groupes gauche et droite), les 4 faces, le toit et la base encastrée.
2. Pour les parties en 3D : les 4 murs.

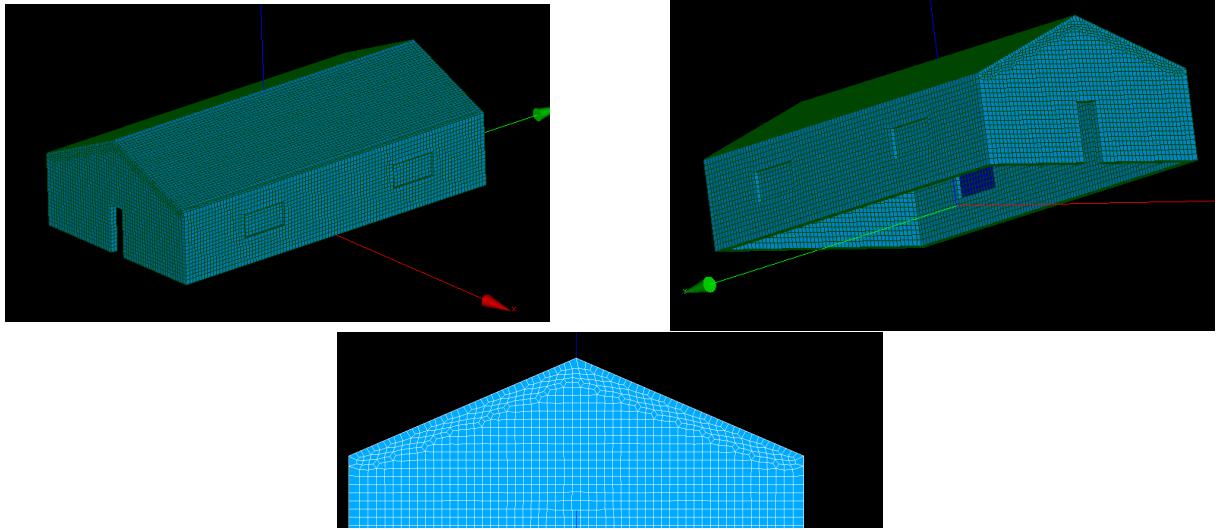
Nous retrouvons les mêmes groupes dans la géométrie de la maison.

- > Group_Mur_droite
- > Group_Mur_gauche
- > Group_Mur_avant
- > Group_Mur_arriere
- > Group_fenetre_droite
- > Group_fenetre_gauche
- > Group_toit
- > Group_Base_ENCAS
- > Group_Face_avant
- > Group_Face_arriere
- > Group_face_droite
- > Group_Face_gacuhe

Groupes 2D et 3D de la géométrie

3.2.2 Choix et validation du maillage final

En se basant sur la même méthode que précédemment, en conservant les mêmes hypothèses et en sélectionnant soigneusement les pièces bien maillées, nous obtenons ce maillage final, qui sera utilisé par la suite pour effectuer les calculs.



Maillage final de la géométrie avec fenêtres

4 Calculs sur AsterStudy et interprétation des résultats

4.1 Calcul de la force appliquée sur le modèle

Les murs orientés face au vent ont une surface donnée par :

$$A_{\text{murs}} = 2 \cdot (\text{largeur} \cdot \text{hauteur}) = 2 \cdot (8.4 \cdot 3) = 50.4 \text{ m}^2$$

Le toit est composé de deux pans inclinés avec un angle de 23° . La surface projetée face au vent est donnée par :

$$A_{\text{toit_proj}} = \text{longueur} \cdot \text{largeur} = 14.9 \cdot 8.4 = 125.16 \text{ m}^2$$

a) Force sur les murs : La force exercée sur les murs orientés face au vent est calculée comme suit :

$$F_{\text{murs}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_{\text{murs}} \cdot C_d = \frac{1}{2} \cdot 1.225 \cdot 20^2 \cdot 50.4 \cdot 1.2 = 14,774.4 \text{ N}$$

b) Force sur le toit : La force exercée sur le toit, en prenant en compte un coefficient de traînée de 0.8, est donnée par :

$$F_{\text{toit}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_{\text{toit_proj}} \cdot C_d = \frac{1}{2} \cdot 1.225 \cdot 20^2 \cdot 125.16 \cdot 0.8 = 24,483.84 \text{ N}$$

c) Force totale : La force totale exercée sur le modèle est la somme des forces appliquées sur les murs et sur le toit :

$$F_{\text{total}} = F_{\text{murs}} + F_{\text{toit}} = 14,774.4 + 24,483.84 = 39,258.24 \text{ N}$$

4.2 Cas de la géométrie 1 : sans fenêtres

Les paramètres principaux utilisés sont les suivants :

- Conditions aux limites : (décris les contraintes, appuis, etc.),
- Matériaux : (propriétés élastiques, densité, etc.),
- Types d'analyse : (statique, dynamique, thermique, etc.).

. Concernant les conditions aux limites, on considère (pour avoir plus de facilité de calcul) que la base de la maison est encastrée dans le sol. Puis, on applique les différentes forces sur les surfaces et/ou volumes concernées : la gravité sur la totalité de la structure et la force du vent sur les faces choisies.

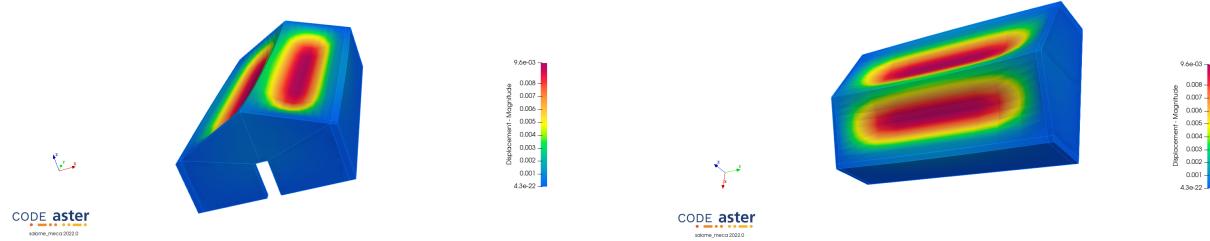
- . Pour le choix des matériaux : les murs seront considérés en béton/bois et le toit en brique.
- . Et finalement, pour le choix de l'analyse, on testera un calcul statique.

Voici les caractéristiques des matériaux utilisés, considérés élastiques :

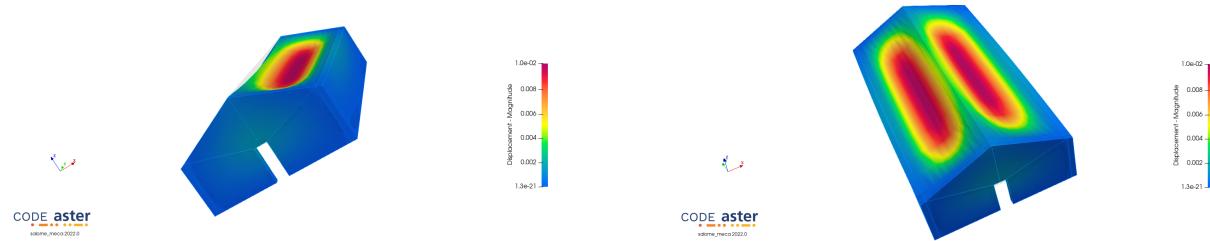
- . Pour le béton : $E = 35 \cdot 10^9 \text{ Pa}$, $\nu = 0.3$ et $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$.
- . Pour le bois : $E = 312 \cdot 10^9 \text{ Pa}$, $\nu = 0.2$ et $\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$.
- . Pour la brique : $E = 14 \cdot 10^9 \text{ Pa}$, $\nu = 0.3$ et $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$.

4.3 Résultats obtenus pour la géométrie 1

Les résultats du calcul sont présentés sous forme de figures.



Résultat du calcul sur des murs en béton et toit en brique



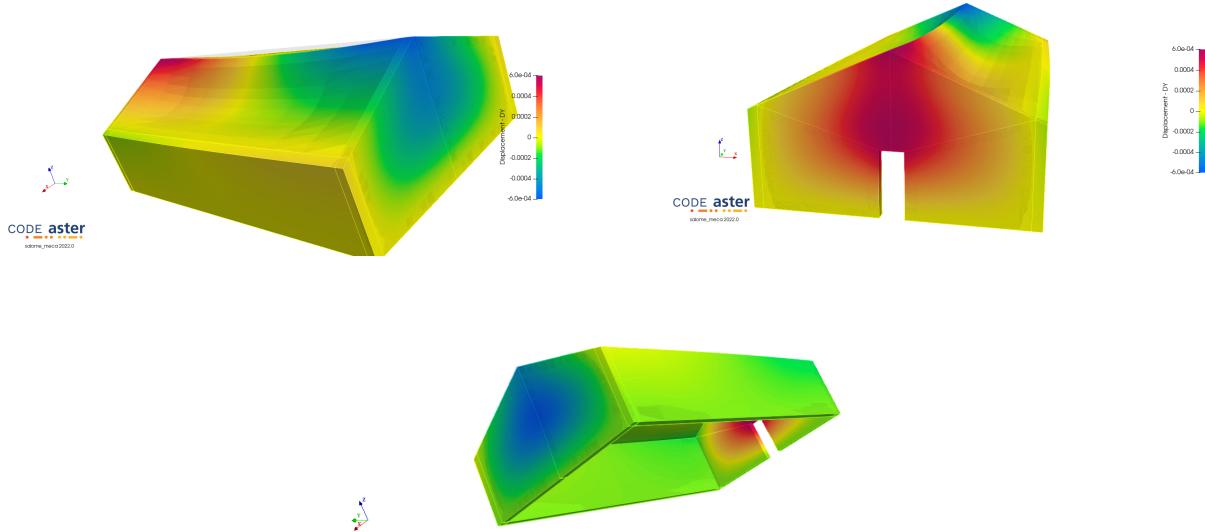
Résultat du calcul sur des murs en bois et toit en brique

Analyse des résultats :

Il s'agit de l'analyse d'une application de force sur toutes les faces externes de la maison :

- Déplacements : pour les 2 calculs, on remarque le déplacement du toit vers l'intérieur. De plus, lors du changement du matériau béton/bois, on remarque plus de déplacement sur les zones sensibles comme le contour de la porte.

- Interprétation physique : on remarque que la solidité et résistance du matériau apparaît plus clairement à proximité des zones "ouvertes" (dans cette exemple, la porte).



Résultat du calcul : déplacements suivant DY

Les 2 premières images représentent les déplacements suivant DY pour la maison en béton. La 3ème image correspond à la maison en bois.

Comme on peut le remarquer, avec le matériau moins résistant (le bois), les déplacements sont plus importants : le code couleur nous permet de remarquer les changements. En effet, les déplacements de couleur jaune (très proche de 0m) dans les 2 premières images évoluent en des déplacements de couleur verte dans la 3ème (à peu près -0.0002m, soit 0.2mm). Le signe du déplacement dépend de la direction du vecteur Y.

4.4 Cas de la géométrie 2 : ajout des fenêtres

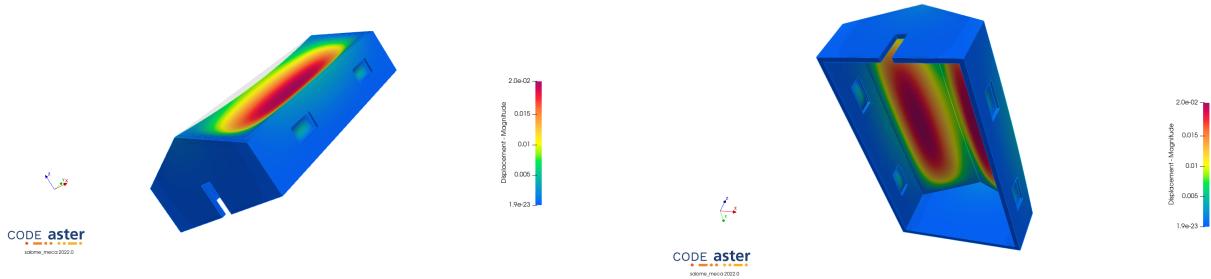
On utilisera à présent les mêmes conditions et paramètres appliqués pour la géométrie sans fenêtres. On ajoutera uniquement les fenêtres en verre, tout en prenant compte du nouveau maillage.

Voici les caractéristiques du matériau ajouté, considéré élastique :

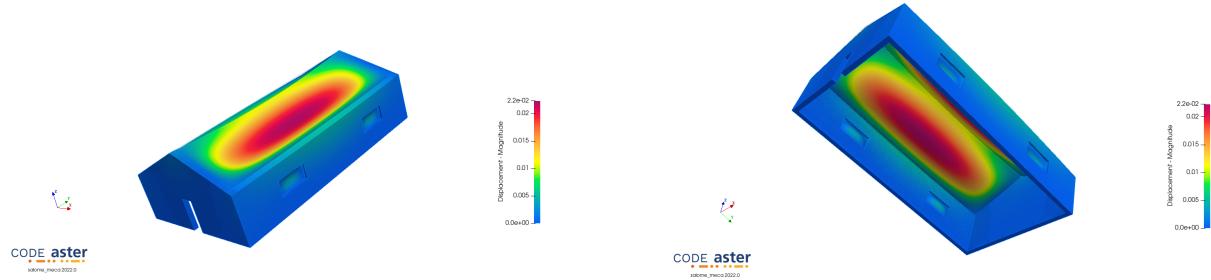
. Pour le verre : $E = 70 \cdot 10^9$ Pa, $\nu = 0.23$ et $\rho = 2500$ kg/m³.

4.5 Résultats obtenus pour la géométrie 2

Les résultats du calcul sont présentés sous forme de figures.



Résultat du calcul sur des murs en béton, toit en brique et fenêtres en verre



Résultat du calcul sur des murs en bois, toit en brique et fenêtres en verre

Analyse des résultats :

- Déplacements : comme pour les calculs précédents, on remarque le déplacement du toit vers l'intérieur. De plus, lors de l'ajout des fenêtres en verre, un matériau fragile, on remarque un mouvement vers l'intérieur. Lors du changement du matériau béton/bois, on remarque également plus de déplacement sur les zones sensibles comme les parties des murs entre les fenêtres.
- Interprétation physique : on remarque que l'ajout des fenêtres augmente la sensibilité de quelques parties de la maison qui n'étaient pas affectées auparavant (les murs gauche et droit).

5 Conclusion

Ce projet a permis d'explorer la modélisation numérique et l'analyse de structures résidentielles soumises à des conditions climatiques extrêmes à l'aide de la plateforme Code_Aster. À travers les différentes étapes, allant de la création de la géométrie simplifiée de la maison jusqu'aux simulations de charges de vent, nous avons pu observer l'impact significatif des paramètres géométriques et des matériaux sur le comportement de la structure.

Les résultats obtenus montrent que :

- La présence de fenêtres dégrade la résistance de la maison et augmente les déplacements sous l'effet des vents violents.
- Le choix des matériaux joue un rôle critique dans la déformation globale. Le béton, plus résistant que le bois, présente moins de déplacements, mais reste sensible aux zones ouvertes comme les fenêtres et la porte.

Enfin, ce projet a également mis en évidence l'importance de maîtriser les étapes de maillage et de création de groupes pour garantir la conformité et la fiabilité des simulations.

Cette étude ouvre des perspectives pour des analyses futures, notamment sur l'amélioration des

techniques de maillage, l'optimisation des processus de création de groupes et l'ajout d'autres types de matériaux ou configurations structurelles. Une étude paramétrique plus poussée pourrait également être envisagée, en variant certains paramètres critiques tels que l'épaisseur des murs, la forme du toit ou la vitesse du vent appliquée.

Références

- [1] Plan de la maison : Disponible sur : <https://www.syma-maisonbois.fr/MAISON%20BOIS%20URVE.htm>
- [2] Modules d'Young et coefficients de Poisson : Disponible sur : https://www.simulationmateriaux.com/ComportementMecanique/comportement_mecanique_Liste_modules_de_Young.php
- [3] Informations sur la force du vent : Disponible sur : <https://www.kroftman.com/wp-content/uploads/2020/07/Wind-speed-and-resulting-wind-load.pdf>