

Mailleur 3D en topologie "cylindrique"

Paul-Louis George, A. Golgolab

► **To cite this version:**

Paul-Louis George, A. Golgolab. Mailleur 3D en topologie "cylindrique". RT-0100, INRIA. 1988, pp.35. inria-00070066

HAL Id: inria-00070066

<https://hal.inria.fr/inria-00070066>

Submitted on 19 May 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INRIA

UNITÉ DE RECHERCHE
INRIA-ROCOUENCOURT

Institut National
de Recherche
en Informatique
et en Automatique

Domaine de Voluceau
Rocquencourt
BP 105
78153 Le Chesnay Cedex
France
Tél (1) 39 63 55 11

Rapports Techniques

N° 100

MAILLEUR 3D EN TOPOLOGIE "CYLINDRIQUE"

Programme 7

Paul Louis GEORGE
Ardeshir GOLGOLAB

OCTOBRE 1988



★ R T . 0 1 0 0 ★

MAILLEUR 3D EN TOPOLOGIE "CYLINDRIQUE"

Paul Louis GEORGE Ardeshir GOLGOLAB
INRIA
BP105
78153 Le Chesnay Cedex
France

RESUME:

De nombreux domaines à mailler, en vue d'un calcul par la méthode des éléments finis, présentent la propriété d'être topologiquement des "cylindres". Plus précisément un maillage 2D d'une surface de référence permet de déduire, via une transformation, les couches successives de topologie identique formant le maillage 3D du domaine.

Cette technique d'empilement est très simple tant du point de vue "géométrique" que du point de vue "connectique" (i.e. la numérotation des sommets 3D). En contrepartie, la description des caractéristiques physiques du problème à traiter est plus délicate. Il s'agit de pouvoir affecter les coefficients des matériaux, les valeurs des efforts et des encastremements éventuels,... Cette affectation se fait via le repérage global des faces, arêtes, sommets par des numéros de référence et celui des éléments par un numéro de sous-domaine .

Ce papier présente une méthode de maillage applicable dans cette classe géométrique de domaines et traite des différentes phases d'un tel processus.

3D MESH GENERATION IN "CYLINDRICAL" TOPOLOGY

ABSTRACT:

In the view of Finite Element computation one has to create an appropriate mesh of the domain of interest. A large class of 3D domains can be identified with a "cylinder" as long as topological point of view is assumed. More precisely, from the data of a 2D generic mesh, the 3D real mesh can be deduced as a succession of topologically identical bands.

The technique is quite simple when only "geometrical" aspect and "connectic" definition (say the derivation of the number of 3D vertices) are considered. Unfortunately the physical problem is not easy to describe. To do this one has to provide the characteristics of constitutive materials, the value of affected loads and the zone of object to be clamped. This assignation is done via the number of sub-domain (associated to all elements) and the reference number (of sides, edges and vertices).

This report presents a method of this class and details the different steps of such process.

PLAN

I- INTRODUCTION ET NOTATIONS

II- CORRESPONDANCE ENTRE LES ELEMENTS 2D ET 3D

III-DEFINITION DES COORDONNEES DES SOMMETS 3D

IV-CONSTRUCTION DES ELEMENTS

V-TRANSMISSION DES NUMEROS DE REFERENCE ET DE SOUS-DOMAINES

VI-EXEMPLES D'UTILISATION

VII-BIBLIOGRAPHIE

I- INTRODUCTION ET NOTATIONS:

A partir du maillage plan d'une surface 2D de référence, le mailleur génère le recouvrement du domaine par construction des éléments 3D déduits des éléments 2D génériques et par empilement de ceux-ci en couches de topologie identique. Il utilise le principe d'une surface engendrant un volume.

Afin d'illustrer le cas considéré et pour introduire les notations que nous utiliserons par la suite, nous donnons le schéma suivant:

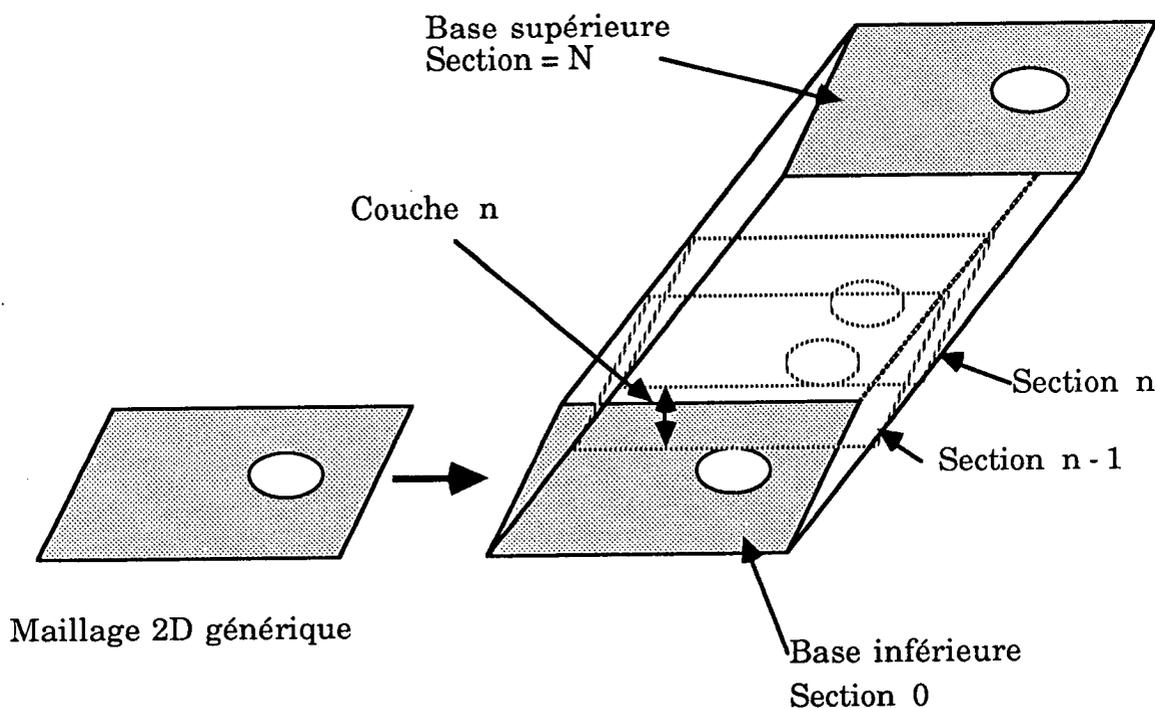


Figure 1: Modèle et notations.

Le maillage 2D générique est composé d'éléments qui peuvent être :

- des quadrangles.
- des triangles.
- des segments.
- des points (éléments réduits à un point).

En définissant les différentes couches de l'empilement de telle sorte que la trace d'une couche corresponde topologiquement au maillage 2D, à chacun de ces éléments on fait correspondre respectivement:

- des hexaèdres.
- des pentaèdres.
- des quadrangles dans l'espace.
- des segments dans l'espace.

Remarque 1: Le maillage 2D est donné sous la forme d'une structure de données NOPO qui est l'organisation choisie dans le code MODULEF pour structurer tout maillage (cf [1]).

Remarque 2: Le maillage 3D résultat sera également stocké avec cette

organisation.

Remarque 3: L'existence d'au moins un point invariant pour au moins deux sections nous amène à considérer un cas particulier du schéma précédant comme le montre par exemple la figure ci-dessous:

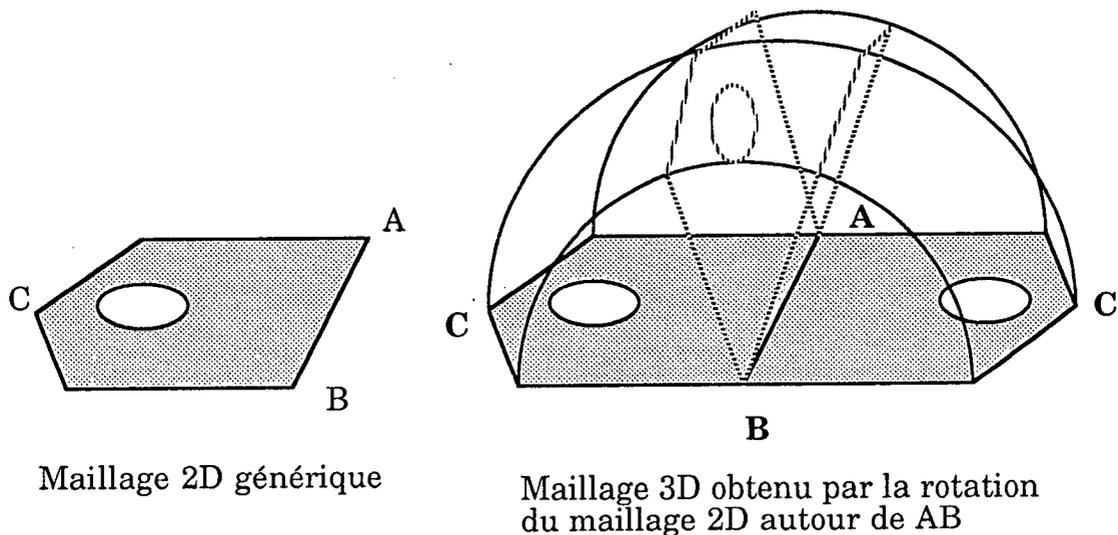


Figure 2: Les sommets de la lignes AB sont invariants le long des différentes sections.

La figure obtenue dans ce cas est une figure "dégénérée". Nous donnerons plus loin le critère qui nous permettra de décider si un point est dégénéré ou non.

II- CORRESPONDANCE ENTRE LES ELEMENTS 2D ET 3D:

Nous définissons à partir des éléments 2D possibles les éléments 3D correspondants de la manière suivante:

II.1- Eléments 2D réduits à un point:

Cas non dégénéré:

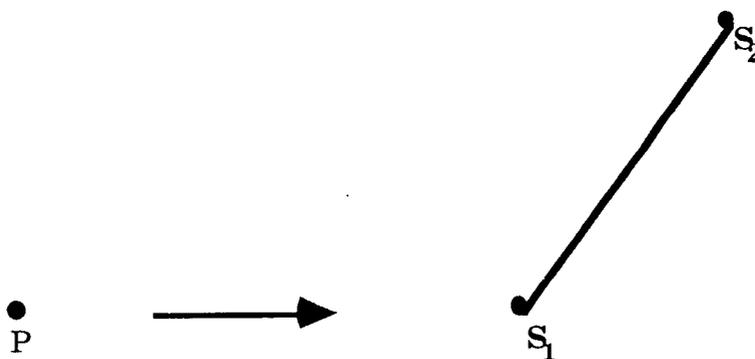


Figure 3: image d'un point.

Au point P du plan est associé le segment $S_1 S_2$ de l'espace défini via la

transformation permettant de déduire les 2 triplets (X_1, Y_1, Z_1) et (X_2, Y_2, Z_2) .

Cas dégénéré:



Figure 3 bis: image dégénérée d'un point.

Au point P du plan est associé un point P dans l'espace.

II.2. Eléments 2D du type segment:

Cas non dégénéré:

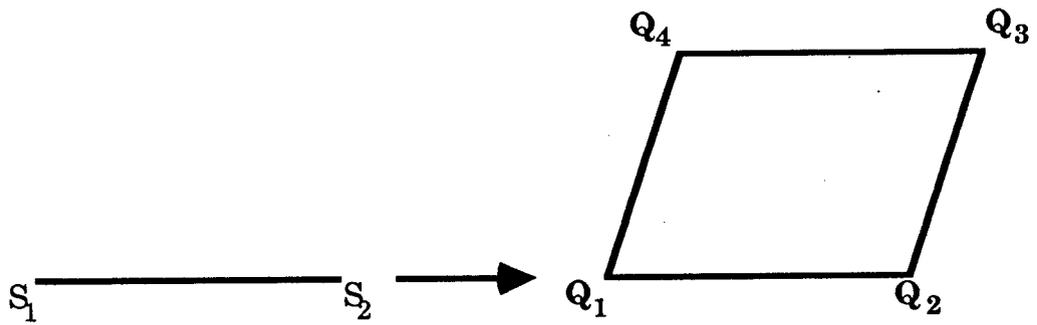


Figure 4: image d'un segment.

Au point S_1 sont associés les points Q_1 pour une section donnée et Q_4 pour la section suivante. De même Q_2 et Q_3 sont les images de S_2 .

Le segment $S_1 S_2$ donne naissance au quadrangle $Q_1 Q_2 Q_3 Q_4$.

1^{er} cas dégénéré:

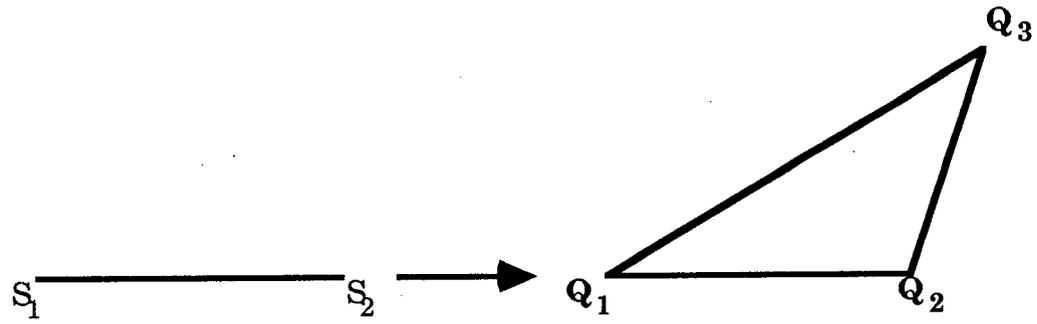


Figure 4 bis: image dégénérée d'un segment.

Les points Q_1 et Q_4 (ou Q_2 et Q_3) sont confondus. On obtient le triangle $Q_1 Q_2 Q_3$ (ou le triangle $Q_1 Q_2 Q_4$).

2^{ème} cas dégénéré:

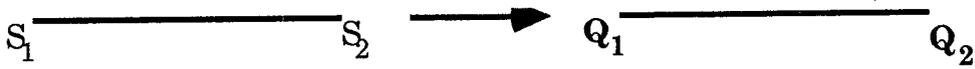


Figure 4 ter: image dégénérée d'un segment.

Les points Q_1, Q_4 et Q_2, Q_3 sont confondus, l'élément généré dans ce cas est un segment dans l'espace.

II.3- Elément 2D de type triangle:

Cas non dégénéré:

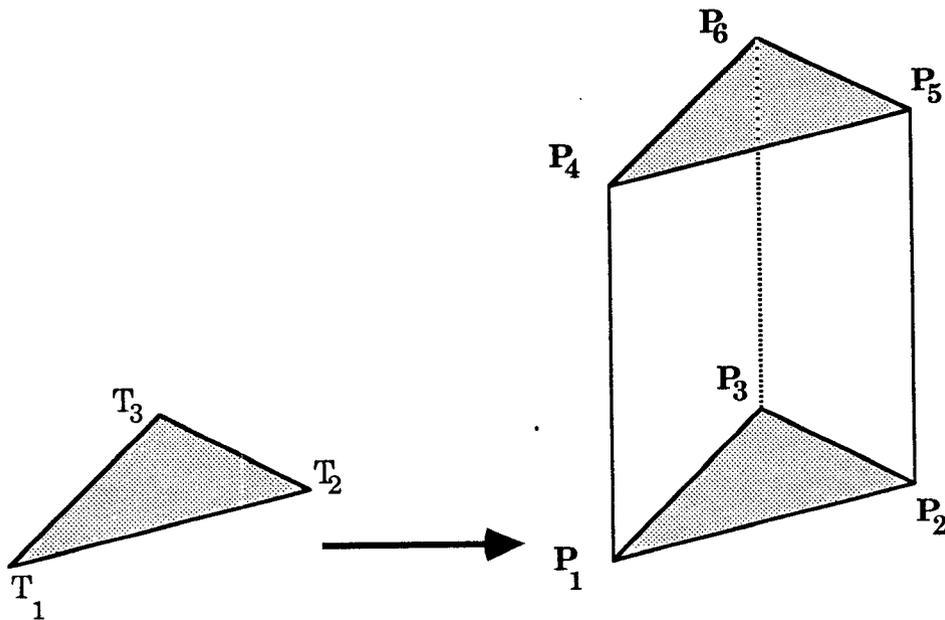


Figure 5: image d'un triangle.

De même que dans le cas précédent, à chaque point du triangle $T_1 T_2 T_3$ sont associés respectivement les points $P_1 P_2 P_3$ de la section donnée et les points $P_4 P_5 P_6$ de la section suivante. Ces points définissent le pentaèdre $P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6$.

1^{er} cas dégénéré:

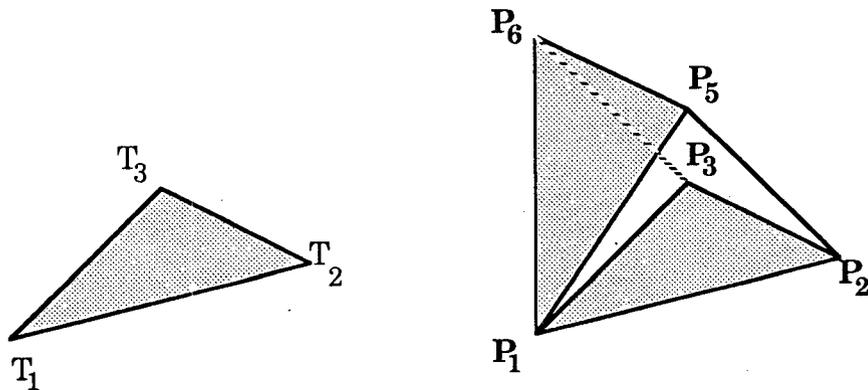


Figure 5 bis: dégénérescence non réaliste d'un triangle.

Un des points du triangle est dégénéré (par exemple le point T_1 ; P_1 et P_4 seront confondus). La figure obtenue ne correspond pas à un élément fini existant.

2^{ème} cas dégénéré:

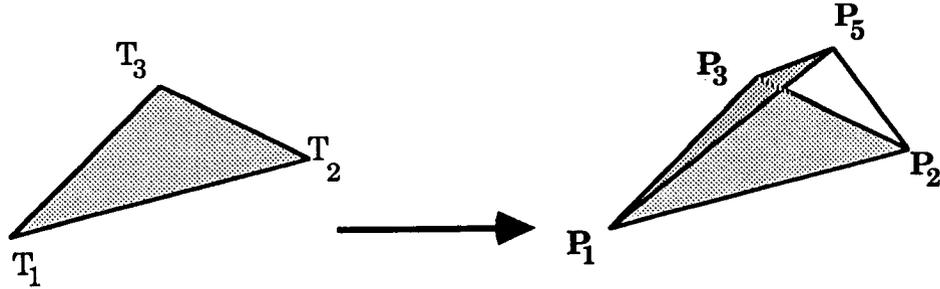


Figure 5 ter: image dégénérée d'un triangle.

Deux points du triangle sont dégénérés. L'élément obtenu dans ce cas est un tétraèdre.

II.4- Élément 2D de type quadrangle:

Cas non dégénéré:

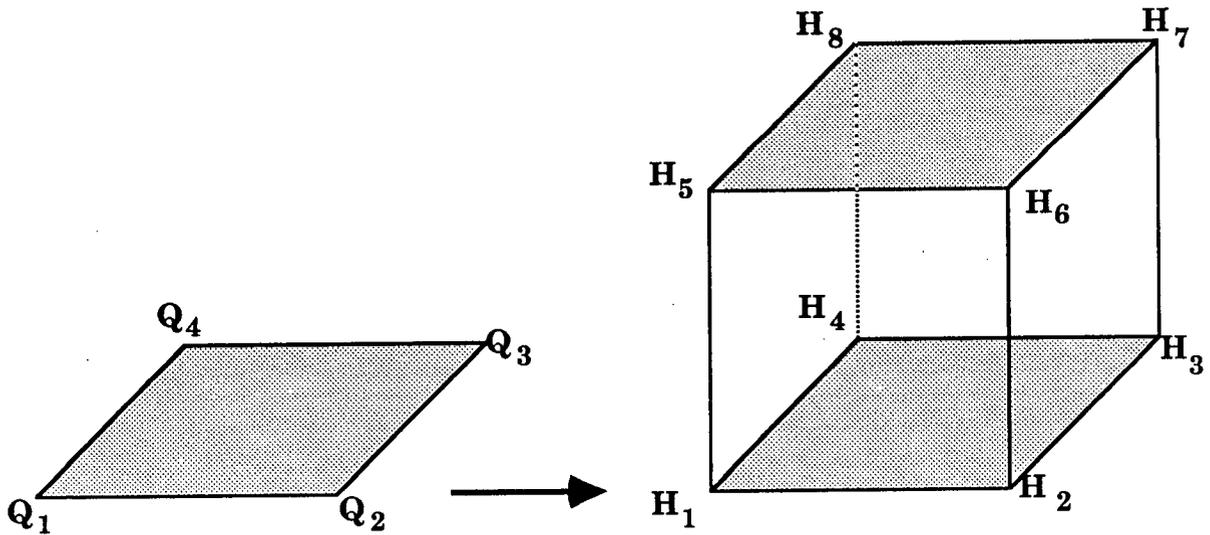


Figure 6: image d'un quadrangle.

Toujours selon le même principe, l'élément 3D obtenu est l'hexaèdre $H_1 H_2 H_3 H_4 H_5 H_6 H_7 H_8$.

1^{er} cas dégénéré:

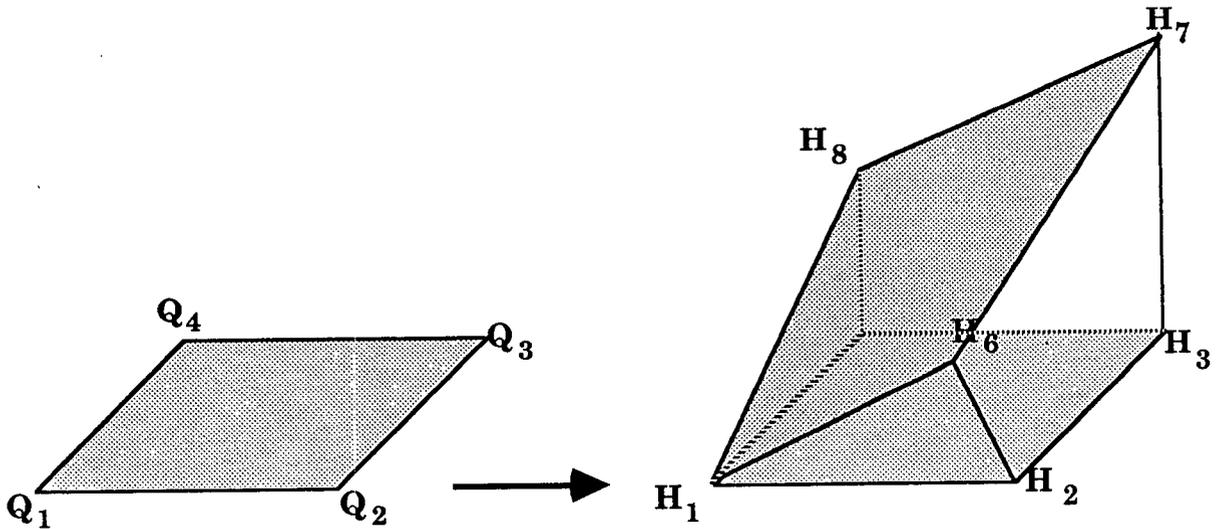


Figure 6 bis: dégénérescence non réaliste d'un quadrangle.

Un point du quadrangle est dégénéré. La figure obtenue dans ce cas est une figure impossible du point de vue des éléments finis.

2^{ème} cas dégénéré:

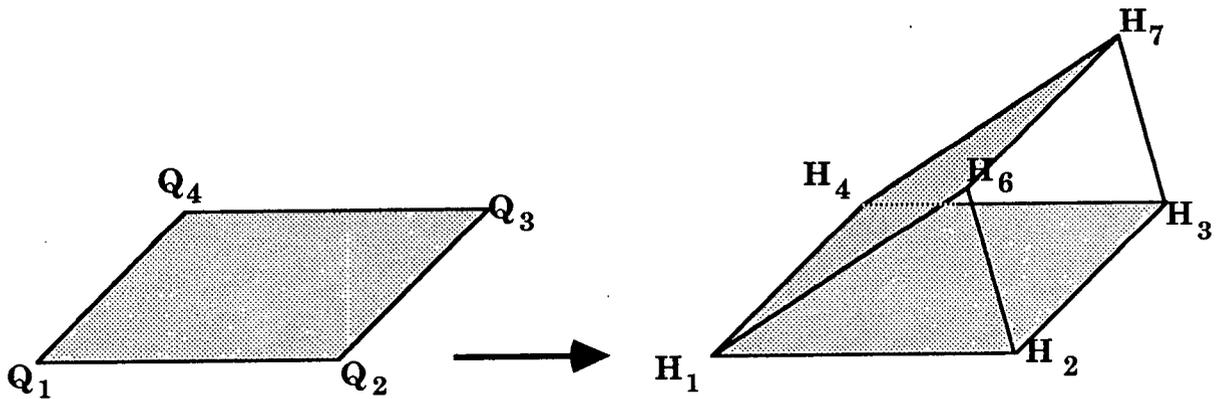


Figure 6 ter: image dégénérée d'un quadrangle.

Deux points consécutifs sont confondus (par exemple H_4 et H_1). On obtient dans ce cas le pentaèdre $H_1 H_2 H_6 H_4 H_3 H_7$.

Autres cas dégénérés:

Les autres cas dégénérés (par exemple deux points non consécutifs dégénérés) ne sont pas réalistes.

III. DEFINITION DES COORDONNEES DES SOMMETS 3D:

Afin d'offrir une grande souplesse, nous proposons plusieurs options de complexité croissante, pour le calcul des coordonnées 3D à partir des coordonnées 2D. La définition de celles-ci est fonction des sections.

NOTATION: X,Y,Z sont les coordonnées 3D du point de section donnée.
x,y sont les coordonnées 2D du point générique de ce point 3D.
NIVEAU désigne l'indice de la section.

III.1- OPTION 0:

Pour toutes les sections:

$$\begin{aligned} X &= x \\ Y &= y \end{aligned}$$

Pour la face inférieure:

$$Z = \text{ZINF donné}$$

Pour la face supérieure:

$$Z = \text{ZSUP donné}$$

Pour les sections intermediaires:

- Soit:
 $Z = \text{ZINF} + \text{NIVEAU} * (\text{ZSUP} - \text{ZINF}) / \text{NOMBRE}$
NOMBRE désigne le nombre de couches + 1.
Les cotes des points sont interpolées linéairement à partir des 2 cotes extremes.
- Soit:
 $Z = \text{ZINF} (\text{NIVEAU})$ un tableau donné.

III.2- OPTION 1:

Pour la base inférieure:

$$\begin{aligned} X &= x \\ Y &= y \\ Z &= \text{ZINF donné} \end{aligned}$$

Pour la base supérieure:

X,Y et Z sont définis à partir de x et y via le sous-programme:

SUBROUTINE XYZ23(NIVEAU,NUPOIN,NUMREF,x,y,X,Y,Z)

pour cette option NIVEAU est sans effet.
NUPOIN désigne le numéro du point de coordonnées (x,y) et NUMREF sa référence sur la couche génératrice.

Pour les section intermediaires:

X et Y sont interpolés entre les valeurs correspondantes des bases.
Z est défini comme pour l'option 0.

III.3- OPTION 2:

Pour toutes les sections:

X,Y et Z sont définis à partir de x et y via le sous-programme:

SUBROUTINE XYZ23(NIVEAU,NUPOIN,NUMREF,x,y,X,Y,Z)

Les options précédentes sont identiques à celles du module MA2D3D de la version 88 du code Modulef (cf [2]).

III.4- OPTION 3:

Pour cette option on adoptera les notations suivantes:

On suppose que les sections de niveau 0 à n-1 ont été construites et que nous cherchons à construire le niveau n (voir la figure 1).

x,y sont les coordonnées 2D du point générique.

X1,Y1,Z1 sont les coordonnées 3D du point correspondant de la section de niveau n-1

X2,Y2,Z2 sont les coordonnées 3D du point correspondant de la section de niveau n

La fonction de "montée" sera donnée interactivement pour définir des ensembles de niveaux. Les opérations actuellement implémentées sont les suivantes:

- TRANSLATION: on définit le vecteur V de translation entre 2 couches:

$$V = (U,V,W)$$

Les coordonnées du nouveau point seront:

$$X2 = X1 + U$$

$$Y2 = Y1 + V$$

$$Z2 = Z1 + W$$

- ROTATION: on définit l'axe de rotation, un point de cet axe et l'angle de rotation entre 2 couches. Les coordonnées X2,Y2,Z2 seront déduites de celles de X1,Y1,Z1 par la rotation donnée.
- DILATATION: on définit les coefficients de dilatation dans les trois directions de l'espace et les coordonnées d'un point fixe. Les coordonnées X2,Y2,Z2 seront déduites de celles de X1,Y1,Z1 par la dilatation donnée.
- FONCTION LOCALE: les coordonnées d'un nouveau point sont obtenues à partir des coordonnées de son homologue sur la couche précédente par le sous-programme suivant:

SUBROUTINE XYZ33(NIVEAU,NUPOIN,NUMREF,X1,Y1,Z1,X2,Y2,Z2)

où NUPOIN est le numéro du point 2D générique, et NUMREF le numéro de référence de celui-ci.

- FONCTION GLOBALE: les coordonnées d'un nouveau point sont obtenues à partir des coordonnées de son homologue sur la couche génératrice par le sous-programme suivant (comme en III.3):

SUBROUTINE XYZ23(NIVEAU,NUPOIN,NUMREF,x,y,X2,Y2,Z2)

où NUPOIN est le numéro du point de coordonnées x,y, et NUMREF le numéro de référence de celui-ci.

Pour chaque intervalle il est possible de combiner plusieurs de ces fonctions. Par exemple une translation et une rotation ayant pour axe le vecteur translation

aura l'effet une torsion.

Remarque: Chaque sous-programme peut être fourni en utilisant les fonctions interprétées (cf[4]).

IV- CONSTRUCTION DES ELEMENTS:

Nous allons voir brièvement le processus adopté pour la création du maillage 3D défini précédemment. Ceci nous permettra d'une part de mieux comprendre le sens des options et d'autre part de présenter les anomalies de maillage que nous serions éventuellement amené à rencontrer.

Remarque 1: Le mailleur construit le maillage tridimensionnel couche par couche en partant de la première. Le processus de maillage entre 2 couches est identique quelque soit le niveau considéré (exception faite dans certain cas pour la dernière couche).

IV.1- Construction d'une couche:

Supposant que les couches comprises entre le niveau 0 et le niveau n-1 ont déjà été générées, il s'agit de construire la couche n qui est comprise entre le niveau n-1 et le niveau n.

Nous avons accès aux informations suivantes:

- Le maillage 2D générique sous forme d'une structure de données NOPO.

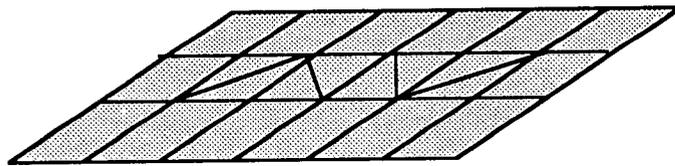


Figure 7: maillage 2D générique.

- Le maillage 3D incomplet jusqu'au niveau n-1. La surface de la section de niveau n-1 correspond donc topologiquement au maillage 2D générique.

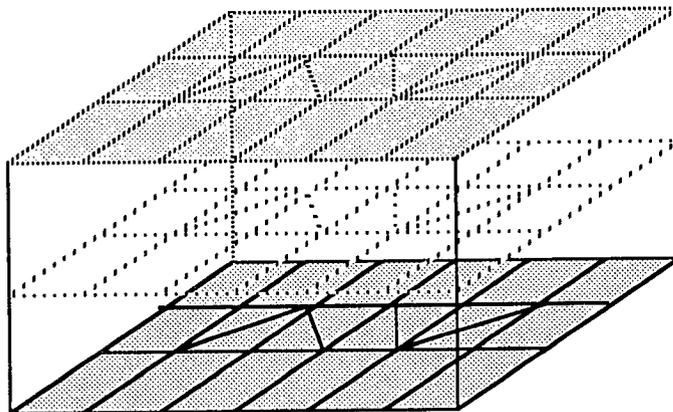


Figure 8: maillage 3D en cours de définition.

- Un tableau de pointeurs (appelé IPNPO) faisant correspondre à un point du maillage 2D générique son homologue sur la section n-1:

IPNPO(NUMERO 2D) = NUMERO DE L'HOMOLOGUE 3D, SECTION n-1

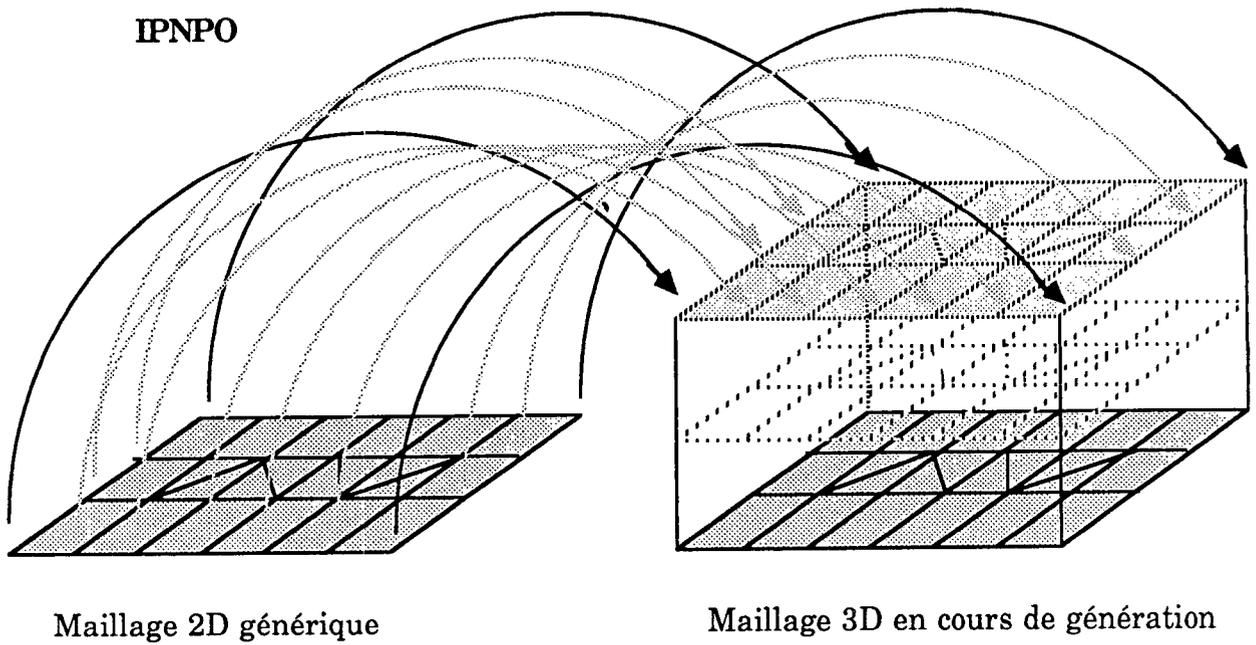


Figure 9: pointeur 2D → couche n-1

- Un tableau de pointeurs (appelé IPNPN) de même dimension que le précédent et initialisé à 0 pour l'instant. Il est destiné à recevoir, au fur et à mesure de leur construction, la correspondance entre les points de la surface générique et ceux de la section de niveau n. Il permettra ainsi de savoir si un point a déjà été construit ou s'il reste à créer.

IPNPN(NUMERO 2D) = NUMERO DE L'HOMOLOGUE 3D, SECTION n

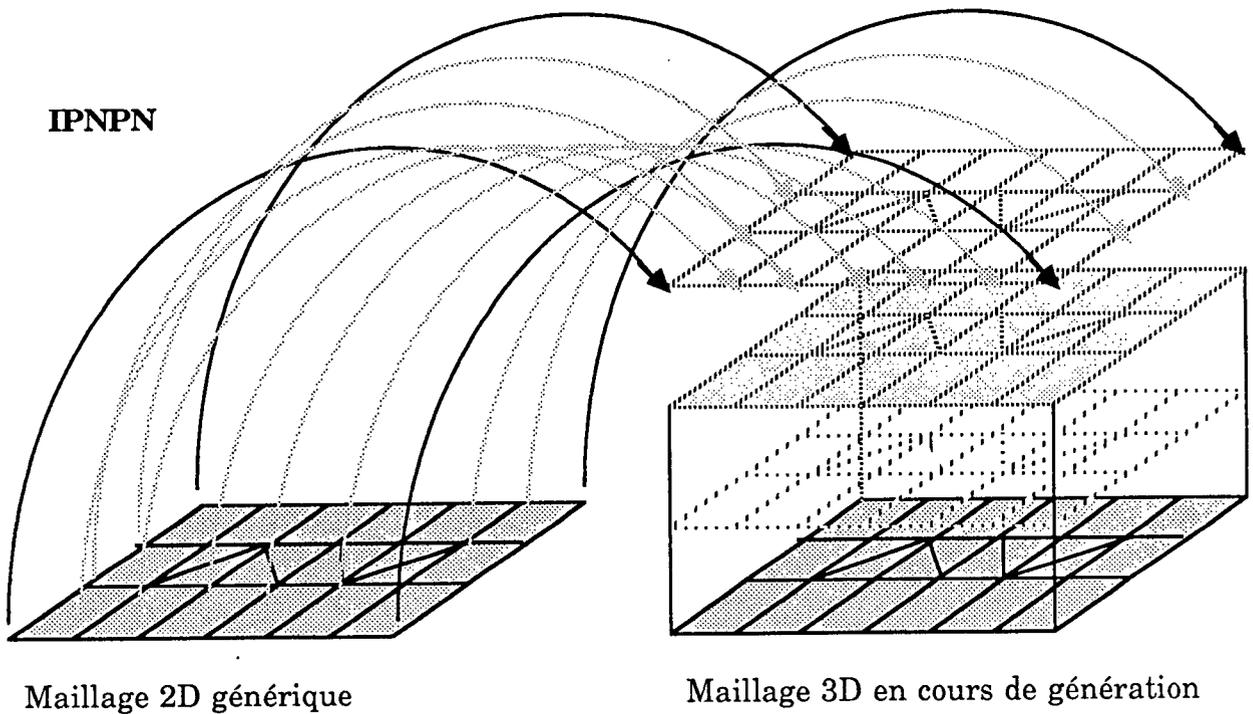


Figure 10: pointeur 2D → couche n

On effectue alors les opérations suivantes:

(1) On parcourt, dans l'ordre de leur numérotation, les éléments génériques de la surface 2D.

(2) On parcourt tous les points de l'élément.

(3) *Si* $IPNPN(\text{POINT}) = 0$ *Alors*:

On calcule les coordonnées de l'image du point pour la section n.

Sinon:

L'image du point a déjà été construite. Son numéro est donné par $IPNPN$.

Si $IPNPN(\text{POINT}) = IPNPO(\text{POINT})$ *Alors* ce point est dégénéré.

Fin Si.

(4) Pour les nouveaux points calculés on vérifie s'ils sont dégénérés (cf remarque 3).

(5) On construit l'élément et on l'ajoute au maillage 3D.

(6) On met à jour le tableau $IPNPN$ en y ajoutant les pointeurs des nouveaux points créés.

Remarque 2: Pour la couche suivante le tableau $IPNPO$ est initialisé au tableau $IPNPN$ de la couche précédente.

Remarque 3: Le point (4) de l'algorithme ci-dessus peut être traité de 2 manières différentes:

• *Option par défaut:*

On calcule, pour chaque élément, la longueur de toutes les arêtes "verticales", générées à partir des points de l'élément 2D générateur, ainsi que le max de ces longueurs.

Si le rapport entre la longueur d'une arête et le max des longueurs est inférieure à un *epsilon* donné (par défaut *epsilon* = 0.01), l'arête est alors dite dégénérée (ceci revient à contrôler l'aplatissement de chaque élément).

Cette option, de part la méthode utilisée, ne permet pas de gérer les rentrées de matière entre 2 couches successives (figure 11). Lors des variations d'angle brusques et mal calculées entre 2 couches, des mailles fausses peuvent apparaître.

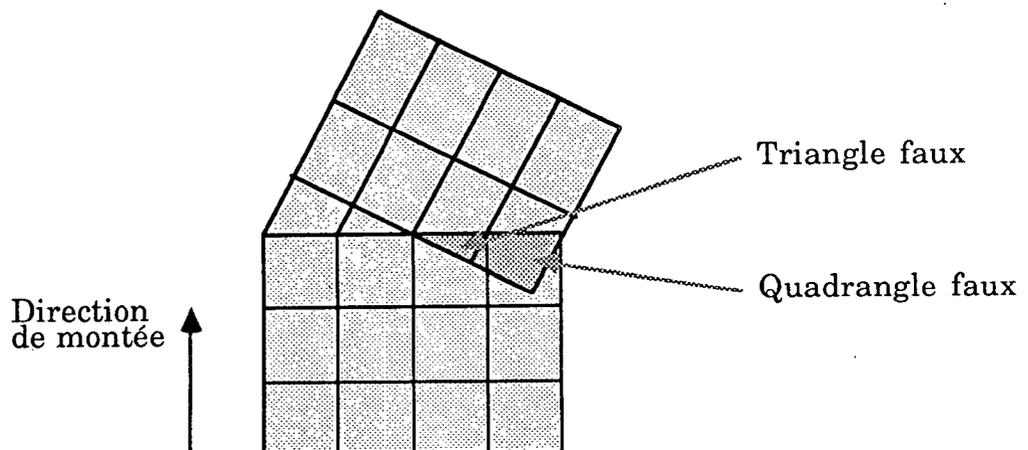


Figure 11: apparition de mailles fausses lors d'une rotation.

- *Option de vérification de volume:*

La différence par rapport à l'option précédente est que dans ce cas on calcule non pas la longueur des arêtes mais pour chacune d'elles, le volume du parallélépipède généré par celles-ci et les 2 arêtes adjacentes normalisées de la base. La valeur de ce volume doit être positive et supérieure à un *epsilon* donné. Sinon le point sera considéré comme dégénéré.

Cette option permet au mailleur de détecter les cas de rentrée de matière entre 2 couches successives, et suivant le cas, soit de construire un élément dégénéré, soit de ne pas en construire du tout.

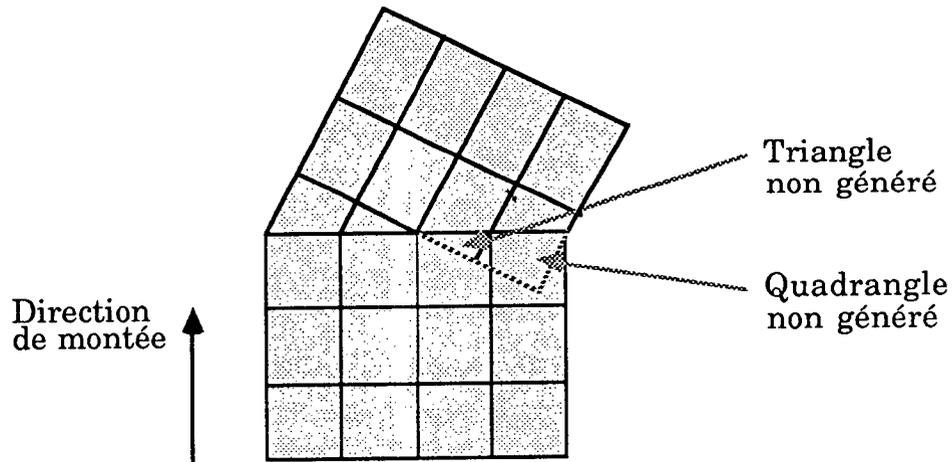


Figure 11 bis: mailles fausses non générées.

Lors de présence de tels cas dans le maillage, la surface de base pour la construction de la couche suivante peut se trouver fortement déformée par rapport à la surface de base demandée. Si la fonction de montée est "locale" à cet endroit (i.e. que les coordonnées des nouveaux points sont calculées en utilisant les coordonnées de la couche précédente (voir paragraphe précédent)), les couches suivantes se trouveraient également déformées. C'est pour cela que dans cette option une surface de base virtuelle est calculée indépendamment de la vraie surface de base. On est ainsi assuré de la bonne transmission des sections le long du parcours.

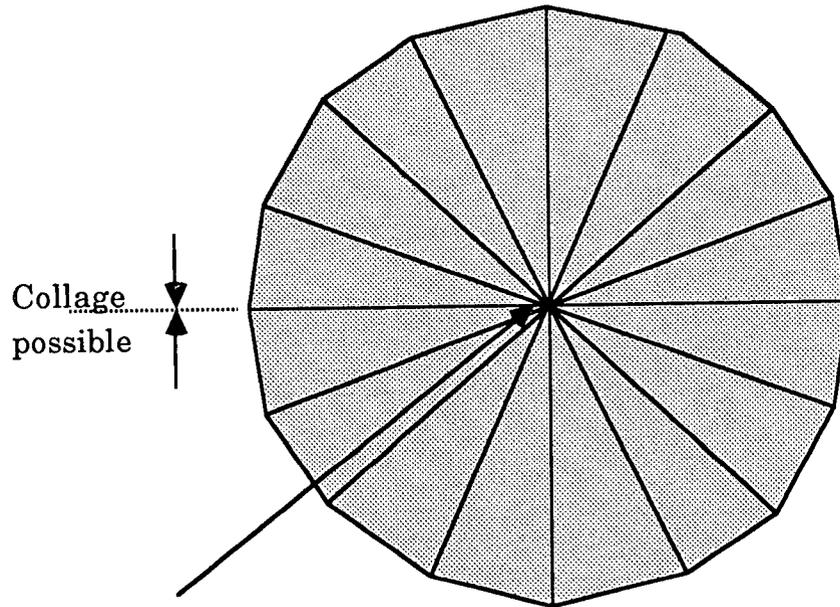
La mise en œuvre de cette option a nécessité de légères modifications de l'algorithme décrit ci-dessus et l'ajout d'un nouveau tableau.

Remarque 4: Dans certains cas il peut être nécessaire de "coller" la première et la dernière couche du maillage tridimensionnel généré. Ce cas est fréquent lors de la conception des objets présentant une symétrie de révolution. Une option permet de signaler ce cas au mailleur.

Au point de vue algorithmique il suffit, avant la construction de la dernière couche, de remplir le tableau IPNPN à priori, avec les pointeurs de la section de niveau 0.

Cela suppose donc que la dernière couche se présente convenablement en face de la première (position relative).

De plus il est nécessaire de prévoir l'emplacement du collage des bases à un endroit de l'objet où il n'existe pas d'arête dégénérée, sauf si ces arêtes ont été dégénérées tout le long du maillage. Les exemples suivants illustrent ces cas:



Arête dégénérée tout le long du maillage

Figure 12: collage possible lors d'une dégénérescence continue.

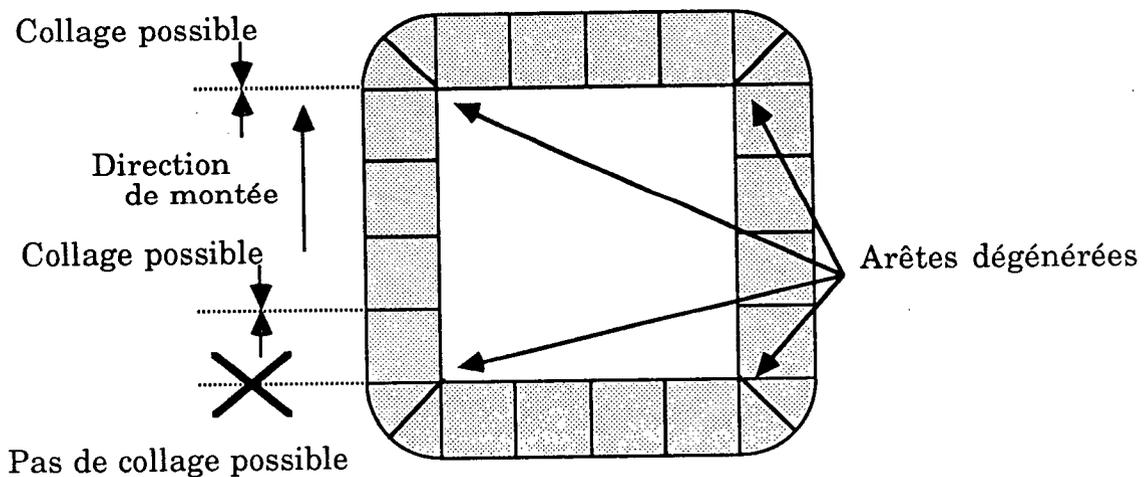


Figure 12 bis: choix possibles ou impossibles pour l'emplacement du collage.

V- TRANSMISSION DES NUMEROS DE REFERENCE ET DE SOUS-DOMAINES:

La contrainte est de permettre à l'utilisateur d'établir une correspondance entre les informations 2D connues et les valeurs désirées en 3D. Afin de permettre l'accès à tous les items 3D nous utilisons une approche en 2 temps.

V.1- Définition globale:

V.1.1- Numéros de sous-domaine:

Le numéro de sous-domaine 2D permet de définir un numéro de sous-domaine 3D qui est affecté à chaque élément 3D associé à l'élément générique 2D correspondant.

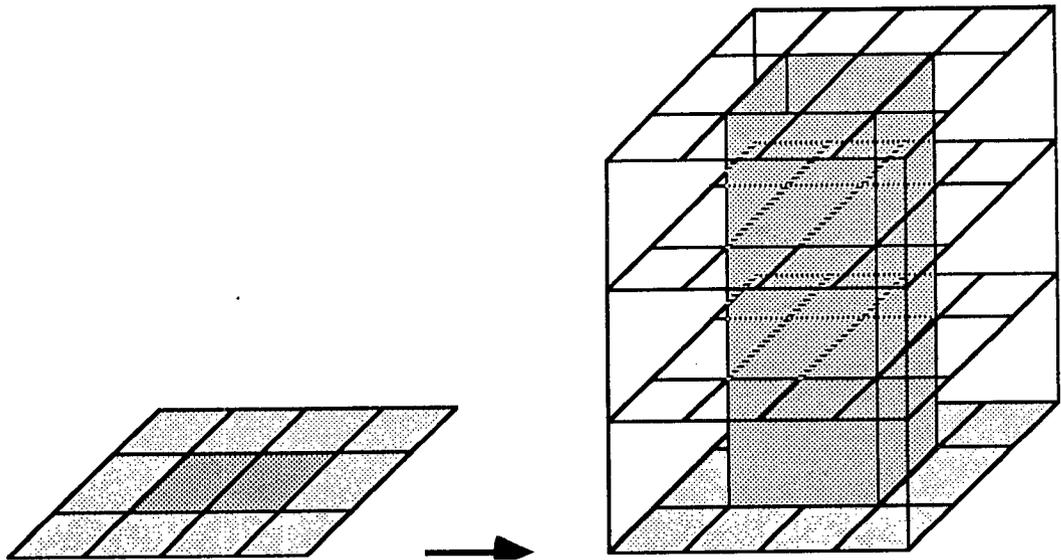


Figure 13: transmission globale des numéros de sous-domaines.

V.1.2- Numéros de référence:

Option 1:

- Tous les items de la face supérieure sont mis à la référence NRSUP donnée (faces, arête, sommets).
- Tous les items de la face inférieure sont mis à la référence NRINF donnée (faces, arête, sommets).
- Les items des faces latérales (non déjà traités) se voient affecter une référence déduite des références du maillage 2D générique:
 - Référence sommet 2D donne référence arête 3D.
 - Référence arête 2D donne référence face 3D.

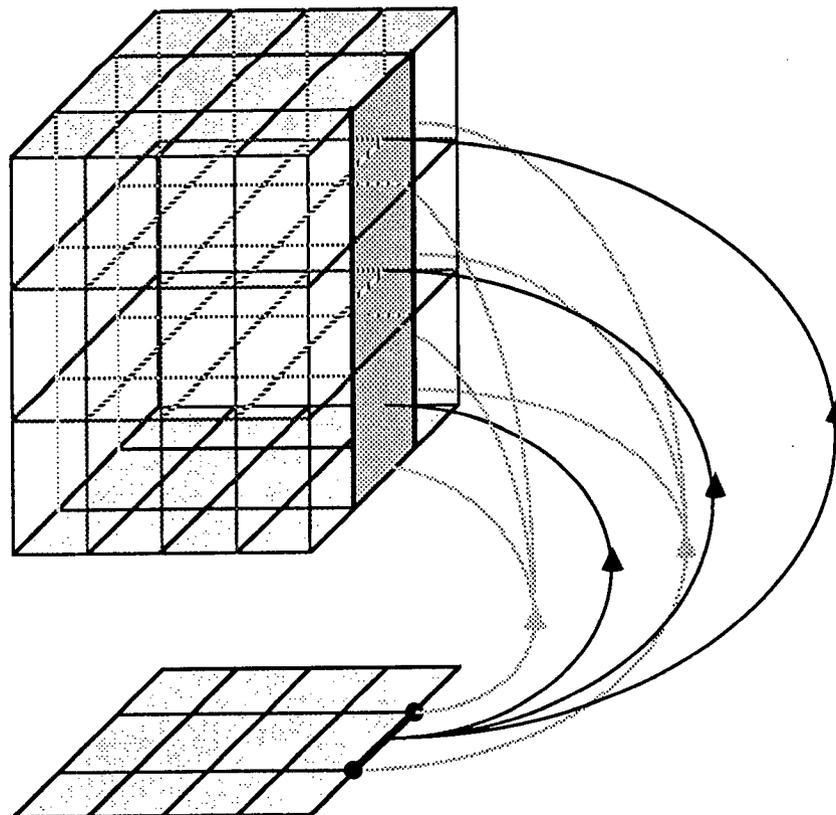


Figure 14: transmission globale des numéros de références pour les faces verticales.

Option 2:

- Face supérieure:
 - Référence sommet 2D *donne* référence sommet 3D.
 - Référence arête 2D *donne* référence arête 3D.
 - Référence face 3D *égale* à NRSUP donné.
- Face inférieure:
 - Même méthode avec NRINF donné.

V.2- Définition locale:

Il peut être nécessaire d'assigner un numéro de référence à seulement certains items du "cylindre" 3D qu'il convient de désigner en relation avec un item 2D du maillage générique (même chose pour les numéros de sous-domaine). Dans ce cas l'utilisateur désignera un intervalle de sections et indiquera les correspondances à effectuer dans ces intervalles. De plus cette correspondance s'effectuera uniquement pour les numéros des items 2D demandés par l'utilisateur. Le numéro à affecter est également décidé par celui-ci.

Par exemple on peut demander au mailleur le choix suivant:

pour les couches comprises entre les sections n1 et n2, le numéro de sous-domaine NDSD2 de l'élément 2D générateur devient le numéro de sous-domaine NDSD3 des éléments 3D générés.

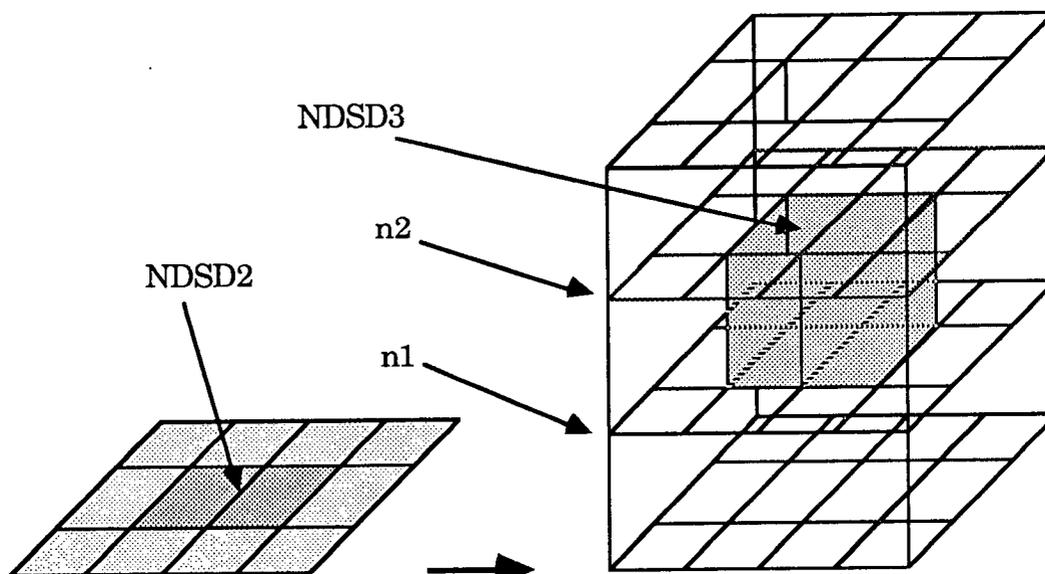


Figure 15: transmission locale des numéros de sous-domaines.

Les correspondances possibles sont les suivantes (les termes "horizontal" et "vertical" employés ci-dessous sont abusifs, mais expriment bien l'idée):

- Sous-domaine / Sous-domaine

(Figure 15)

- Sous-domaine / Face horizontale

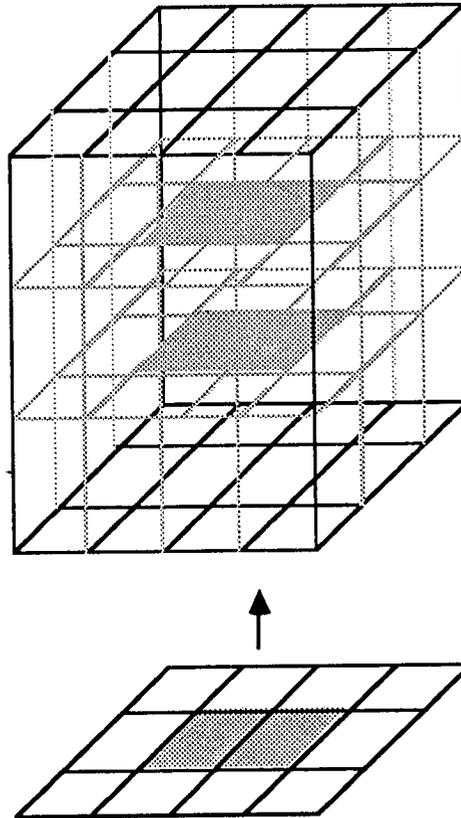


Figure 16: transmission locale des numéros de référence pour les faces horizontales.

- Arête / Face verticale

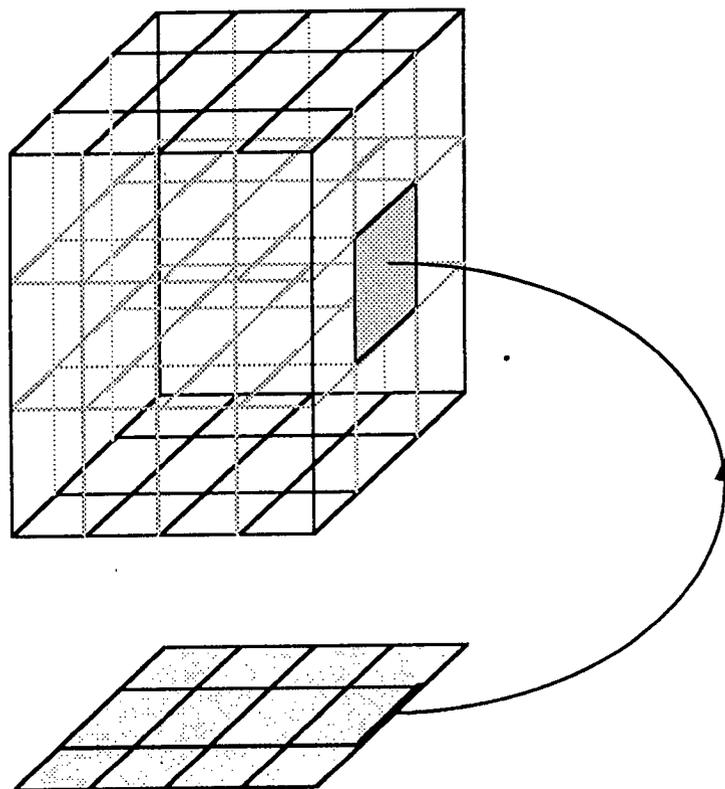
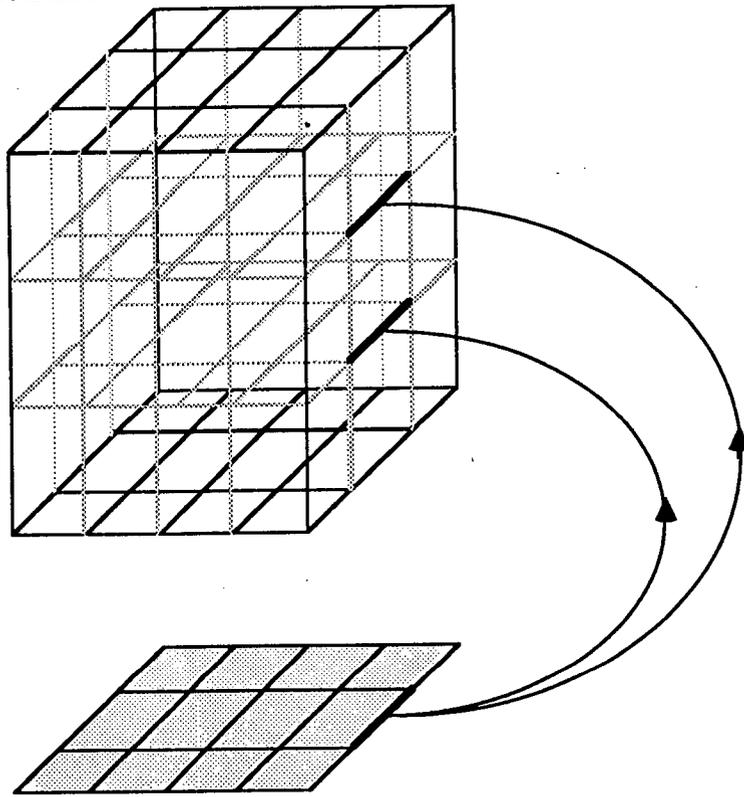


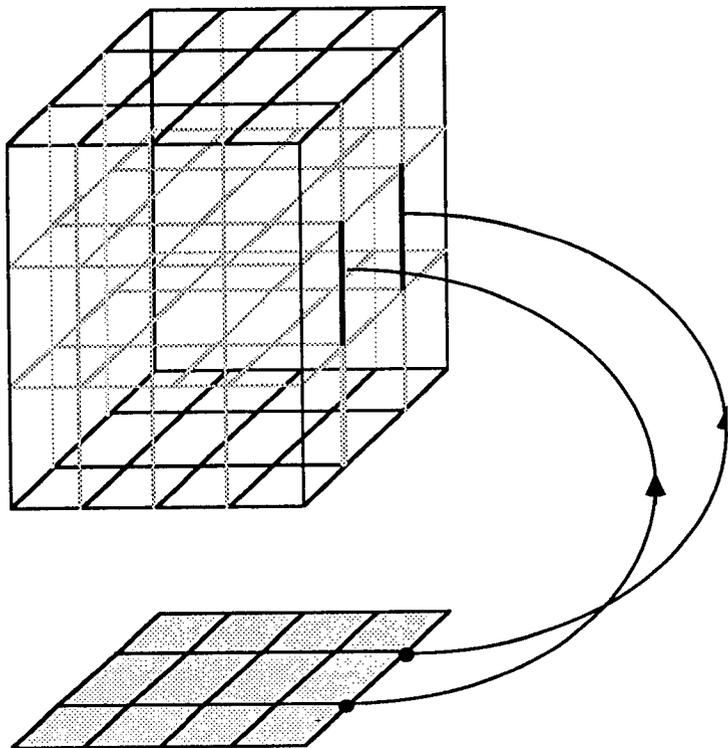
Figure 17: transmission locale des numéros de référence aux faces verticales.

- Arête / Arête horizontale



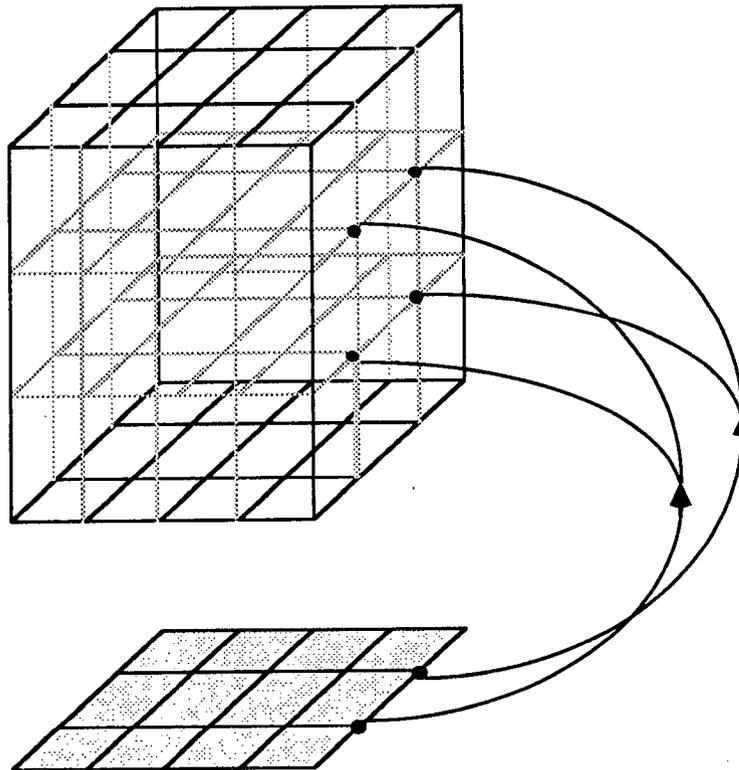
Figures 18: transmission locale des références aux arêtes horizontales.

- Arête / Face verticale & Arête verticale
C'est la combinaison des 2 options ci-dessus.
- Point / Arête verticale



Figures 19: transmission locale des références aux arêtes verticales.

- Point / Point



Figures 20: transmission locale des références des points.

- Point / Arête verticale & Point
C'est la combinaison des 2 options ci-dessus.

Remarque 1: Les options ci-dessus sont exécutées dans l'ordre de leur introduction par l'utilisateur, la dernière requête étant prioritaire.

Remarque 2: Une définition globale doit être demandée avant les options locales. On peut ainsi appliquer une définition globale puis corriger des numéros localement.

VI- EXEMPLES D'UTILISATION:

Il est possible d'utiliser le module MA2D3D de trois façons différentes:

- via le préprocesseur conversationnel MA23XX qui est auto-documenté. On va créer (option Création) un fichier de données qui contiendra les requêtes sous la forme de mots clés et de leurs arguments. Ce fichier créé on pourra demander son exécution immédiate (mot clé GO), ou le sauver (mot clé FIN) afin d'en demander l'exécution ultérieurement (option Execution).
- via le mot clé 'MA23' du préprocesseur général APNOP3 (cf[5]) qui aiguille sur le programme MA23XX.
- via un programme batch classique. pour ce cas les possibilités du mailleur ne sont pas toutes accessibles.

V.1- Liste des mots clés:

Les mots clés suivants peuvent être appelés lors de la définition de la fonction de

montée:

- TRANS : définition d'une translation.
- ROT : définition d'une rotation.
- DILATE : définition d'une dilatation anisotrope.
- COMBINE : combinaison de plusieurs des fonctions ci-dessus.
- MTRANS : translation verticale avec la définition manuelle des cotes des sections en Z.
- INTERPOLE : interpolation automatique des sections intermédiaires entre 2 sections données.
- MINTERPOLE : interpolation entre 2 sections données, avec la donnée manuelle des cotes en Z.
- XYZ23 : fonction utilisateur globale.
- XYZ33 : fonction utilisateur locale.

- TABLEAU : création d'un tableau pour l'introduction des données manuelles.
- MANU : remplissage manuelle du tableau précédant.
- ANNULE : annulation de la dernière fonction introduite.
- ANNULE_TOUT: remise à zero de toutes les définitions introduites.
- ANNULE_COMBINE: annulation de la requête COMBINE.
- FIN : fin de la définition de la fonction de montée.

Les mots clés qui suivent sont appelable lors de la définition des options.

- VERVOL : option de vérification des volumes.
- COLLER : option de collage des extrémités.
- REF : donne accès au module conversationnel pour la définition des numéros de références (voir détails ci-dessous).
- EPS : permet de fixer la valeur de *epsilon* pour le test de dégénérescence.
- IMPRE : permet de définir le taux d'impression du module (entre 0 et 10).
- BASE : permet de définir la cote en Z de la base inférieure.
- NON_VERVOL: annulation de VERVOL.
- NON_COLLER: annulation de COLLER.
- GO : lancement du mailleur avec les données qui viennent d'être introduites.
- FIN : fin de la constitution du fichier des données. Ce fichier pourra être utilisé par la suite (option Execution).

Nous détaillons ici la liste des mots clés permettant d'atteindre les différentes options de définition des numéros de références et des sous-domaines exprimées dans le paragraphe V.

- SDSD : sous-domaine / sous-domaine.
- SDFA : sous-domaine / face horizontale.
- ARFA : arête / face verticale.
- ARAR : arête / arête horizontale.
- ARAF : arête / arête horizontale & face verticale.
- POPO : point / point.
- POPA : point / point & arête verticale.
- FASU : tous les items de la face supérieure + sous-domaines.
- FAIN : tous les items de la face inférieure + sous-domaines.

- ANNULE : annulation de la dernière description.
- ANNULE_TOUT : annulation de tout.
- FIN : fin de la définition des transferts des références.

VI.2- Exemples:

Les pages qui suivent contiennent quelques exemples d'utilisation du module conversationnel MA23XX ainsi qu'un exemple d'utilisation du module en batch. Dans ces exemples les données fournies par l'utilisateur apparaissent en minuscule.

=====
EXEMPLE 1 : ENGRENAGE
=====

B\$ ma23xx

-- CREATION DU DATA === EXECUTION MODULE (DATA EXISTANT) === FIN === ?

>> c
>> NOM DU FICHER DE DATA A CREER:
NOM >> eng3d.data
>> NOM DU FICHER NOPO CONTENANT LE MAILLAGE 2D
NOM? >>roue2.nopo
>> NOM DU FICHER NOPO POUR LE MAILLAGE 3D RESULTAT
NOM? >>eng3d.nopo
>> VOUS ETES AU NIVEAU DE LA DEFINITION D'UNE FONCTION
CHOISSISSEZ VOTRE ACTION OU [HELP]

FONC>> trans
ENTRE LA COUCHE 1 ET QUELLE COUCHE? 5
>> DONNER LES 3 COMPOSANTES DU VECTEUR TRANSLATION:
> VX= 0
> VY= 0
> VZ= .3
FONC>> combine
>> ATTEND LA COMBINAISON AVEC LA PROCHAINE FONCTION
FONC>> rot
>> DONNER LES 3 COMPOSANTES DU VECTEUR DIRECTEUR DE L'AXE DE ROTATION:
> VX= 0
> VY= 0
> VZ= 1
>> COORDONNEES D'UN POINT DE L'AXE DE ROTATION:
> X=0
> Y=0
> Z=0
>> ANGLE DE ROTATION EN DEGRES = 2

FONC>> fin
>> [OPTIONS] / GO / HELP
OPTION >> ref
>> VOUS VOUS TROUVEZ AU NIVEAU DE LA DEFINITION DES
TRANSFERTS DES REFERENCES ET DES NUMEROS DE SOUS DOMAINES.
DEFINISSEZ LE TYPE DE TRANSFERT OU [HELP].

REF >> arfa
>> NUMERO DE LA SECTION INFERIEURE: 1
>> NUMERO DE LA SECTION SUPERIEURE: 4
>> NUMERO A CONSIDERER: 3
>> NUMERO A AFFECTER: 3

REF >> arfa
>> NUMERO DE LA SECTION INFERIEURE: 1
>> NUMERO DE LA SECTION SUPERIEURE: 4
>> NUMERO A CONSIDERER: 2
>> NUMERO A AFFECTER: 1

REF >> arfa
>> NUMERO DE LA SECTION INFERIEURE: 0
>> NUMERO DE LA SECTION SUPERIEURE: 5
>> NUMERO A CONSIDERER: 4
>> NUMERO A AFFECTER: 2

REF >> fin
OPTION >> impre
TAUX D'IMPRESSION ENTRE 0 ET 10 > 5
OPTION >> go

MODULE MA2D3D :

S.D.E. NOPO 2D : ROUE2.NOPO
S.D.S. NOPO 3D : ENG3D.NOPO
NOMBRE DE COUCHES: 5
>> MAILLAGE EFFECTUE: SAUVEGARDE DE LA SD

MODULEF :
GEMESH GEMESH GEMESH GEMESH GEMES

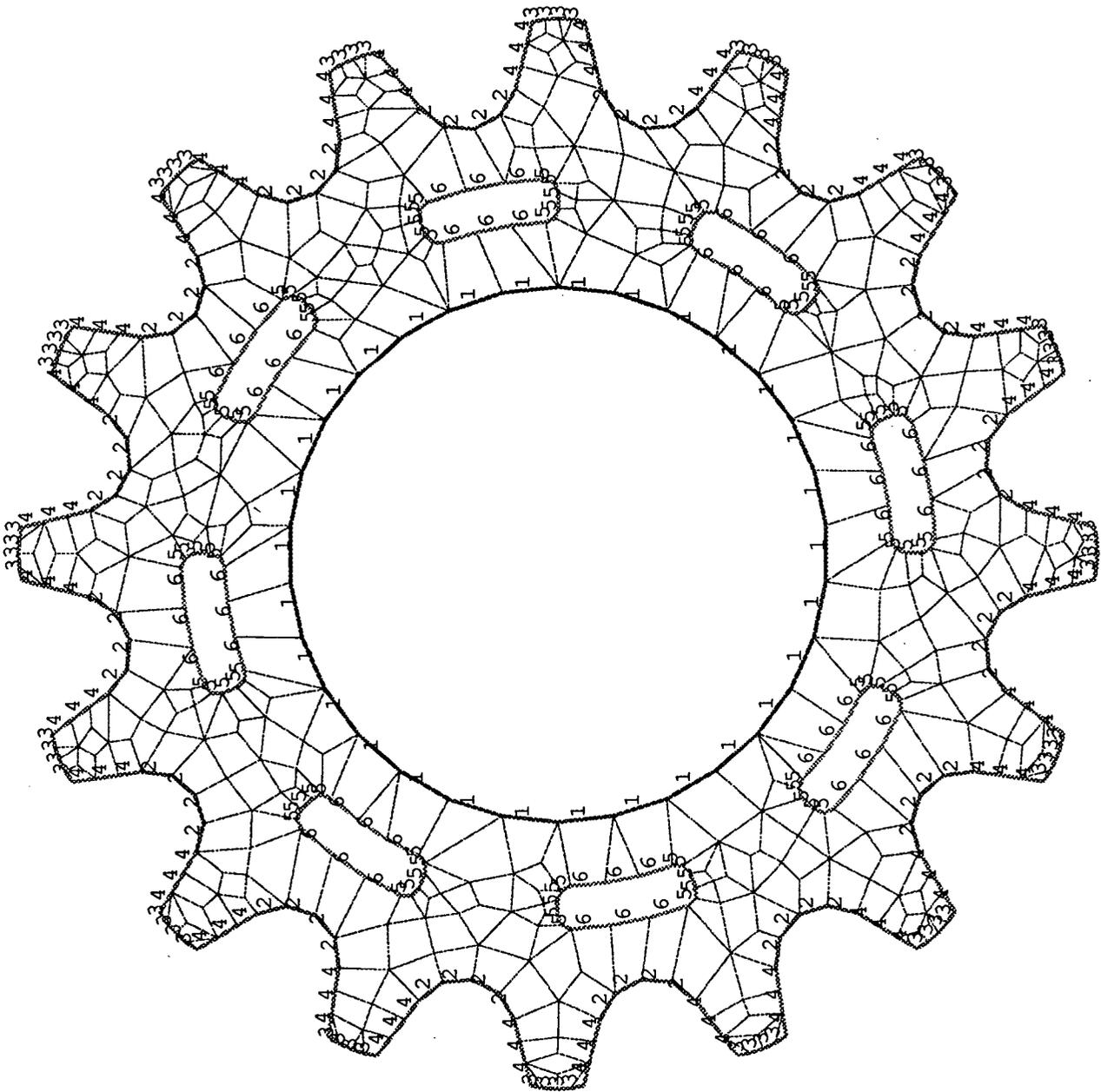
15/09/88

roue2.nopo

616 POINTS
616 NOEUDS
448 ELEMENTS
30 TRIANGLES
418 QUADRANGLES
9 TROU (S)

COIN BAS GAUCHE :
-12. -11.
COIN HAUT DROIT :
12. 11.

REFERENCE (ARETE)



MODULEF : ardi
15/09/88
eng3d.nopo

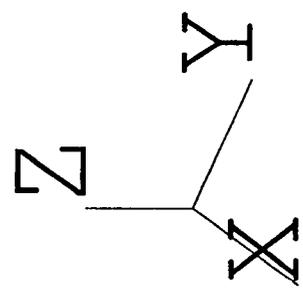
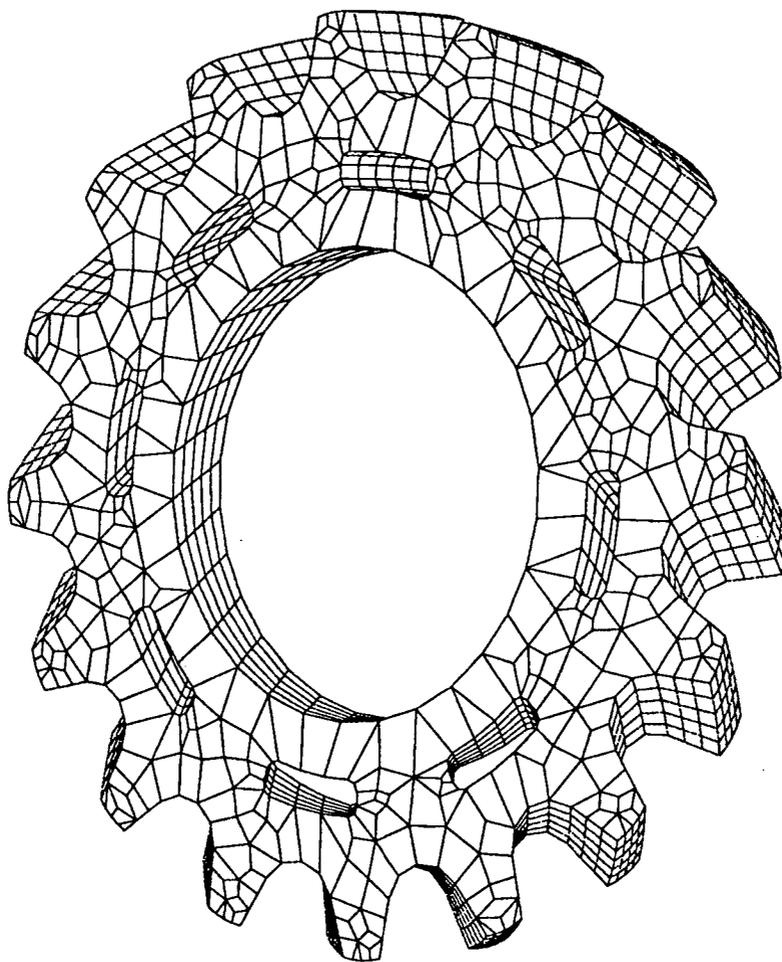
3696 POINTS
8048 FACES
2240 VOLUMES
150 PENTAEDRES
2090 HEXAEDRES
1 COMPOSANTE (S) O
1 COMPOSANTE (S) F

POINT MINIMAL :
-10. -10. 0.00
POINT MAXIMAL :
10. 10. 1.5

OBSERVATEUR CARTESIEN :
45. 26. 63.
POINT REGARDE :
-0.48E-06 0.48E-06 0.75

OBSERVATEUR SPHERIQUE :
30. 50. 82.
OUVERTURE :
10.

PEAU VUE



=====
EXEMPLE 2 : PISTON
=====

B\$ ma23xx

-- CREATION DU DATA == EXECUTION MODULE (DATA EXISTANT) == FIN == ?

>> c

>> NOM DU FICHIER DE DATA A CREER:

NOM >> piston.data

>> NOM DU FICHIER NOPO CONTENANT LE MAILLAGE 2D

NOM? >>piston.sec.nopo

>> NOM DU FICHIER NOPO POUR LE MAILLAGE 3D RESULTAT

NOM? >>piston.nopo

>> VOUS ETES AU NIVEAU DE LA DEFINITION D'UNE FONCTION
CHOISSISSER VOTRE ACTION OU [HELP]

FONC>> rot

ENTRE LA COUCHE 1 ET QUELLE COUCHE? 36

>> DONNER LES 3 COMPOSANTES DU VECTEUR DIRECTEUR DE L'AXE DE ROTATION:

> VX= 0

> VY= 1

> VZ= 0

>> COORDONNEES D'UN POINT DE L'AXE DE ROTATION:

> X=0

> Y=0

> Z=0

>> ANGLE DE ROTATION EN DEGRES = 10

FONC>> fin

>> [OPTIONS] / GO / HELP

OPTION >> coller

>> OK

OPTION >> impre

TAUX D'IMPRESSION ENTRE 0 ET 10 > 5

OPTION >> go

MODULE MA2D3D :

S.D.E. NOPO 2D : PISTON.SEC.NOPO

S.D.S. NOPO 3D : PISTON.NOPO

NOMBRE DE COUCHES: 36

>> RECOLLEMENT DES EXTREMITES

>> MAILLAGE EFFECTUE: SAUVEGARDE DE LA SD

TABLEAU N O P 2

CARACTERISTIQUES DU MAILLAGE

Table with 2 columns: characteristic name and value. Includes rows for DIMENSION DE L'ESPACE (3), NOMBRE DE NUMEROS DE REFERENCE (0), NOMBRE DE SOUS-DOMAINES (1), etc.

-- CREATION DU DATA == EXECUTION MODULE (DATA EXISTANT) == FIN == ?

>> f

Fortran STOP

MODULEF :

GEMESH GEMESH GEMESH GEMESH GEMESH GEMESH

19/09/88

piston.sec.nopo

61 POINTS

61 NOEUDS

38 ELEMENTS

1 TRIANGLES

37 QUADRANGLES

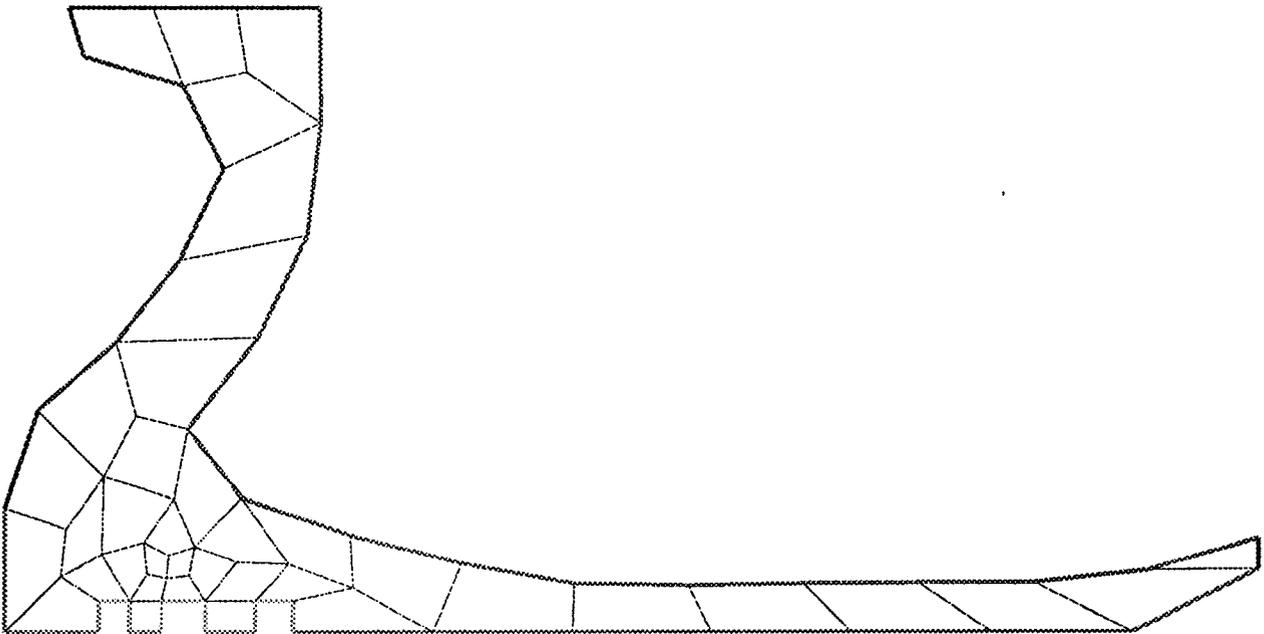
0 TROU(S)

COIN BAS GAUCHE :

-17. -1.0

COIN HAUT DROIT :

6.7 21.



MODULEF : ardi
19/09/88
piston.nopo

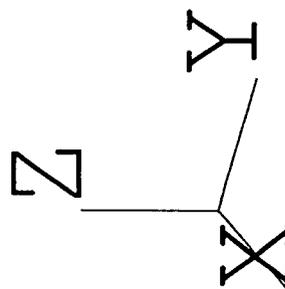
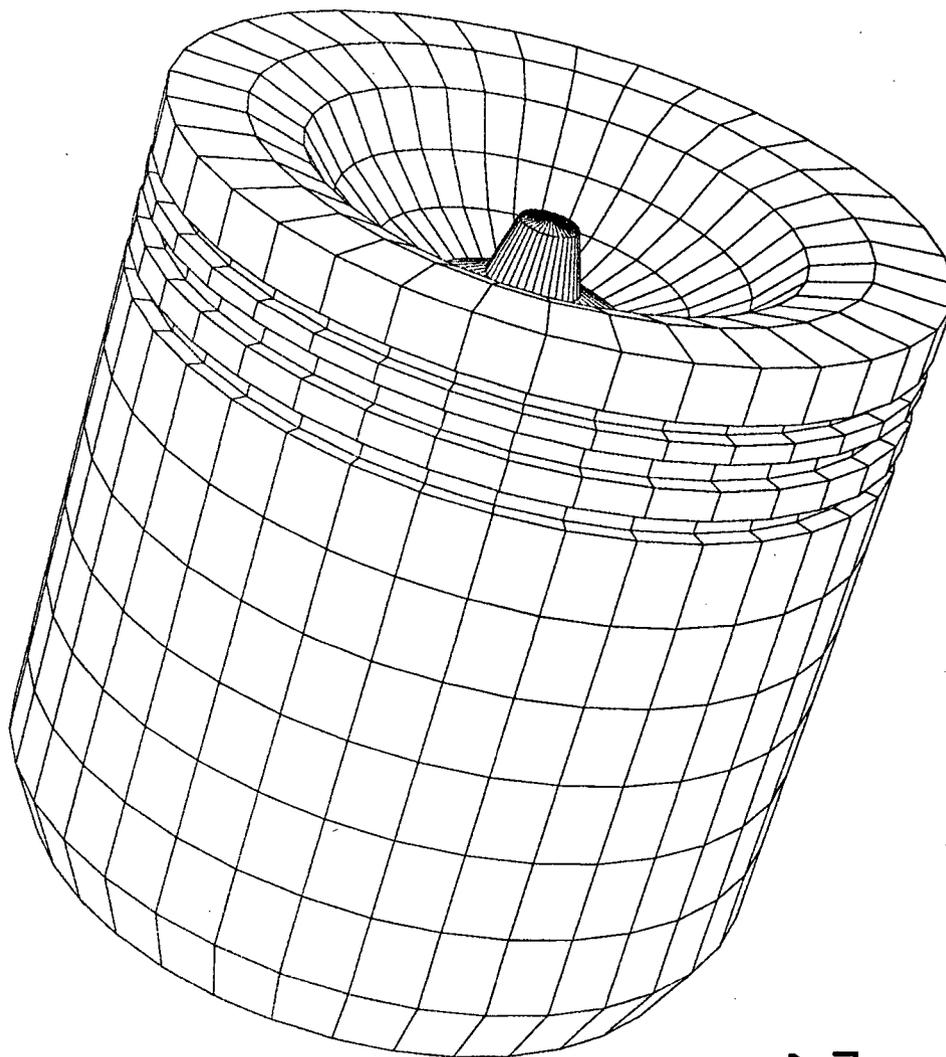
2056 POINTS
4788 FACES
1368 VOLUMES
144 PENTAEDRES
1224 HEXAEDRES
1 COMPOSANTE(S) O
1 COMPOSANTE(S) F

POINT MINIMAL :
-10. -0.39E-06 -10.
POINT MAXIMAL :
10. 20. 10.

OBSERVATEUR CARTESIEN :
75. 53. 50.
POINT REGARDE :
0.00 10. 0.00

OBSERVATEUR SPHERIQUE :
30. 30. 0.10E+03
OUVERTURE :
10.

PEAU VUE



=====
EXEMPLE 3 : CUBE DEGENERE AVEC VERIFICATION DES VOLUMES
=====

>> NOM DU FICHER NOPO CONTENANT LE MAILLAGE 2D
NOM? >>m2d.nopo
>> NOM DU FICHER NOPO POUR LE MAILLAGE 3D RESULTAT
NOM? >>degen1.nopo
>> VOUS ETES AU NIVEAU DE LA DEFINITION D'UNE FONCTION
CHOISSISSER VOTRE ACTION OU [HELP]
FONC>> trans
ENTRE LA COUCHE 1 ET QUELLE COUCHE? 5
>> DONNER LES 3 COMPOSANTES DU VECTEUR TRANSLATION:
> VX= 0
> VY= 0
> VZ= .5
FONC>> rot
ENTRE LA COUCHE 6 ET QUELLE COUCHE? 10
>> DONNER LES 3 COMPOSANTES DU VECTEUR DIRECTEUR DE L'AXE DE ROTATION:
> VX= 1
> VY= 0
> VZ= 0
>> COORDONNEES D'UN POINT DE L'AXE DE ROTATION:
> X=0
> Y=0
> Z=2.5
>> ANGLE DE ROTATION EN DEGRES = -6
FONC>> trans
ENTRE LA COUCHE 11 ET QUELLE COUCHE? 20
>> DONNER LES 3 COMPOSANTES DU VECTEUR TRANSLATION:
> VX= 0
> VY= .1
> VZ= .2
FONC>> fin
>> [OPTIONS] / GO / HELP
OPTION >> vervol
>> OK
OPTION >> impre
TAUX D'IMPRESSION ENTRE 0 ET 10 > 5
OPTION >> go

MODULE MA2D3D :

S.D.E. NOPO 2D : M2D.NOPO
S.D.S. NOPO 3D : DEGEN1.NOPO
NOMBRE DE COUCHES: 20
>> VERIFICATION DES VOLUMES
>> MAILLAGE EFFECTUE: SAUVEGARDE DE LA SD

TABLEAU N O P 2

CARACTERISTIQUES DU MAILLAGE

DIMENSION DE L'ESPACE (NDIM) : 3
NOMBRE DE NUMEROS DE REFERENCE (NDSR) : 0
NOMBRE DE SOUS-DOMAINES (NDSO) : 1
NOEUDS ET POINTS COINCIDENT PARTOUT (NCOPNP) : 1
NOMBRE D'ELEMENTS DU MAILLAGE (NE) : 70
NOMBRE DE PENTAEDRES (NPENT) : 14
NOMBRE DE HEXAEDRES (NHEX) : 56
NOMBRE D'ELEMENTS FRONTALIERS (NEF) : 4
NOMBRE DE NOEUDS (NOE) : 153
NOMBRE DE NOEUDS PAR SEGMENT (HORS EXTREMITES) : 0
TYPE DES VALEURS DES COORDONNEES (NTYCOO) : REEL1MOT
DIFFERENCE MAX + 1 ENTRE 2 NOEUDS D'UN ELEMENT : 41
NOMBRE D'ELEMENTS GROSSIERS (NBEGM) : 0
NOMBRE DE MOTS DU TABLEAU NOP5 (LNOP5) : 812
AXES DE REFERENCE X,Y,Z (NTACOO) : 1

FIN DU MODULE MA2D3D

MODULEF : ardi

26/09/88

degenl.nopo

153 POINTS
275 FACES
70 VOLUMES
14 PENTAEDRES
56 HEXAEDRES
1 COMPOSANTE(S) O
1 COMPOSANTE(S) F

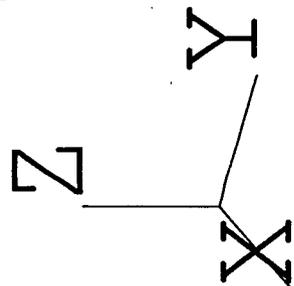
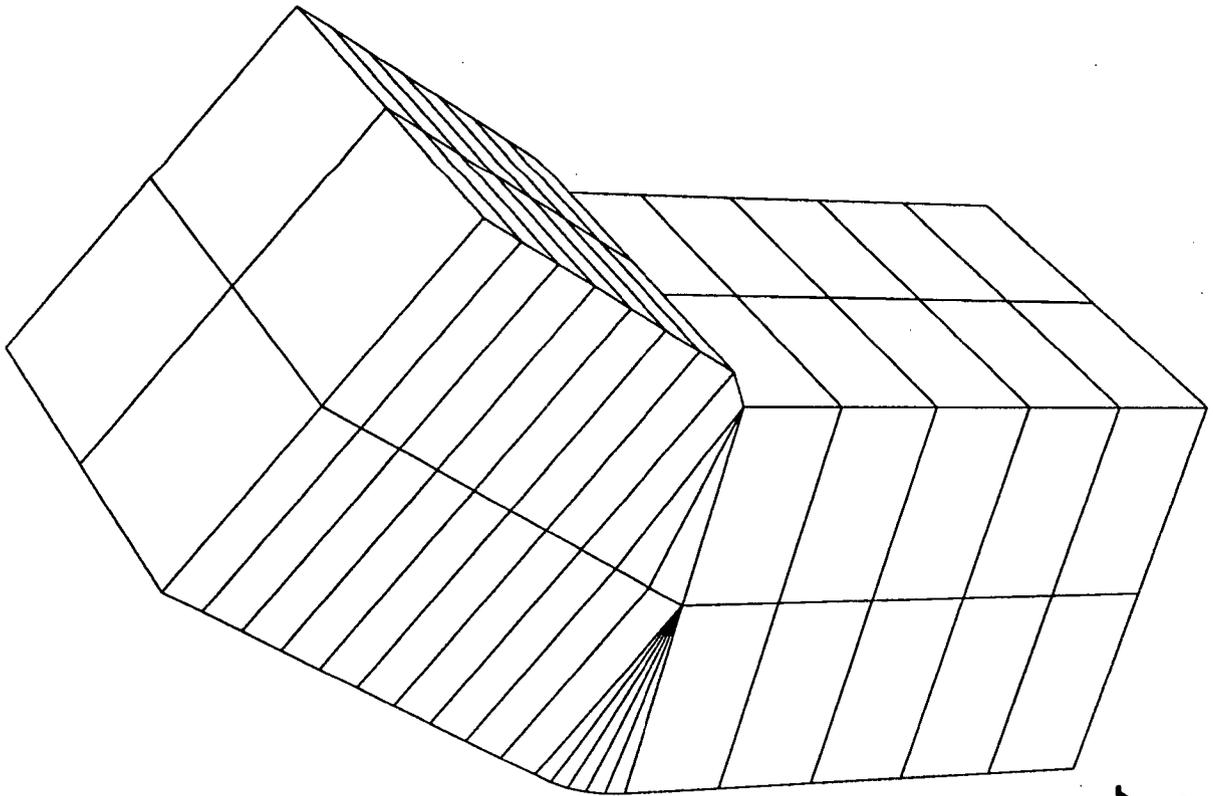
POINT MINIMAL :
-1.0 -1.0 0.00
POINT MAXIMAL :
1.0 1.9 5.0

OBSERVATEUR CARTESIEN :
13. 8.0 11.

POINT REGARDE :
0.00 0.43 2.5

OBSERVATEUR SPHERIQUE :
30. 30. 18.
OUVERTURE :
10.

PEAU VUE



=====
EXEMPLE 4 : TUYERE (QUADRANGLES DANS L'ESPACE)
=====

B\$ ma23xx

-- CREATION DU DATA == EXECUTION MODULE (DATA EXISTANT) == FIN == ?

>> c

>> NOM DU FICHER DE DATA A CREER:

NOM >> tuyere.data

>> NOM DU FICHER NOPO CONTENANT LE MAILLAGE 2D

NOM? >>tuyere.sec.nopo

>> NOM DU FICHER NOPO POUR LE MAILLAGE 3D RESULTAT

NOM? >>tuyere.nopo

>> VOUS ETES AU NIVEAU DE LA DEFINITION D'UNE FONCTION
CHOISSISSER VOTRE ACTION OU [HELP]

FONC>> rot

ENTRE LA COUCHE 1 ET QUELLE COUCHE? 36

>> DONNER LES 3 COMPOSANTES DU VECTEUR DIRECTEUR DE L'AXE DE ROTATION:

> VX= 1

> VY= 0

> VZ= 0

>> COORDONNEES D'UN POINT DE L'AXE DE ROTATION:

> X=0

> Y=0

> Z=0

>> ANGLE DE ROTATION EN DEGRES = -10

FONC>> fin

>> [OPTIONS] / GO / HELP

OPTION >> coller

>> OK

OPTION >> impre

TAUX D'IMPRESSION ENTRE 0 ET 10 > 5

OPTION >> go

MODULE MA2D3D :

S.D.E. NOPO 2D : TUYERE.SEC.NOPO

S.D.S. NOPO 3D : TUYERE.NOPO

NOMBRE DE COUCHES: 36

>> RECOLLEMENT DES EXTREMITES

>> MAILLAGE EFFECTUE: SAUVEGARDE DE LA SD

TABLEAU N O P 2

CARACTERISTIQUES DU MAILLAGE

Table with 3 columns: Description, Code, Value. Rows include DIMENSION DE L'ESPACE (3), NOMBRE DE NUMEROS DE REFERENCE (0), NOMBRE DE SOUS-DOMAINES (1), NOEUDS ET POINTS COINCIDENT PARTOUT (1), NOMBRE D'ELEMENTS DU MAILLAGE (1440), NOMBRE DE QUADRANGLES (1440), NOMBRE D'ELEMENTS FRONTALIERS (0), NOMBRE DE NOEUDS (1476), NOMBRE DE NOEUDS PAR SEGMENT (0), TYPE DES VALEURS DES COORDONNEES (REEL1MOT), DIFFERENCE MAX + 1 ENTRE 2 NOEUDS D'UN ELEMENT (1437), NOMBRE D'ELEMENTS GROSSIERS (0), NOMBRE DE MOTS DU TABLEAU NOP5 (11520), AXES DE REFERENCE X,Y,Z (1), and FIN DU MODULE MA2D3D.

-- CREATION DU DATA == EXECUTION MODULE (DATA EXISTANT) == FIN == ?

>> f
Fortran STOP

MODULEF : ardi

tuyere

21/09/88

tuyere.sec.nopo

41 POINTS

41 NOEUDS

40 ELEMENTS

40 SEGMENTS

0 TROU(S)

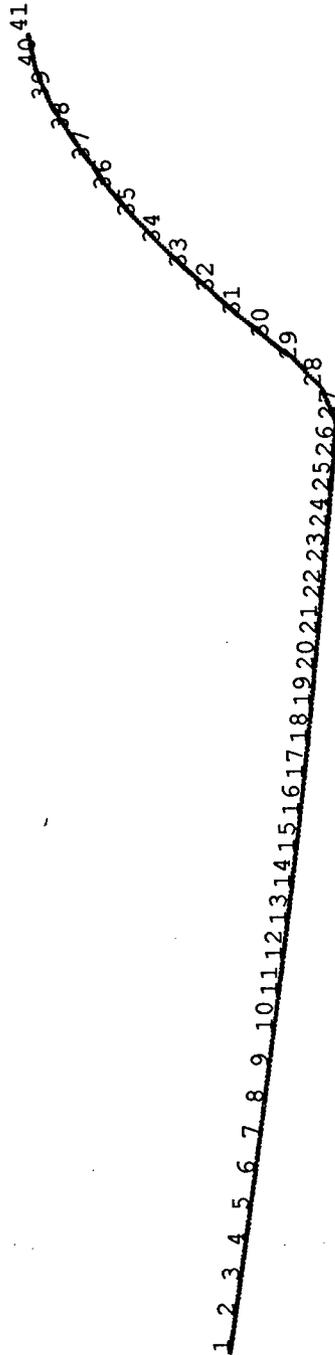
COIN BAS GAUCHE :

-11. -5.2

COIN HAUT DROIT :

4.7 9.3

NUMERO NOEUD



MODULEF : ardi

21/09/88

tuyere.nopo

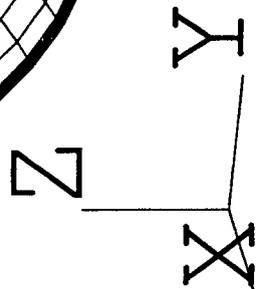
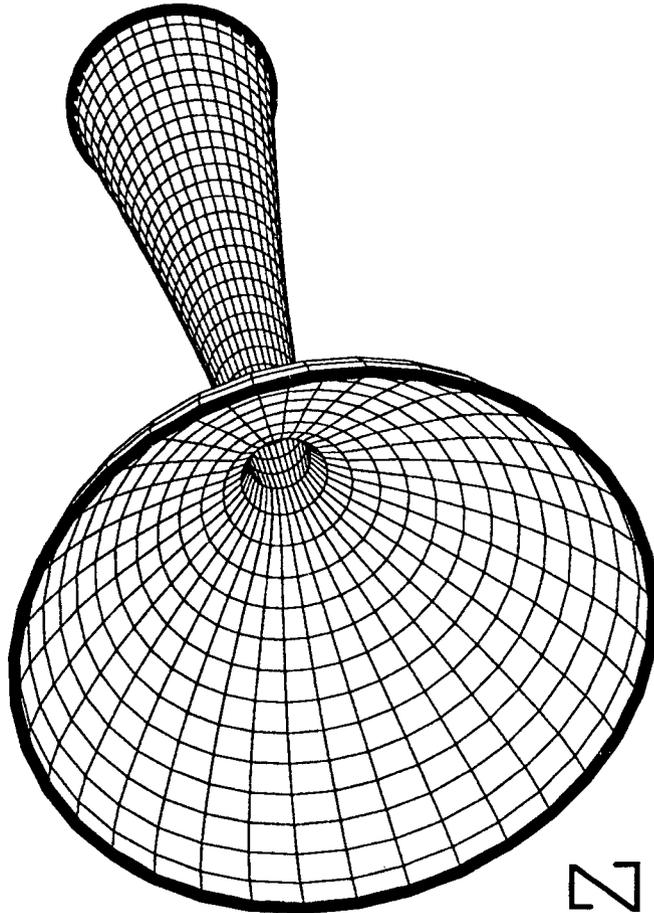
1476 POINTS
1440 FACES
1440 VOLUMES
1 COMPOSANTE(S) O
1 COMPOSANTE(S) F

POINT MINIMAL :
-10. -3.7 -3.7
POINT MAXIMAL :
4.0 3.7 3.7

OBSERVATEUR CARTESIEN :
40. 25. 8.7
POINT REGARDE :
-3.0 -0.48E-06 0.36E-06

OBSERVATEUR SPHERIQUE :
30. 10. 50.
OUVERTURE :
10.

PEAU VUE



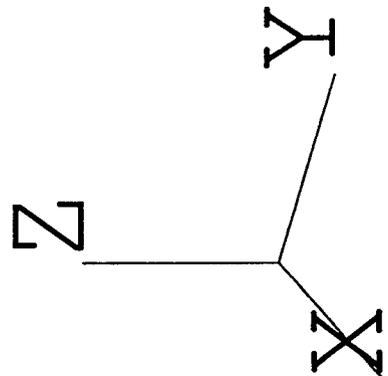
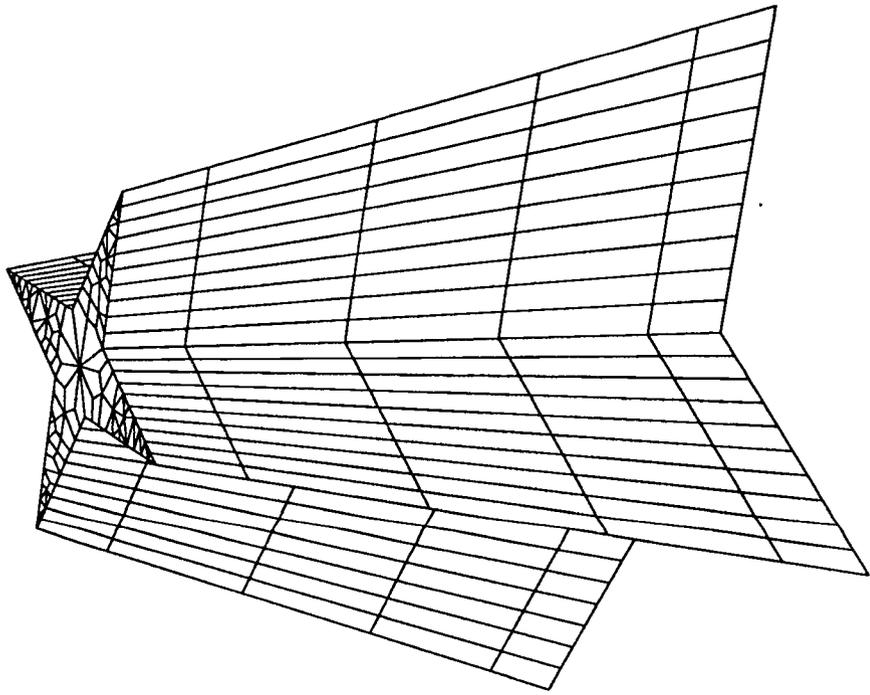
=====

EXEMPLE 5 : BATCH

=====

```
PROGRAM TEST
PARAMETER (LM=1000000)
COMMON M(LM)
REAL ZINT(0:5)
INTEGER NANOV(2,2),NANOS(2),NANOI(2)
EXTERNAL XYZ23
CALL INITIS(M,LM,0,0)
C === OUVERTURE DES FICHER NOPO E & S
NFINOPE = 1
NFINOPE = 1
NFINOPS = 2
NFINOPS = 2
CALL OUVRIR(NFINOPE,'STAR2D.NOPO','OLD,UNFORMATTED',0,IOSTAT)
CALL OUVRIR(NFINOPS,'STAR3D.NOPO','UNFORMATTED',0,IOSTAT)
C === SECTION SUPERIEURE DONNEE PAR XYZ23
IZSUP = 1
C === NOMBRE DE SECTIONS ( = NOMBRE DE COUCHES + 1 )
NBSEC = 6
C === COTES DES SECTIONS DONNEES MANUELLEMENT
IDECV = 1
ZINT(0) = -1   { = ZINF }
ZINT(1) = 0
ZINT(2) = 2
ZINT(3) = 4
ZINT(4) = 6
ZINT(5) = 7   { = ZSUP }
C === LES REFERENCES :
IREF = 2
NRINF = 1
NRSUP = 2
NNREFV = 2
NANOV(1,1) = 1
NANOV(2,1) = 2
NANOV(1,2) = 2
NANOV(2,2) = 3
C === FACE SUP:
NNREFS = 1
NANOS(1) = 1
NANOS(2) = 4
C === FACE INF:
NNREFI = 0
C ===
FONINT = .FALSE.
CALL MA2D3D(M,NFINOPE,NFINOPE,NFINOPS,NFINOPS,IZSUP,ZINF,ZSUP,
+          NBSEC,IDECV,IREF,NRINF,NRSUP,NNREFV,NANOV,
+          NNREFI,NANOI,NNREFS,NANOS,ZINT,FONINT,XYZ23)
END

SUBROUTINE XYZ23(I,NUPOIN,NUMREF,X,Y,X3,Y3,Z3)
C ++++++
C BUT : PERMETTRE DE GENERER LES SECTIONS LORS DE L'APPEL DE MA2D3D
C ++++++
C EN ENTREE :
C -----
C I : NUMERO DE LA SECTION
C NUPOIN : NUMERO DU POINT DE LA SURFACE PLANE DE REFERENCE
C NUMREF : NUMERO DE REFERENCE DU POINT
C X,Y : COORDONNEE DU POINT NUPOIN SUR LE PLAN
C EN SORTIE :
C -----
C X3,Y3,Z3 : COORDONNEES DU POINT SUR LA SECTION I
C .....
C
C
C X3 = 0.25*X
C Y3 = 0.25*Y
C Z3 = 10
C END
```



VII- BIBLIOGRAPHIE:

[1] **MODULEF & all:**

Description des structures de données MODULEF.
Rapport MODULEF numéro 2. INRIA 1988.

[2] **P.L.George, A.Marrocco, R.Pierrot, F.Pistre, J.Vazeilles:**

Maillage tridimensionnel.
Rapport MODULEF numéro 10. INRIA 1985.

[3] **P.L.George:**

MODULEF: Génération automatique de maillage.
Collection didactique. Volume n° 2. INRIA 1988.

[4] **P.Laug:**

Les fonctions interprétées.
Rapport technique n°38. INRIA 1984.

[5] **P.L.George:**

Construction et modification de maillages.
A paraître fin 1988.