

Chapitre 5

La méthode d'octree modifiée

5-1 Introduction :

L'évolution continue de la technologie oblige les ingénieurs à se pencher sur des problèmes de plus en plus complexes. Or, pour aborder ces projets, l'ingénieur a besoin de modèles lui permettant la simulation du comportement de systèmes physiques compliqués.

L'utilisation de la méthode des éléments finis implique la décomposition du modèle géométrique étudié en petits éléments appelés éléments finis. Dans l'espace à trois dimensions, le processus de décomposition doit générer un ensemble de boîtes ou volumes élémentaires collés les uns aux autres de façon à représenter au mieux le volume de l'objet. Ce processus peut être réalisé par une méthode qui est basée sur une décomposition spatiale de l'objet et qui utilise la structure hiérarchique de décomposition nommée méthode d'octree modifiée.

L'intérêt d'automatiser l'étape de décomposition d'un modèle géométrique en

éléments permet à l'ingénieur de se concentrer exclusivement sur le solide, le raffinement sélectif du maillage, et sur la méthode mathématique de résolution des problèmes physiques, afin d'éviter ainsi les turpitudes liées à la réalisation du maillage. Le mailleur doit tenir compte de plusieurs phénomènes utiles aux futurs calculs mathématiques :

- i. L'objet à mailler doit être divisé en éléments dont les modèles sont parfaitement définis théoriquement, et satisfont à une seule règle : la simplicité. Ce sont des éléments tels que : les tétraèdres, les prismes, les hexaèdres, les pyramides, etc. Le mailleur devra choisir les éléments les mieux appropriés à son problème.
- ii. Le mailleur doit absolument tenir compte de la géométrie et de la topologie de l'objet lors de la décomposition, et permettre un raffinement sélectif ou local en fonction des lois physiques impliquées dans le problème.
- iii. L'une des propriétés d'un bon mailleur est que la qualité de la solution obtenue en procédant par une analyse par éléments finis dépend de la finesse du maillage. Cependant, élaborer un maillage uniforme et très fin sur l'ensemble du solide constituerait une tâche trop coûteuse en temps d'analyse, de calcul, et en espace mémoire. C'est pourquoi il est important d'optimiser la décomposition en contrôlant la finesse du maillage d'après les informations contenues sur le solide. En d'autres termes, la concentration d'éléments sera plus ou moins élevée selon les zones plus ou moins tourmentées. Ainsi, il sera important de maximiser la densité d'éléments dans les endroits où les gradients anticipés de solution sont importants. L'utilisation d'estimateurs d'erreur pour contrôler le raffinement sélectif est tout indiqué dans ce processus.

L'objectif de ce chapitre est de décrire le processus de génération de maillage en trois dimensions en utilisant la méthode d'octree modifiée. Il existe plusieurs

variantes de la méthode originale [20-22, 24-26]. Dans la plupart de ces méthodes, on trouve les octants coupés par différentes configurations de surfaces frontières. Donc, on arrive à de nombreuses formes d'objet sur les frontières (4096 cas différents ont été inventoriés à ce jour) [20-22, 24-26] et ceci est difficile à manipuler et à mailler en éléments finis.

Dans cette thèse, et ce qui constitue une approche originale à ce problème, on utilise une autre approche qui consiste en la génération indépendante d'octants frontières entre les octants intérieurs et les surfaces frontière. De cette façon, on résout non seulement le problème d'approximation des surfaces frontière, mais aussi, on réduit les différentes formes d'objet sur les frontières en une simple forme qui est un octant frontière, facile à mailler et manipuler.

Parmi les avantages de cette méthode, citons le fait que les calculs relatifs aux propriétés géométriques de l'objet (i.e. surface, volume, centre de gravité, ...) sont facilement réalisables. Une autre qualité, beaucoup plus importante dans le cas de notre étude, est la possibilité, dans une organisation hiérarchique, de faire varier la résolution (i.e. la profondeur de la décomposition) d'une région à une autre.

5-2 Modélisation géométrique de l'objet :

Un bon maillage d'éléments finis a besoin d'une bonne modélisation géométrique de l'objet, aussi bien au niveau géométrique qu'au niveau topologique. La géométrie (formes, positions et dimensions) du modèle doit être similaire à celle de l'objet original et les relations entre les entités définissant le modèle doivent être bien représentées par le modèle.

La modélisation par les surfaces B-splines rationnelles non-uniformes composites "NURBS" (voir la section 3-4-1-3, 3-4-1-4 et 3-5 du chapitre 3) peut répondre à nos besoins. On peut modéliser n'importe quelle forme en trois dimensions par un nombre limité de surfaces NURBS [46, 48, 50] et de surfaces planes.

Supposons que $V_i = (x_i, y_i, z_i)$ soit un point de contrôle dans l'espace à 3 dimensions, alors le point de contrôle correspondant en coordonnées homogènes est défini par :

$$V_i^h = (h_i x_i, h_i y_i, h_i z_i, h_i) \quad \text{avec } h_i \neq 0 \quad (5.1)$$

On peut représenter la surface NURBS de degré "d" et "e" en directions u et w respectivement par :

$$R_{i,j}^{d,e}(u,w) = U N_u H(N_w)^T W^T \quad (5.2)$$

où :

$$U = [1, u, u^2, \dots, u^d]$$

$$W = [1, w, w^2, \dots, w^e]$$

$$N_u : (d+1) * (d+1) \quad \text{matrice de coefficients avec } \Delta_i$$

$$N_w : (e+1) * (e+1) \quad \text{matrice de coefficients avec } \Delta_j$$

$$H = \{V_{r,c}^h : r = i, \dots, i+d, c = j, \dots, j+e\} \text{ matrice des points de contrôle}$$

$$V_{r,c}^h = (h_{r,c} x_{r,c}, h_{r,c} y_{r,c}, h_{r,c} z_{r,c}, h_{r,c})$$

$$V_{r,c} = (x_{r,c}, y_{r,c}, z_{r,c})$$

h_{ij} : poids homogènes

La matrice N (matrice de coefficients de la courbe NURBS) pour le cas cubique est donnée par l'équation (3.73).

Normalement la surface bi-cubique B-spline composite présente une continuité d'ordre deux (C^2) entre les carreaux de surface adjacents d'une surface lisse. Toutefois comme dans le cas d'une courbe, si on répète les mêmes données pour deux lignes ou deux colonnes adjacentes, on obtient une continuité d'ordre (C^1) sur cette ligne ou colonne. Et, si on répète les mêmes données pour les trois lignes ou trois colonnes successives, on obtient une continuité d'ordre (C^0), la continuité de la fonction

seulement, (i.e. on peut introduire une discontinuité de la dérivée dans cette ligne ou colonne). De cette façon, on peut modéliser les bords et les coins de l'objet dans l'espace à trois dimensions par la surface cubique B-spline composite. Pour des raisons de simplicité et pour diminuer les données d'entrées, il est préférable de travailler avec deux types de surface : B-spline et surface plane.

On peut décrire l'objet à modéliser en donnant deux types de points et des listes de numéros des points pour chaque surface frontière. On doit préciser la condition des quatre arêtes de chaque surface. Une arête de la surface peut être sur le bord (edge) de l'objet ou non. Les deux types de points sont :

1. Les points de la première classe sont les points appartenant aux carreaux de surface des surfaces frontières.
2. Les points de la deuxième classe sont les points à l'intérieur de l'objet. Ces points sont utilisés pour définir le paramètre de contrôle de maillage en ces positions. Si, on veut un raffinement local dans un endroit de l'objet, on utilise ce type de points pour un contrôle local de la finesse du maillage.

Tout comme la deuxième classe, la première doit avoir un paramètre de contrôle de maillage. On peut trouver les paramètres de contrôle de maillage pour chaque point sur la frontière, en utilisant l'approximation B-spline ou, une autre méthode d'approximation,

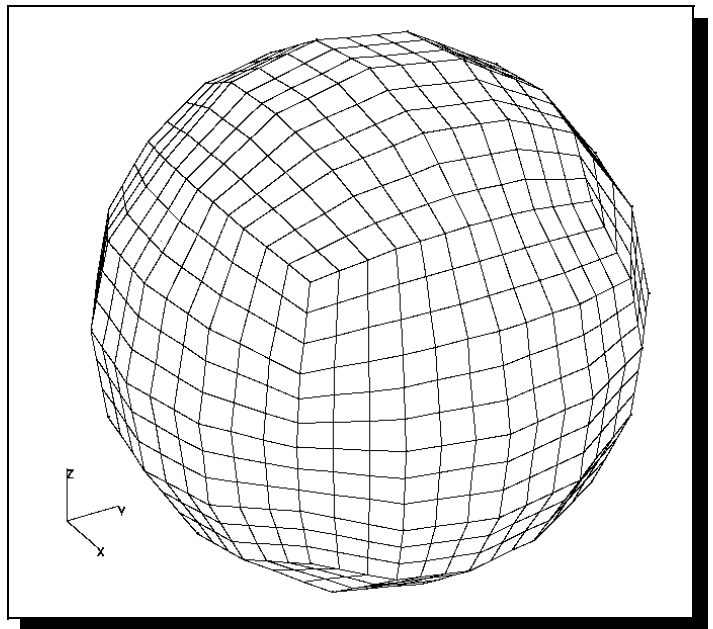


Figure 5-1 : Exemple d'une sphère.

des points de contrôle sur les frontières.

Les figures (5-1) et (5-2) présente les points utilisés dans l'exemple d'une sphère. Cet exemple est utilisé pour notre démarche dans toutes les sections de ce chapitre.

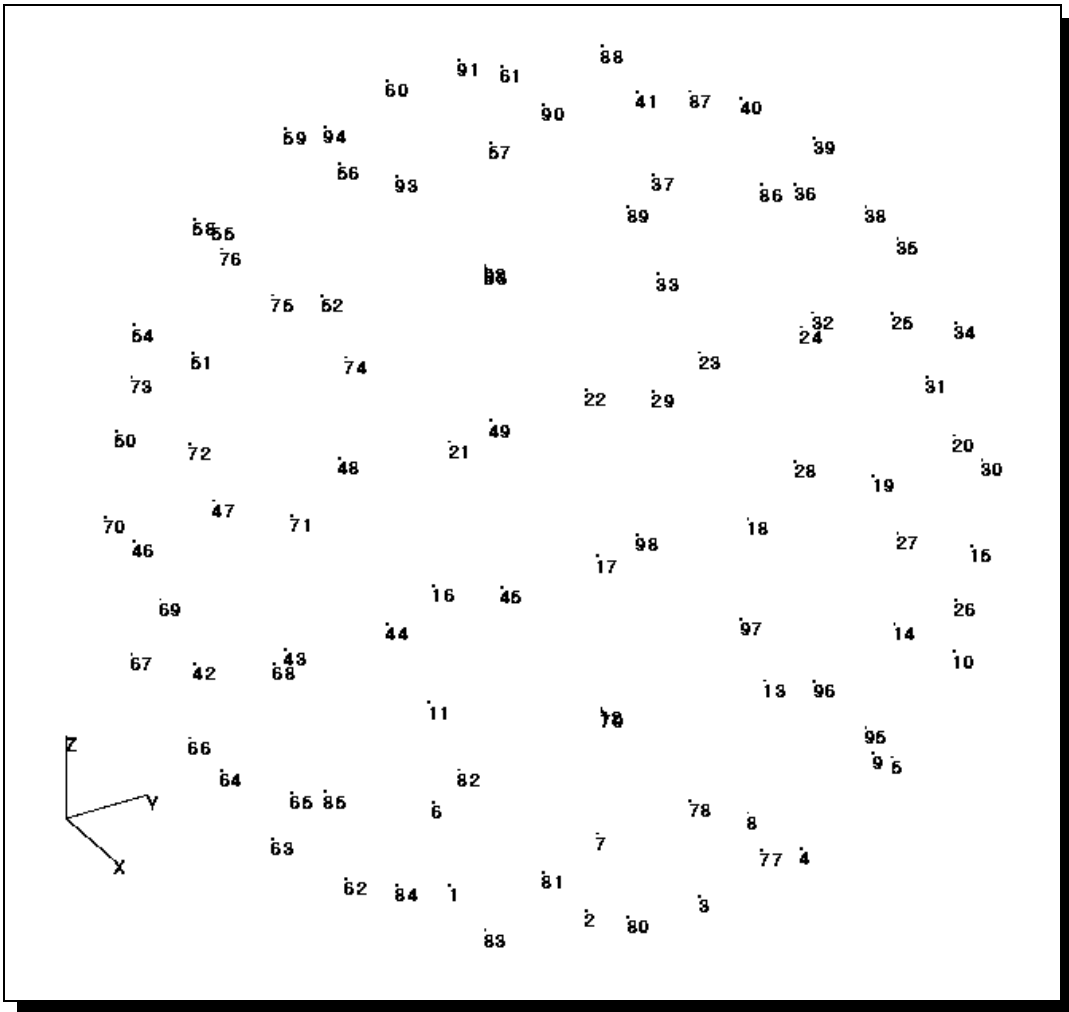


Figure 5-2 : Points donnés pour l'exemple d'une sphère.

La Figure (5-3) représente les surfaces frontières obtenues avec une représentation B-spline de la sphère en utilisant six surfaces B-spline.

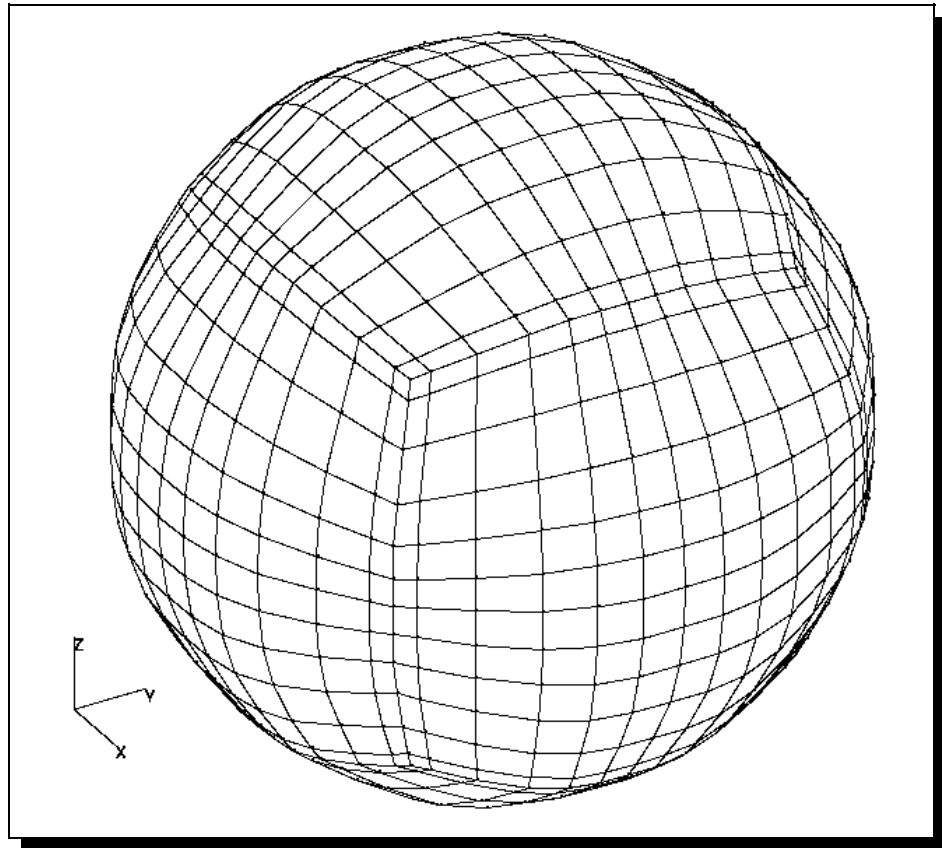


Figure 5-3 : Représentation B-spline de la sphère.

L'algorithme qui suit présente les étapes à suivre pour obtenir une représentation par surface B-spline composite bicubique lorsqu'on dispose de points (sous forme de tableau) sur cette surface :

1- Trouver les espacements nodaux $\{\nabla_i$ et $\nabla_j\}$:

- a. *Intervalles de support* : Une estimation raisonnable de la taille des espacements nodaux est de rendre ces espacements égaux à la longueur des cordes entre les points donnés. Dans ce cas, les espacements nodaux de support dans les directions u et w seront définis respectivement par :

$$\nabla_i = \sum_{j=0}^n |P_{i+1,j} - P_{i,j}| \quad \text{pour } i = 0, 1, \dots, m-1 \quad (5.3)$$

$$\nabla_j = \sum_{i=0}^m |P_{i,j+1} - P_{i,j}| \quad \text{pour } j = 0, 1, \dots, n-1$$

- b. *Intervalles auxiliaires* : Le vecteur des espacements nodaux étendu est complété en fixant les extrémités du vecteur à zéro i.e. :

$$\nabla_{-2} = \nabla_{-1} = 0 = \nabla_m = \nabla_{m+1} = \nabla_n = \nabla_{n+1} \quad (5.4)$$

- c. *Intervalles entre les points triples* : Les intervalles entre les lignes ou les colonnes triples sont nuls mais pour éviter la division par zéro dans les calculs, on choisit une valeur petite mais assez grande pour éviter la division par zéro.

2- Déterminer les points de contrôle intermédiaires C_{ij} :

Pour obtenir les vecteurs des points de contrôle intermédiaires, chaque colonne j des données d'entrée est interpolée par une courbe B-spline composite non-uniforme. C'est-à-dire que pour chaque colonne j , il faut interpoler une courbe à partir des points donnés. À cette fin, il suffit de résoudre le système d'équations linéaires (3.59), pour ($j = 0, 1, \dots, n-1$).

3- Déterminer les vecteurs de frontière d_i et e_j :

Les vecteurs de frontière seront calculés de la même manière que les points de contrôle intermédiaires le sont, mais en modifiant l'équation (3.59), et en remplaçant les points P par les vecteurs tangents T et les vecteurs tangents S par les vecteurs de torsion X (les vecteurs de frontière d_i et e_j remplacent à ce moment la matrice de C_{ij}). De cette façon, la première rangée et la dernière rangée de la matrice C contiendront les éléments d_i et e_j respectivement.

4- Déterminer les points de contrôle B-spline V_{ij} :

Pour ce faire, il suffit d'interpoler une courbe B-spline pour chaque rangée i de la matrice C , c'est-à-dire de la matrice des points de contrôle intermédiaires. La méthode utilisée ici est la même (résolution d'un système d'équations linéaires), mais cette fois, l'opération est effectuée dans le sens orthogonale (dans la direction des rangées, et non des colonnes comme précédemment). Pour chaque rangée i ($i = 0, \dots, m+2$), il suffit de résoudre le système d'équations linéaires (3.64).

5-3 Création des octants et de l'arbre octree :

L'objet à décomposer est d'abord enfermé dans un cube ayant comme arête le plus grand côté de l'objet (figure 5-4a). Ce cube est subdivisé en huit cubes identiques

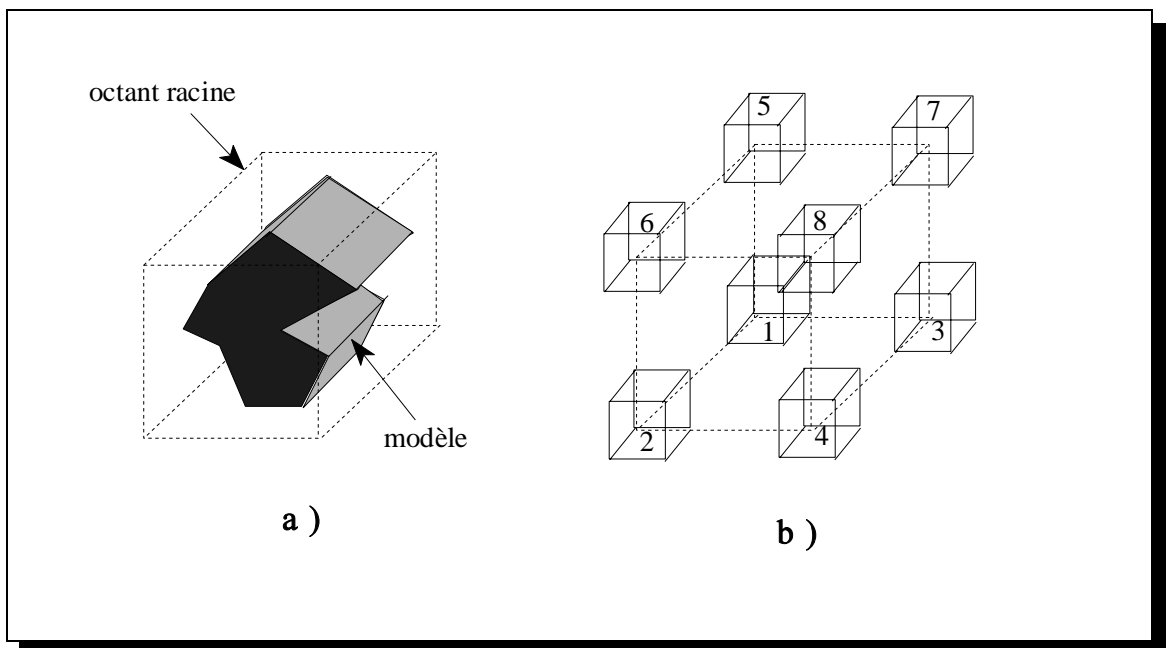


Figure 5-4 : Représentation de la décomposition par octree. a) L'objet à décomposer, b) Décomposition d'un octant père en huit octants fils.

appelés "octants" (figure 5-4b). De même, le cube d'origine sera appelé "octant racine". Chacun des octants fils est alors testé pour voir s'il se trouve à l'intérieur de l'objet (octant intérieur), à l'extérieur de celui-ci (octant extérieur), ou bien s'il est partiellement à l'intérieur et partiellement à l'extérieur (octant partiel). Seuls ces derniers seront de nouveaux subdivisés en huit sous-octants. Le processus précédent est répété jusqu'à atteindre les niveaux de décomposition désirés. Nous obtenons alors un arbre, l'octree ayant pour noeuds les octants partiels et pour feuilles les octants intérieurs, les octants extérieurs et les octants coupés (figure 5-5).

Puisque la méthode octree effectue la discrétisation d'un domaine sous la forme d'un ensemble de cubes, on pourrait être tenté d'utiliser directement cette décomposition pour mener l'analyse par éléments finis. Toutefois, si on se reporte aux conditions qu'un bon maillage doit vérifier (voir la section 1-4-1 propriétés essentielles d'un maillage), on constate que le schéma obtenu est susceptible de présenter les défauts suivants :

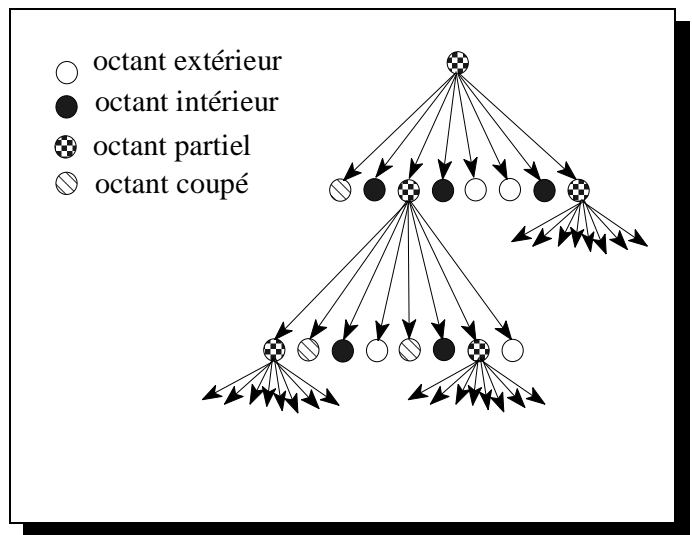


Figure 5-5 : Arbre octree.

3. L'intérieur du domaine pourrait être représenté par un petit nombre de gros éléments [2].
4. Des octants voisins peuvent se trouver à des niveaux de subdivision différents [2].

Des traitements particuliers devront être envisagés pour les arêtes et les coins des octants se trouvant sur la face ou le long d'une arête d'un octant voisin afin

d'assurer la continuité entre éléments finis.

5. Similaire à la méthode quadtree, la présentation de la frontière réelle est mauvaise en particulier là où la frontière n'est ni verticale, ni horizontale ; dans ces zones la frontière sera représentée par des marches d'escalier susceptibles de fausser les résultats de l'analyse.

Les deux premiers points pourraient être réglés en imposant des contraintes sur les niveaux minimaux de différence de maillage entre les octants voisins, et en créant des éléments finis capables d'assurer la transition entre éléments de niveaux de subdivision différents. Le troisième point exige, lui, une refonte très importante du principe de traitement des éléments de frontière. Dans cette thèse, nous générons les octants frontières entre les faces libres des octants intérieurs et les surfaces frontière.

On peut présenter la procédure de génération de l'arbre octree sous la forme d'un algorithme récursif suivant :

Algorithme : Tester_subdiviser_octant (octant, niveau)

Début

Si Max_paramètre_de_contrôle > niveau alors

Diviser_octant_en_huit;

Compléter_voisinage;

Pour i = 1 to 8 faire

Tester_subdiviser_octant (octant(i), niveau+1);

Finfaire;

Finsi;

Fin;

Les résultats de cet algorithme sont similaires à ceux de l'ancienne méthode

parce que les paramètres de contrôle de maillage normalement se trouvent sur les frontières.

La figure (5-6) présente la génération des octants pour l'exemple d'une sphère.

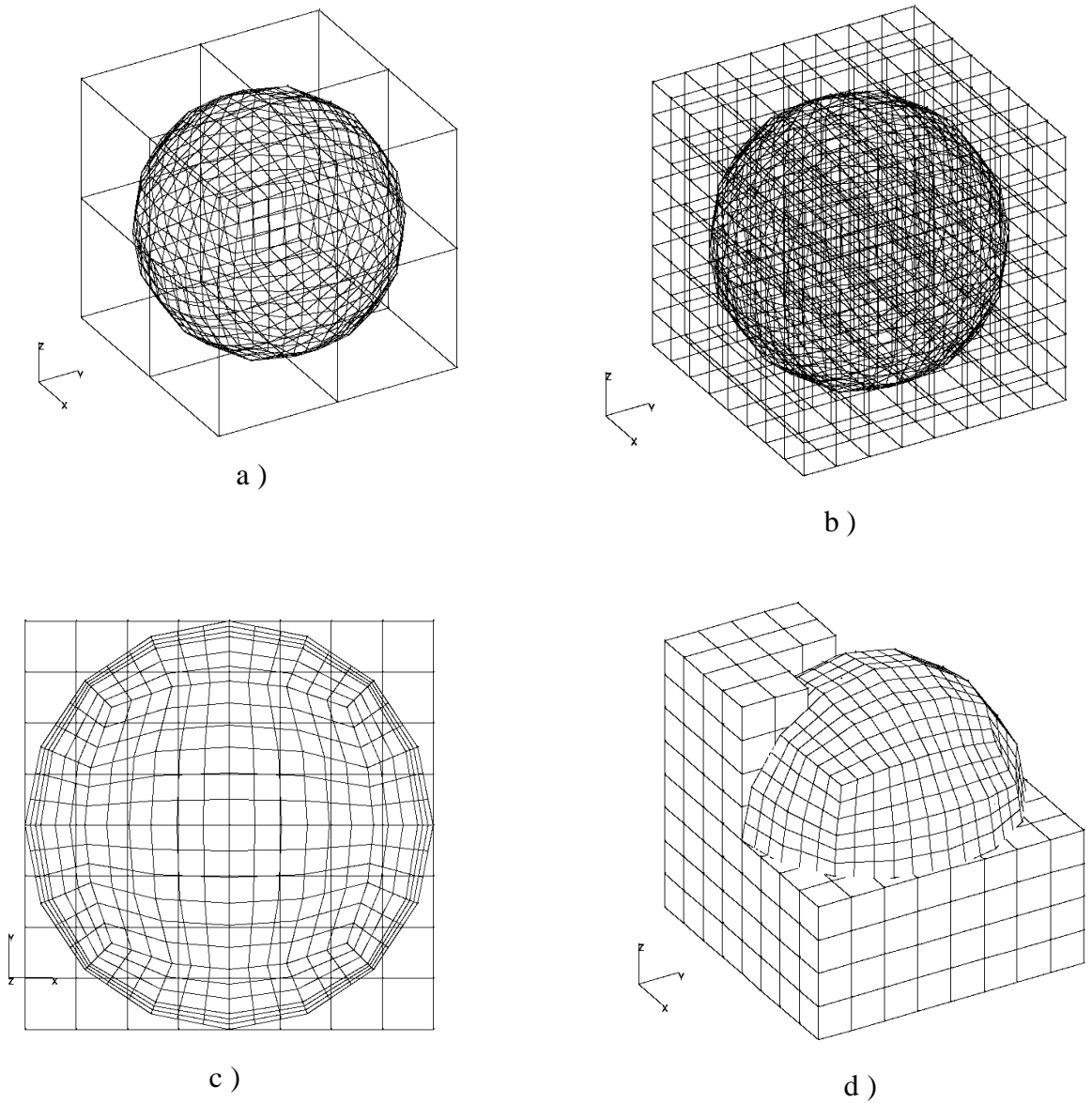


Figure 5-6 : Génération des octants pour l'exemple d'une sphère.

5-4 Différence d'un niveau de subdivision :

Dans la section précédente, on a parlé du problème de génération d'un petit nombre de gros éléments à l'intérieur du domaine et aussi de la possibilité d'avoir des octants voisins (voisin d'arête et voisin de face) ayant des différences de niveaux de subdivision élevés. Afin de régler ce problème et d'assurer la continuité entre éléments finis, on peut imposer la contrainte de la *différence d'un seul niveau subdivision* sur les niveaux minimaux de différence de maillage entre les octants voisins (voisin d'arête et voisin de face). Donc, on s'assure que deux octants voisins n'ont pas plus d'un niveau de subdivision de différence ; si nécessaire, on effectue des subdivisions supplémentaires pour que cette condition soit vérifiée. De cette manière, on a un passage lisse entre les octants voisins (voisin d'arête et voisin de face) et on peut créer des éléments finis capables d'assurer la transition entre des niveaux de subdivision différents. L'étape de l'imposition de la différence d'un niveau de subdivision normalement doit être faite après la génération de l'arbre octree, mais pour améliorer le temps d'exécution du programme et éviter l'augmentation des voisinages des octants, on peut vérifier cette condition à chaque fois qu'on subdivise un octant dans le processus de génération de l'arbre octree.

L'algorithme suivant présente l'algorithme modifié qui permet de tester et subdiviser un octant pour s'assurer de la condition de la différence d'un niveau de subdivision :

Algorithme : Tester_subdiviser_octant (octant, niveau)

Début

Si Max_paramètre_de_contrôle > niveau alors

Diviser_octant_en_huit;

Compléter_voisinage;

```

Pour tous les octants voisins faire
    Si vérifier_un_niveau_différence(octant_voisin) != ok alors
        Tester_subdiviser_octant (octant_voisin,
            niveau_octant_voisin);
    Finsi;
Finfaire;
Pour i = 1 to 8 faire
    Tester_subdiviser_octant (octant(i), niveau+1);
Finfaire;
Finsi;
Fin;

```

5-5 Classification des octants :

Tous les octants ayant une intersection avec les surfaces frontières sont nommés octants partiels. On peut trouver les octants partiels soit par la méthode présentée dans le chapitre 3, section (3-6-4) ou, soit par une méthode de vérification de l'intersection des octants avec les surfaces frontière. Comme nous l'avons déjà mentionné, un gros problème de génération de maillage en utilisant la méthode d'octree modifiée est celui de trouver les octants coupés par les frontières du solide (voir chapitre 2, section 2-5). Pour trouver chaque octant coupé, on doit calculer les intersections de l'octant partiel père avec une ou plusieurs surfaces de frontière, ce qui est très lourd à faire et demande beaucoup de calculs d'intersection. Mais si on veut trouver seulement les octants partiels, on n'a pas besoin de faire le calcul d'intersection.

Ici, on génère les points sur les surfaces frontière. Ces points doivent être séparés d'une distance plus petite que la taille du maillage dans deux directions paramétriques. Donc, on est sûr que pour deux points successifs, s'ils ne sont pas

dans le même octant ils sont dans deux octants voisins (soit voisin de face ou voisin d'arête ou voisin de coin). Dans le cas de voisinage d'arête, on marque tous les octants voisins de cette arête, et dans le cas de voisinage au coin, on marque tous les octants voisins de ce point. Donc, en suivant les points sur les surfaces frontière, on peut marquer les octants partiels. Ici, on n'a pas utilisé des calculs d'intersection, mais, on détecte seulement si un point appartient à un octant ou non.

On va ensuite distinguer les octants faisant partie de l'intérieur de l'objet de ceux qui sont à l'extérieur. La méthode que nous avons développée à cette fin a été poétiquement baptisée "méthode du ballon gonflable".

Partant d'un octant quelconque mais non partiel, on progresse à la façon d'une souris dans un labyrinthe, si possible à gauche, sinon en avant, autrement à droite ou en arrière, en haut ou en bas. Les obstacles sont les octants partiels de surfaces extérieures ou intérieures, et les limites du cube racine de l'octree original. On utilise pendant cette phase les relations de voisinage calculées auparavant. Lorsqu'on ne peut plus avancer (la progression s'est fait récursivement), on regarde la nature des différents obstacles rencontrés pendant la progression. Ceci permet de déterminer le type d'octants par lesquels on vient de passer. Par exemple, si on n'a rencontré que des octants partiels coupés par des surfaces intérieures, les octants sont extérieurs à l'objet : on vient de "gonfler le ballon" dans un des trous de l'objet. Par contre si on a rencontré à la fois des octants partiels coupés par des surfaces intérieures et des surfaces extérieures, les octants parcourus sont intérieurs. Et si on a rencontré les octants partiels de surfaces extérieures et les limites du cube racine de l'octree original, les octants sont extérieurs à l'objet.

On peut présenter cette étape sous la forme d'un algorithme comme suit :

Algorithme de classification des octants :

- 1. Marquer tous les octants partiels.**
- 2. Pour tous les octants qui ne sont pas marqués faire :**

- a. Liste_octants_inconnus = NUL;
- b. test_int = 0;
- c. test_ext = 0;
- d. test_limit = 0;
- e. Tester Octant ;
- f. Si test_int == 1 et test_ext == 0 marquer tous les octants dans la liste "Liste_octants_inconnus" à octant extérieur;
- g. Si test_int == 1 et test_ext == 1 marquer tous les octants dans la liste "Liste_octants_inconnus" à octant intérieur;
- h. Si test_ext == 1 et test_limit == 1 marquer tous les octants dans la liste "Liste_octants_inconnus" à octant extérieur;
- i. Autrement arrêter avec un message erreur.

Tester Octant :

- 1. Marquer l'octant inconnu et ajouter dans la liste "Liste_octants_inconnus";
- 2. Si l'octant a un octant voisin partiel de la surface intérieure test_int = 1;
- 3. Si l'octant a un octant voisin partiel de la surface extérieure test_ext = 1;
- 4. Si l'octant a un voisin de type limite test_limit = 1;
- 5. Pour tous les octants voisins de cet octant qui ne sont pas marqués faire:
 - a. Tester Octant;

Dans les étapes suivantes, on n'a pas besoin des octants partiels et des octants extérieurs, donc on peut les éliminer de l'arbre octree. La figure (5-7) présente les octants intérieurs pour l'exemple d'une sphère.

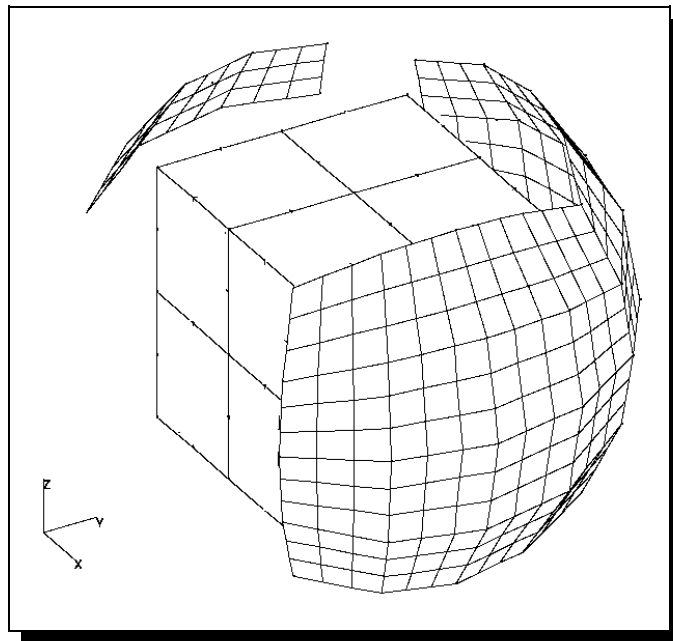


Figure 5-7 : Octants intérieurs pour l'exemple d'une sphère.

5-6 Génération des octants frontières :

5-6-1 Génération des octants :

Une des étapes la plus délicate dans le processus de décomposition de l'objet est la représentation de la frontière. Dans l'ancienne méthode, les octants coupés sont construits à partir des intersections entre les surfaces frontières et les octants partiels (figure 5-8).

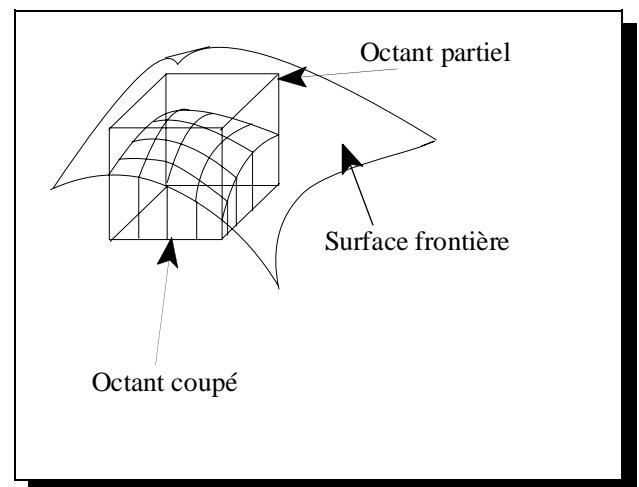


Figure 5-8 : Formation des octants coupés.

Toutefois, ceci introduit les

difficultés suivantes :

- ◆ Certains éléments de frontière peuvent désormais être constitués de segments démesurément petits.

Ceci peut par exemple se produire dans le cas où la surface coupe un octant partiel à proximité d'un de ces coins. Ces petits segments sont généralement indésirables car ils sont souvent à l'origine d'éléments particulièrement déformés, ou beaucoup plus petits que leurs voisins.

- ◆ Certains éléments de frontière peuvent être rendus géométriquement complexes.

De ce fait, on ne pourra pas utiliser des gabarits prédéfinis pour introduire les éléments finis dans les octants frontières (contrairement à ce qui sera fait pour les octants intérieurs). Il faudra développer des algorithmes spécifiques.

- ◆ Il existe de nombreux cas d'octants coupés (coupé à un, deux, trois ou quatre arête(s) et par un, deux, ... surface(s) etc.). Donc, on arrive à de multiples formes d'objet sur les frontières (4096 cas différents) [20-22, 24-26] qui sont difficiles à manipuler et à mailler en éléments finis.

Pour résoudre ces problèmes, nous présentons une nouvelle approche de formation des octants frontières. Au lieu de modifier les octants partiels pour arriver aux octants frontières, on peut générer les octants frontières en utilisant les informations emmagasinées dans les octants intérieurs et les surfaces frontières. Ici dans la première étape, on génère les octants frontières entre les faces libres des octants intérieurs et les surfaces frontières.

Supposons que les points Q_1, Q_2, Q_3 et Q_4 sont les quatre coins de la face libre f d'un octant intérieur (figure 5-9). On trouve les points P_1, P_2, P_3 et P_4 sur la surface frontière qui sont situés à une distance minimum des points Q_1, Q_2, Q_3 et Q_4 respectivement et tels que les segments $(Q_1 P_1), (Q_2 P_2), (Q_3 P_3)$ et $(Q_4 P_4)$ n'intersectent aucun octant existant. Le nouvel octant frontière est alors défini par les

points : $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, P_1, P_2, P_3$ et P_4 .

Lorsqu'on élimine les octants partiels, les octants intérieurs voisins de ces octants sont normalement à un niveau de subdivision une fois inférieure à celui de ces derniers à cause de l'imposition de la différence d'un seul niveau de subdivision. Donc il est préférable de générer les

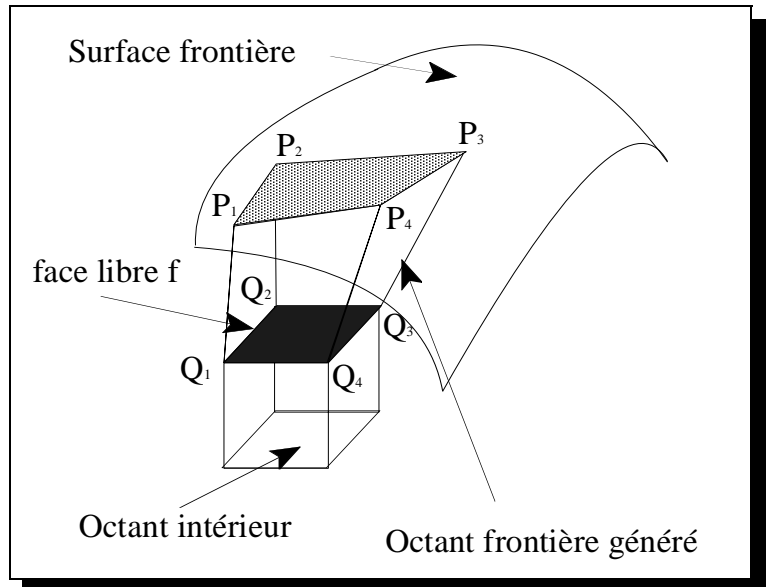


Figure 5-9 : Génération des octants frontières entre la face libre d'octant intérieur et la surface frontière.

octants frontières un niveau plus petit que les octants intérieurs. Pour cette raison, on génère les quatre octants frontières sur la face entièrement libre d'un octant intérieur, en utilisant les points au milieu de chaque côté et le point au centre de la face libre.

Pour trouver le point sur une surface située à une distance minimum d'un point donné, on peut faire la projection du point sur la surface (voir la section 3-6-2 du chapitre 3). La figure (5-10) présente une vue en coupe des octants frontières générés après la première étape de génération des octants frontières pour l'exemple de la sphère.

Il est possible que le segment situé à une distance minimum, coupe un des octants existants, si c'est le cas, on doit sélectionner un autre vecteur normal. Si tous les vecteurs normaux passent par les octants existants, on doit trouver le point situé à distance minimale par une autre méthode. Par exemple, on peut commencer avec un point trouvé précédemment et ensuite on se déplace à droite ou à gauche, d'un petit pas sur la surface frontière, étape par étape en essayant de trouver un point qui ne coupe pas les autres octants. Il est aussi possible qu'il existe des problèmes sur les positions des points Q_i et P_i , si c'est le cas, nous avons alors des octants assez

déformés. On peut éviter ce problème dans cette étape en bougeant un peu le point P_i , ou, en le laissant se résoudre automatiquement lors de l'étape de lissage intérieur qui déplace les points Q_i . Si quelques points P_i coïncident, l'octant généré n'est pas un octant complet. Cette situation doit être considérée au moment de la génération du maillage à partir des octants.

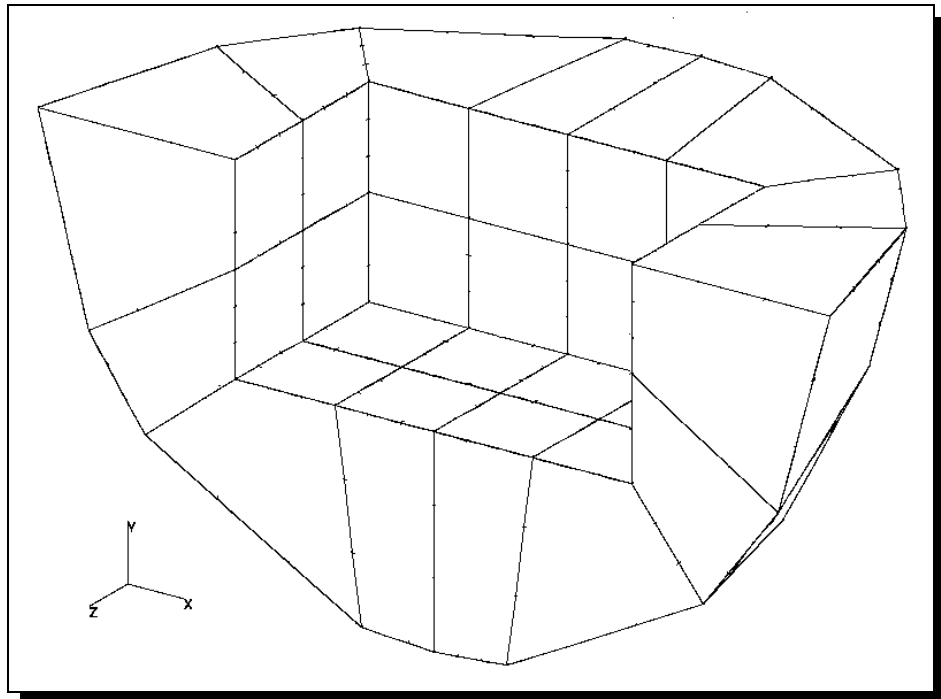


Figure 5-10 : Octants frontières générés pour l'exemple de la sphère.

La figure (5-11) présente les différentes étapes de génération de maillage jusqu'à correction des octants frontières pour l'exemple d'un hexaèdre.

Il est évident à partir de la figure (5-11d) que les bords et les coins de l'objet ne sont pas bien représentés dans cette forme intermédiaire. Donc on a besoin d'une étape pour corriger les octants.

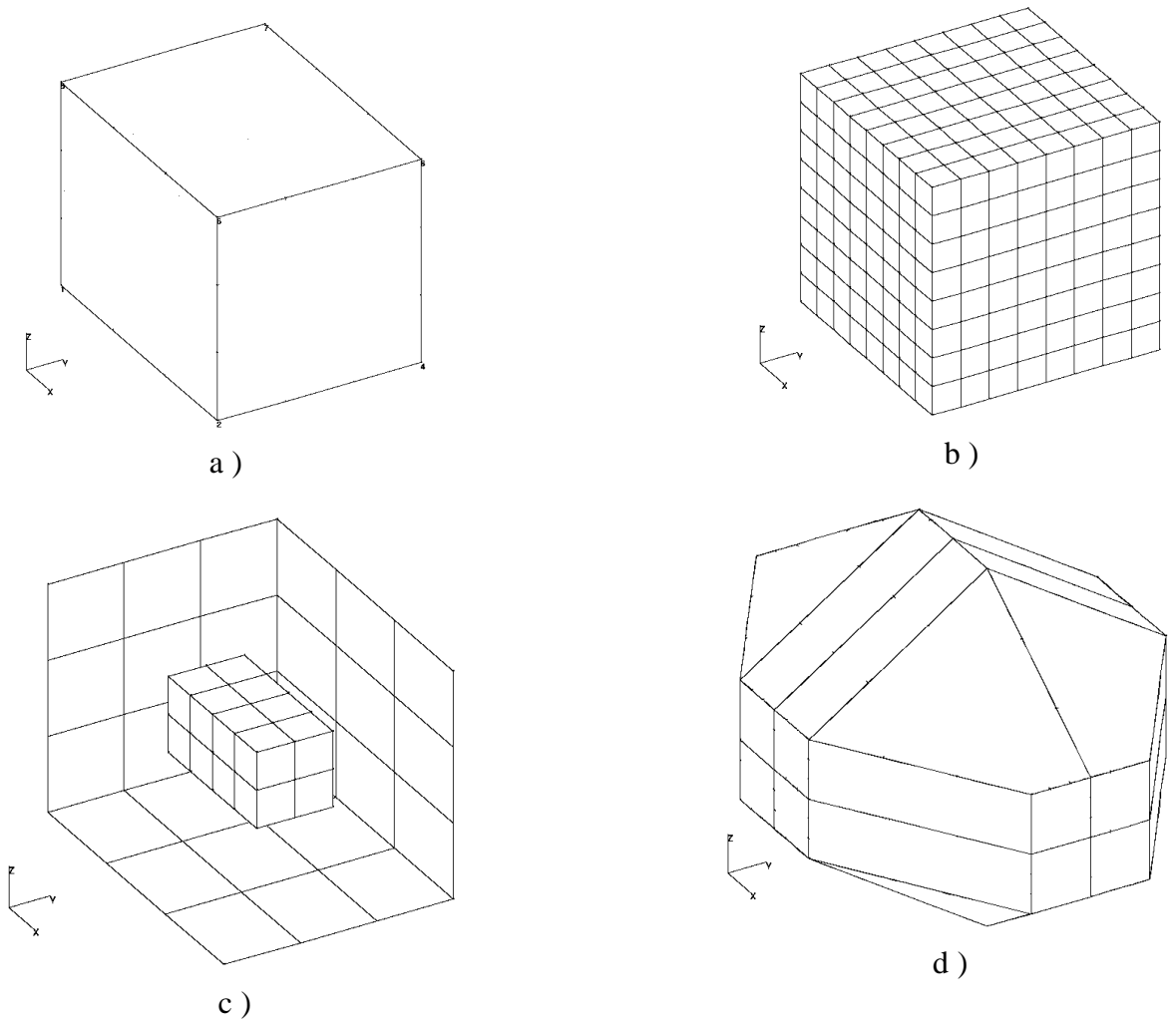


Figure (5-11) : Différentes étapes de génération de maillage jusqu'à correction des octants frontières pour l'exemple d'un hexaèdre. a) les points donnés, b) génération des octants, c) octants intérieurs, d) octants frontières avant correction.