CAELinux et l'analyse par éléments finis. Exercice 1, cube percé

Jean-Marc LICHTLE *

28 mai 2006

Table des matières

Résumé

L'objectif de ce document est de constituer une introduction à l'utilisation de CAELinux et des logiciels que comporte cette distribution LINUX spécialisée dans l'analyse par éléments finis. Nous aborderons dans la suite l'usage de :
- SALOME, à la fois éditeur 3D, mailleur et logiciel de post-traitement
- EFICAS, l'éditeur de fichier de commande Code-Aster

* *Ingénieur Arts et Métiers promotion CH73*

– CODE-ASTER, le logiciel de calcul d'éléments finis utilisé via une interface graphique nommée ASTK.

1 Introduction

L'exercice va consister à analyser les contraintes et déformations d'un cube percé, l'une des faces du cube étant fixée, la face opposée est soumise à une pression répartie. L'axe du perçage est parallèle aux faces sur lesquelles s'exercent les efforts. Dans cet exemple les fichiers et dossiers seront tous nommés cube_perce.xxx, l'extension xxx étant fonction du format de fichier.

2 Pré requis

Ce qui suit est relatif à la version Beta 1 de CAELinux, octobre 2005. Pour une version plus récente (future à l'heure ou j'écris ces lignes) il se pourrait que les informations qui suivent ne soient plus applicables sans mise à jour.

2.1 Installation de CAELinux

Le DVD CAELinux est à la fois un DVD d'installation et un DVD live. Il en découle que vous pouvez tout aussi bien installer CAELinux sur le disque dur de votre ordinateur que l'utiliser comme un live CD/DVD comparable à KNOPPIX, UBUNTU Live ou FRENZY dans le monde FreeBSD. A titre personnel je n'ai toutefois pas réussi à lancer SALOME depuis un boot live bien que j'ai fait le test sur plusieurs machines, portables IBM, portable SIEMENS, PC de bureau SIEMENS etc. J'ai donc fini par l'installer sur ma machine privée (un PC sans marque) et sur un IBM au boulot.

CAELinux est basé sur PCLinuxOS, un fork de Mandriva ex Mandrake Linux. Il en découle que les utilisateurs habitués à installer Mandriva ne seront absolument pas dépaysés de se trouver confrontés une procédure tout à fait familière. Autant dire que l'installation se déroule sans la moindre histoire, pensez simplement à bien sélectionner votre clavier au départ faute de quoi vous serez contraint de retoucher un peu les paramètres une fois l'ensemble installé.

2.2 Ajouts de fonctionnalités à CAELinux

J'ai été assez surpris de trouver un LaTeX parfaitement fonctionnel dans CAELinux. Ce détail me rend bien des services et me permet par exemple de rédiger cette documentation. Par contre, mauvaise surprise, la version de VI, mon éditeur préféré, est un truc poussif qui pourrait figurer en bonne place sur une distribution de dépannage genre "tout dans la poche sur une disquette". The Gimp est bien présent mais pas Xfig, dommage là aussi. Étant utilisateur habituel de FreeBSD j'ai bataillé un moment avant de trouver l'astuce, la version 10.0 de Mandrake semble être au niveau qui convient pour faire des ajouts à CAELinux. Il suffit de connaître quelques commandes de base du style find et rpm et le tour est joué. L'ajout de VI en version "enhanced" avec coloration syntaxique et tout le confort n'a posé aucun problème, celui de Xfig a simplement nécessité un changement de CD. En clair, un bon conseil, ne jetez pas vos CD Mandrake / Mandriva un peu anciens, gardez les précieusement, ils peuvent servir à ajouter des fonctionnalités à CAELinux.

3 Construction de la pièce avec SALOME

Sans être vraiment logiciel de DAO SALOME permet toutefois de construire des formes géométriques avancées ainsi que les volumes correspondants. Nous allons utiliser cette aptitude pour construire le volume que nous allons soumettre au traitement du mailleur. Je précise à cet endroit que SALOME est capable d'importer des fichiers CAO aux formats iges et step ainsi qu'un format brep dont j'ignorais même l'existence avant de découvrir SALOME.

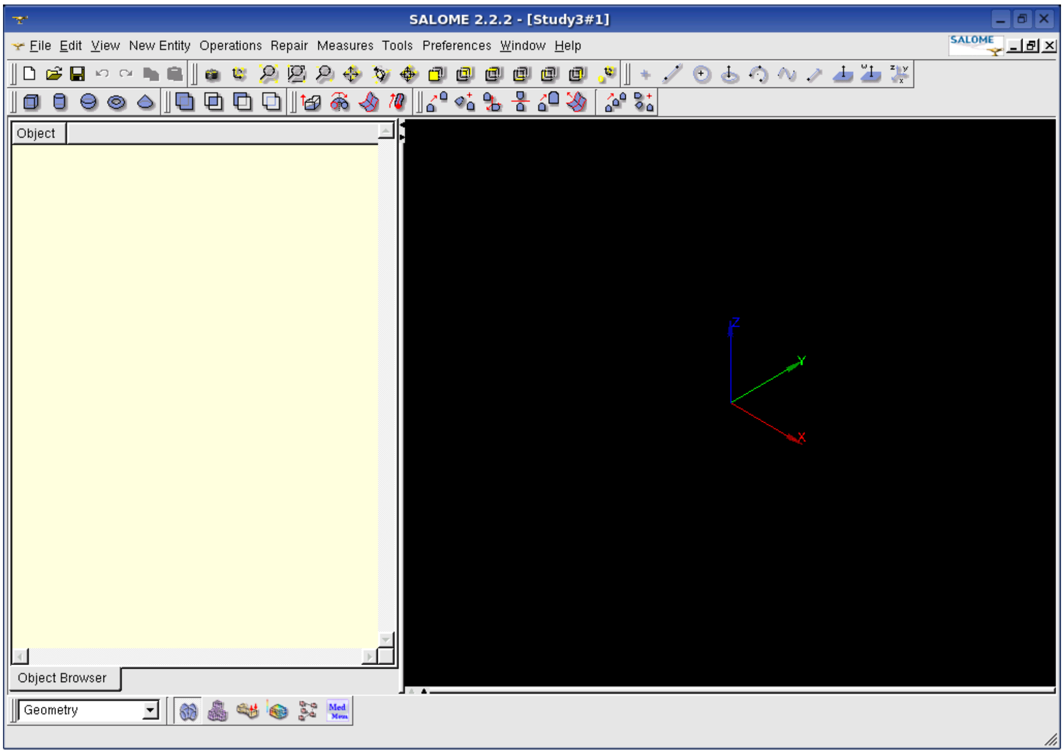

FIG. 1 – Écran de départ

3.1 Construction du cube

Lancer SALOME, ouvrir avec File/New, sélectionner Geometry puis fermer les fenêtres de l'interpréteur Python en redimensionnant la fenêtre d'affichage, utiliser les toutes petites flèches prévues à cet effet dans l'angle inférieur gauche de la fenêtre. Je profite de ce passage pour attirer votre attention sur le fait que SALOME peut être utilisé en mode Geometry mais aussi Mesh (maillage), Post-pro (exploitation du résultat de Code-Aster) etc... Ne perdez jamais de vue cet aspect et si plus tard vous vous heurtez à une difficulté du genre item de menu qui n'existe pas, clic droit qui ne fait pas ce qu'il devrait faire etc. commencez par vérifier si vous êtes bien dans le mode prévu !
Une cube est une face carrée qui est extrudée dans la direction d'un vecteur. Une face est elle-même le résultat de la transformation d'une figure "sketch". La première étape va donc consister à créer ce cube à partir des éléments décrits. Pour cela :
Menu New entity / Sketch, entrez successivement les coordonnées (0,0), (2,0), (2,2), (0,2), dans cet ordre et validez après chaque paire de coordonnées avec le bouton "Apply". Le bouton "Sketch closure" permet de valider le dessin et de fermer la fenêtre. Utiliser la loupe la plus à gauche de la barre de menu, "Fit all", pour afficher le nouveau dessin à la taille de l'écran disponible.
Notez que les unités ne sont nullement précisées. Il vous appartient donc de saisir les valeurs en fonction du système d'unité retenu en veillant à conserver la cohérence entre unités, par exemple pression en Pascal si les dimensions sont exprimées en mètres et les forces en Newton. Il est important de comprendre que nous venons de dessiner 4 lignes assemblées en carré, donc un contour et non un carré "plein". Dans une étape ultérieure nous allons transformer ces 4 lignes en figure plane "consistante" également appelée "face" dans le vocabulaire de SALOME.
Arrêtons nous un instant pour détailler le fonctionnement de la souris. Associé à la touche CTRL les boutons de souris permettent faire varier la vue comme suit :

- CTRL + bouton droit permet de faire tourner la vue dans l'espace
- CTRL + bouton gauche permet, en conservant le point de vue, d'agrandir ou de réduire la taille de la vue
- CTRL + bouton central permet de déplacer la vue en conservant la taille de l'objet et son orientation.

Toutes ces actions peuvent être obtenues également en agissant sur les différentes loupes qui appa-

raissent dans la barre de menu à la droite de celle que nous avons utilisée plus haut. Avant d'entamer la transformation du carré en face intéressons nous à la partie gauche de l'écran. Un clic droit sur "Geometry" et la sélection de "Expand all" fait apparaître un ligne Wire_1. Un clic sur Wire_1 change la couleur du carré, réciproquement un clic sur le carré ramène la sélection sur Wire_1. La bande gauche de l'écran va, au fur et à mesure de l'avancement du projet, constituer un menu qui va décrire la façon dont les éléments ont été construits.
Pour transformer le carré Wire_1 en face cliquez le menu "New Entity", "Build", "Face". Un clic sur la flèche "Wire(s)" suivi d'un clic sur "Wire_1" dans le menu gauche affiche "Wire_1" dans la boite de dialogue. Notez que si la sélection était sur Wire_1 (menu gauche) avant de vous lancer dans la création de la face le clic sur la flèche est suffisant pour sélectionner Wire_1. Validez avec OK pour fermer la boite de dialogue. Vous voyez maintenant apparaître un nouvel élément "Face_1" dans le menu, cliquez sur le signe + qui apparaît en début de ligne pour "ouvrir" la ligne, vous voyez apparaître la mention Wire_1 en rouge. La face Face_1 est donc le produit de la transformation de Wire_1. A ce stade de l'avancement cette précision semble bien inutile, dans quelques temps il sera bien agréable de retrouver rapidement comment cette §#* ! de forme dont on a oublié la génèse a été créée !
Une fois la face de base créée il faut créer le vecteur qui orientera les extrusions successives. Pour cela menu, New Entity, Basic, Vector. La première ligne de la boite de dialogue qui apparaît permet de choisir entre deux méthodes de génération, soit un vecteur fondé sur deux points (choix par défaut), soit un vecteur défini par ses coordonnées. C'est cette dernière méthode que nous allons utiliser ici, cliquez donc sur l'icône de droite puis entrez les coordonnées 0,0,1 que vous validerez en cliquant sur OK. Vector_1 apparaît dans le menu gauche.
Nous disposons maintenant de tout ce qu'il nous faut pour extruder le cube, une face et un vecteur non parallèle à la face. Pour extruder menu, New Entity, Génération, Extrusion, Base = Base_1, Vector = Vector_1, entrez 2 dans Height et validez par OK. J'accélère la description, la manipulation de la boite de dialogue est tout à fait comparable à celle qui a permis de créer Face_1. Un petit coup de menu View, Display Mode, Shading et vous avez un joli cube de 2 unités de côté que vous pouvez vous amuser à faire tournoyer dans l'espace. Revenez ensuite à une vue filaire (View, Display Mode, Wireframe) pour continuer l'exercice.

3.2 Construction du cylindre

Le moment est venu de tracer un cercle qui définira le perçage du cube. Pour tracer un cercle il faut un centre, un vecteur et un rayon. Le vecteur sera le même que celui qui a servi à extruder le carré, il manque de point de centre. Menu New Entity, Basic, Point, entrez les coordonnées 1,1,0 et validez. Un point nommé Vertex_1 vient d'apparaître dans le menu gauche et sur le dessin, il est situé au centre d'une face du cube. Le tracé du cercle n'est guère plus complexe, menu New Entity, Basic, Circle, Center Point = Vertex_1, Vector = Vector_1, Radius = 0.5 et validez par OK. La tentation serait ici de vouloir transformer le cercle en face. Ce raccourci ne fonctionne toutefois pas, il va falloir transformer le cercle en "Wire" puis le wire en face.
Pour cela menu New Entity, Build, Wire, Objects = Circle_1 puis OK. Une figure "Wire_2" est maintenant ajoutée à la liste des objets affichée dans le menu gauche. Pour transformer en face, menu New Entity, Build, Face, Wire(s) = Wire_2 et OK.
L'extrusion du cylindre associé au cercle est calquée sur l'extrusion du cube, menu New Entity, Génération, Extrusion, Base = Face_2, Vector = Vector_1, Height = 2 puis OK. Vous venez de donner naissance à Prism_2, un cylindre de rayon 0.5, hauteur 2 inscrit dans le cube et centré sur une de ses faces.

3.3 Percement du cube par le cylindre

Pour obtenir le volume final visé, un cube percé, il suffit maintenant de faire la soustraction du cube et du cylindre. Pour cela menu, Opérations, Boolean, Cut, Main Object = Prism_1, Tool Object = Prism_2 puis OK. En principe si tout c'est bien passé vous avez maintenant un cube percé. Pour vérifier repassez en vue ombrée, menu View, Display Mode, Shading. Pensez éventuellement à faire un Diplay Only (après un clic droit) sur Cut_1 pour effacer les autres objets éventuellement représentés à l'écran.

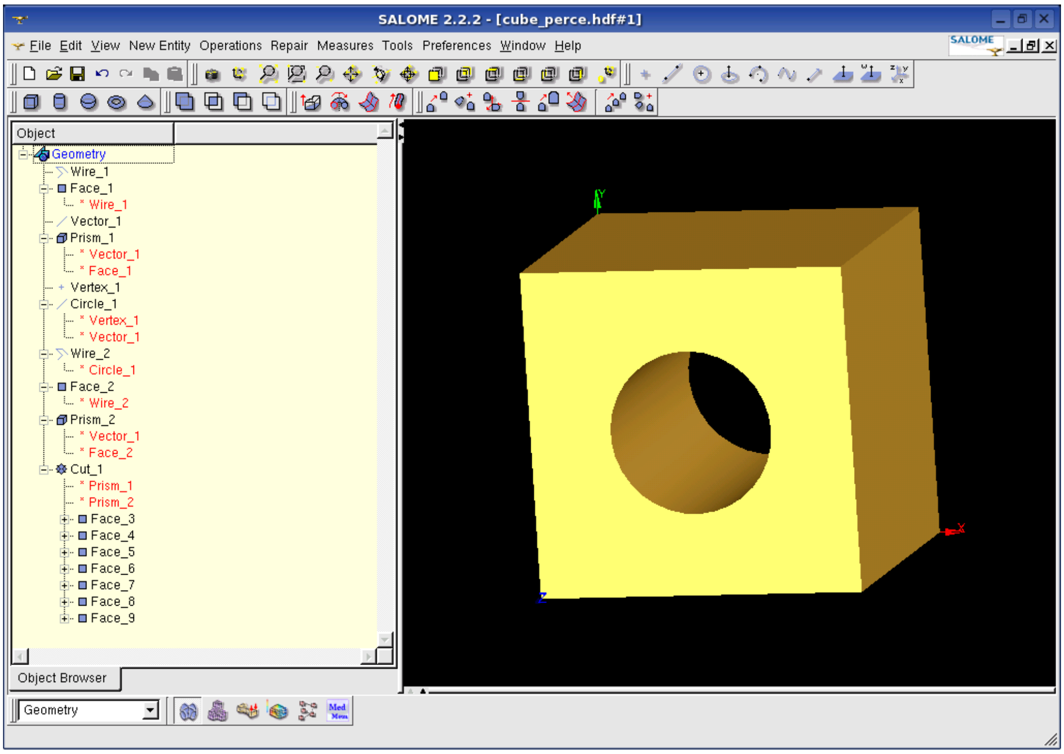

FIG. 2 – Écran Geometry final

3.4 Décomposition du volume en faces

Il nous reste un petit détail à mettre au point. En introduction j'ai exposé que le chargement de la pièce serait constitué d'un appui fixe et d'une pression répartie sur la face opposée. La géométrie définie ici ne nous permet pas de désigner une face en particulier. L'opération qui va suivre va consister à décomposer le cube percé en faces. Pour cela menu New Entity, Explode, Main Object = Cut_1, Sub Shapes Typ = Face puis OK. Cette opération crée de faces numérotées 3 à 9, la face 3 étant celle qui est construite sur les axes X et Z, la face 8 étant la face opposée. Pour identifier les faces utilisez clic droit - Display Only sur la désignation de chaque face ou alors cliquez directement sur les croix qui figurent les faces. Faites éventuellement un clic droit sur Geometry, la première ligne du menu gauche suivi d'un Display pour afficher tous les composants de la construction.

3.5 Les points à retenir

Nous arrivons ici à la fin de cette première partie qui nous a permis de créer un cube percé. Il importe de retenir quelques enseignements de cet exercice :

– Les manipulations de souris associées à la touche CTRL permettent de tourner / redimensionner / déplacer la vue.
– Le menu gauche fait apparaître la démarche intellectuelle qui a permis d'aboutir au résultat, vous utiliserez à votre avantage les clics droits - Expand All qui permettent de développer toute l'arborescence du composant sélectionné.
– Clic droit, Display ou Display Only permet de compléter / limiter l'affichage et de reconnaître un composant.

A ce stade il est temps de sauvegarder notre travail, menu File, Save puis tapez le nom du fichier que vous souhaitez créer, par défaut SALOME propose Study1. Dans notre exemple nous appellerons le fichier cube_perce. Cette action crée, dans le répertoire courant, un fichier nommé cube_perce.hdf, hdf étant le format de SALOME.

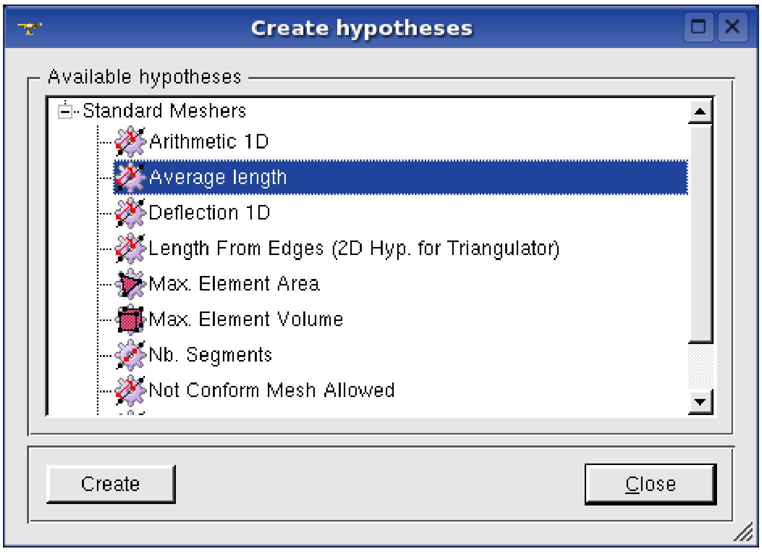

FIG. 3 – Boite de dialogue Create hypothèses

4 Maillage avec SALOME

L'objectif ici va être de décomposer le volume obtenu à l'étape précédente en maille, petits volumes élémentaires auxquels s'appliqueront les différentes propriétés des matériaux et les contraintes résultant du chargement. Il ne saurait être question d'exposer la théorie du maillage, un manuel n'y suffirait certainement, nous appliquerons donc une "recette" basique.
Avant tout passez du mode Geometry au mode Mesh (menu en bas à gauche de l'écran). Le maillage va se faire en trois étapes essentielles, la définition d'hypothèses de base, l'application de ces hypothèses au volume que nous venons de créer et la désignation des faces qui seront chargées (mais pas encore la définition des charges).

4.1 Hypothèses et algorithmes de base

Le menu Hypothèses Create Hypothèses ouvre une fenêtre de dialogue "Create hypothèses" Nous allons créer successivement trois hypothèses :
– Average length, cliquez sur Create ce qui fait apparaître une nouvelle boite de dialogue, entrez 0.2 dans length puis OK.
– Lenght From Edges puis Create.
– Max. Élément Volume puis Create, laissez 1 comme valeur de Max Volume et validez par OK

Que venons nous de faire ? Je suis bien en peine de donner une réponse exhaustive à cet endroit. Une chose est certaine, la valeur introduite dans Average Length a une incidence directe sur la finesse du maillage. Si vous avez un PC standard et peu performant dans le genre du mien, RAM 256 Mo avec une processeur à 1.6 Go, le mieux est de choisir pour commencer une valeur qui représente le 1/10ème de l'arête moyenne du volume. Un maillage plus fin risque de conduire à des temps de calcul très longs.
Le menu Hypothèses, Create Algorithms débouche sur une boite de dialogue assez semblable à la précédente. Sélectionner ici coup sur coup Wire discrétisation, Triangle (Mephisto) puis Tetrahedron (Netgen) en validant par Create entre les sélections. Close permet de fermer la boite de dialogue après la troisième sélection. Voilà, cette partie est finie, les hypothèses et algorithmes retenus sont en place. Un point important ici, faites un clic droit sur le nouvel objet Mesh qui est en fin de liste dans le menu gauche, puis Expand all de telle sorte à voir apparaître les 6 lignes correspondant aux trois hypothèses et aux trois algorithmes que nous venons de mettre en place. Dans l'étape suivante nous aurons en effet besoin de sélectionner ces lignes.

4.2 Appliquer les hypothèses aux objets

Le menu Mesh, Global Hypoteses ouvre une boite de dialogue Mesh Construction. Cette boite est très nettement de la même famille que celle que nous avons vu jusqu'à présent. Name = Mesh_1 est automatique. Donnez la valeur Cut_1 à Geometrical Object après quoi il va falloir renseigner Hypothesis et Algorithm. La nouveauté à cet endroit est que nous allons faire une sélection multiple pour chacun des deux champs. Pour cela cliquez sur la flèche de Hypotheses dans la boite de dialogue puis sur la première ligne d'hypothèses dans le menu gauche. Average length s'affiche dans la boite de dialogue. Enfoncez la touche majuscule et sélectionner la dernière ligne d'hypothèses, l'affichage change, la case contient maintenant "3 Hypotheses". Recommencez avec Algorithm en sélectionnant (multiple) les trois algorithmes Wire discrétisation à Tetrahedron (Netgen) puis validez par OK.
Un nouvel objet Mesh_1 apparaît maintenant dans le menu gauche. Le moment est (enfin) venu de faire calculer les mailles, pour cela faite un clic droit sur Mesh_1 puis cliquez sur "Compute" dans le menu qui s'affiche alors. L'écran se fige pendant quelques secondes (une quinzaine sur ma machine). Recommencez l'opération mais en choisissant cette fois "Update". Après quelques secondes vous devriez voir changer l'image du cube percé. Vous devinez à cet instant que le maillage vient d'être dessiné. Un nouveau clic droit sur Mesh_1 suivi d'un petit coup de "Display Only" et l'écran affiche maintenant le maillage, but de nos efforts dans ce chapitre.

4.3 Créer des groupes de mailles correspondant aux faces utiles

La pièce est maintenant découpée en petits volumes individuels. Avant de passer à l'étape suivante qui conduira, pour l'essentiel, à définir l'état de charge de la pièce, il nous reste une dernière petite chose à faire, nommer les faces (et donc les mailles qui constituent ces faces), de façon à pouvoir les désigner correctement à l'étape suivante. Pour cela menu Mesh, Create Group pour faire apparaître une nouvelle boite de dialogue "Create Group". Cliquez sur Face et Group on Geometry pour lui donner l'allure de la figure 4 page 7. Utiliser les méthodes détaillées plus haut (clic sur la flèche de la boite de dialogue puis clic sur l'objet dans le menu gauche pour compléter les champs Mesh et Geometrical Objet. Le résultat de la première boite de dialogue est exactement celui de la figure 4, page 7. Nommez la face 3 "Base" et la face 8 "Pression". Ces noms sont tout à fait libres, vous pouvez leur donner les valeurs que votre imagination vous proposera, j'aime bien Base pour désigner une face qui est fixe et ne bougera pas dans le chargement et Pression la face sur laquelle va s'exercer une pression uniformément répartie.
Il reste encore deux choses à faire :

- Sauvegarder le fichier dans son état actuel avec menu File Save. Vous pouvez conserver le nom précédent en écrasant la version enregistrée ou lui donner un nouveau nom.
- Exporter le maillage (avec les faces nommées) pour que Code-Aster puisse lire les données.

4.4 Exportation vers Code-Aster

Cette exportation se lance avec un clic droit sur l'élément Mesh_1 de l'arborescence puis Export to MED. Dans la boite de dialogue qui apparaît pensez à choisir immédiatement le File Type MED 2.2 puis donnez un nom de fichier qui pourra sans inconvénient être le même que celui de la dernière sauvegarde au format SALOME puisque les extensions sont différentes. A ce stade votre disque devrait donc contenir deux fichiers, l'un nommé cube_perce.hdf au format SALOME, l'autre cube_perce.med au format CODE-ASTER. Vous pouvez réduire la fenêtre SALOME, nous n'en aurons plus besoin dans le chapitre suivant.

5 Création du dossier ASTER avec New FE Analysis

Cliquez sur l'icône "New FE Analysis". Une boite de dialogue "Create New Aster Job" apparaît. Comme son nom l'indique elle constitue le point d'entrée de l'utilisation de CODE-ASTER. En fait ce petit programme va créer un nouveau dossier dont vous définissez le nom dans la ligne 1, dans

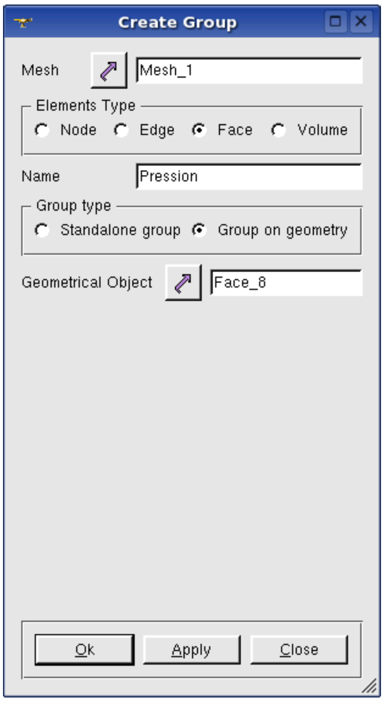

FIG. 4 – Dialogue "Create Group"

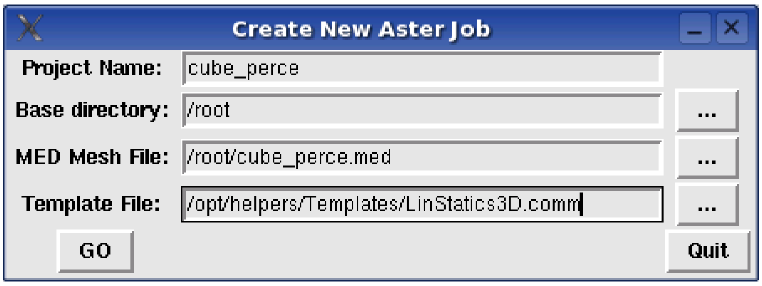

FIG. 5 – Création nouvelle tâche ASTER

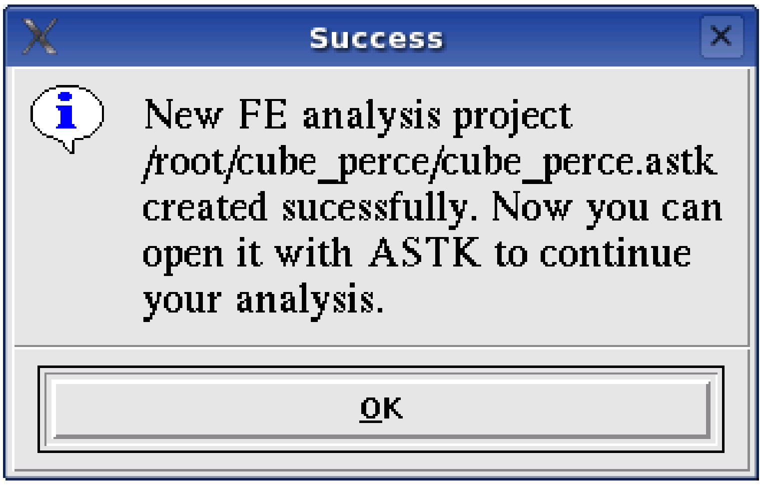

FIG. 6 – Confirmation de la création du dossier ASTER

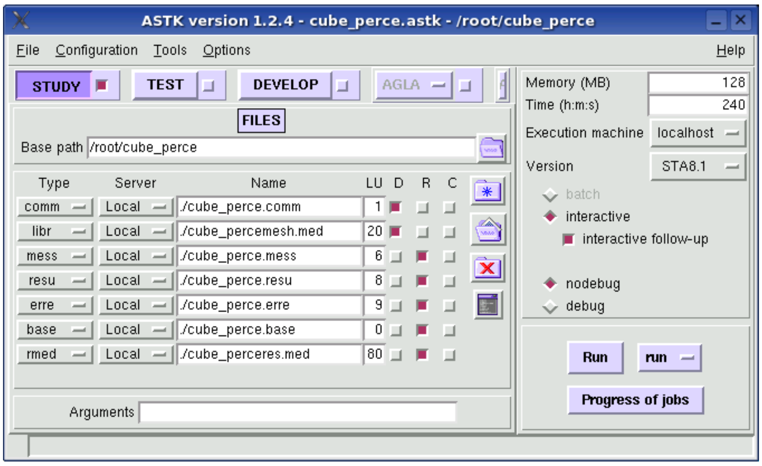

FIG. 7 – Dialogue ASTK une fois le fichier de commande (.comm) chargé

un répertoire de base que vous désignez via la ligne 2, utilisant le fichier MED visé à la ligne 3 et mettant en oeuvre un modèle choisi à la ligne 4. Simple non ? En d'autres termes :

- Nommez le dossier à la ligne 1, personnellement je reprends le même nom que précédemment, cube_perce. Ce dossier est en fait un sous-répertoire du répertoire désigné à la ligne suivante.
- Choisissez le répertoire dans lequel sera créé ce dossier, /root est le choix proposé par défaut.
- Choisissez le fichier MED précédemment exporté comme base pour ce nouveau calcul.
- Sélectionnez dans la liste des trois modèles proposés le premier, LinStatics3D.comm.

Validez, vous devriez voir apparaître une boite de confirmation semblable à la figure 6, page 8.

6 Préparation du fichier de commande avec EFICAS

Le moment est venu du cliquer sur l'icône ASTK présente sur le bureau. Ce clic va ouvrir une fenêtre "ASTK Version ... New". Le menu permet, via File, Open de charger le fichier cube_perce.astk rangé dans le dossier cube_perce créé à l'étape précédente. La fenêtre devrait donc présenter l'aspect de la figure 7, page 9. Un double clic sur le terme ./cube_perce.comm apparaissant dans le première ligne du tableau lance EFICAS, l'éditeur de fichier de commande de CODE-ASTER. Une nouvelle fenêtre comme celle de la figure 8 page 9 s'affiche alors.

C'est dans cette fenêtre que nous allons définir les appuis, les charges, les caractéristiques des matériaux etc. Le contenu des différents onglets qui figurent dans la colonne de gauche correspondent à des groupes de lignes du fichier cube_perce.comm sélectionné plus haut. Nous pourrions éditer

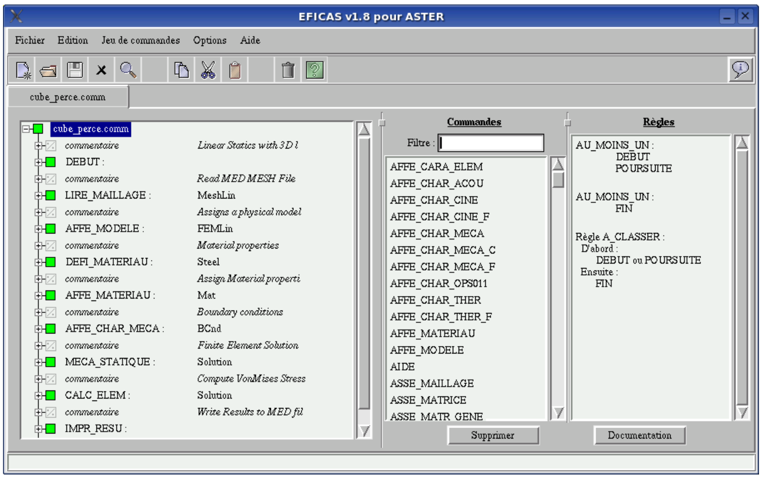

FIG. 8 – La fenêtre EFICAS

ce fichier directement à la main, EFICAS va toutefois nous assister dans ce travail et s'occuper non seulement de nous conseiller pour la mise à jour de ce fichier, mais va aussi en effectuer la vérification syntaxique.

6.1 Renseignement des caractéristiques du matériau

Ouvrir l'onglet DEFI_MATERIAU en cliquant sur le + du début de ligne. Ouvrir de même le nouvel onglet ELAS. Un nom de matériau et trois valeurs numériques sont mentionnées dans ces lignes, Steel pour désigner de l'acier, suivi du module d'élasticité E (module de YOUNG), du coefficient de POISSON NU et de la masse volumique RHO. Les unités ne sont pas précisées, nous utilisons ici les unités de base, Newton, mètre etc et les unités qui en découlent comme le Pascal. Vous avez la possibilité ici de renommer le matériau en cliquant sur la ligne DEFI_MATERIAU puis sur l'onglet "Nommer Concept" dans la partie droite de l'écran. De même vous pouvez changer les valeurs de E, NU ou RHO en cliquant sur les lignes correspondantes et en saisissant la nouvelle valeur dans le dialogue à droite de la fenêtre. La touche Entrée permet de valider les saisies. Pour un premier exemple vous pouvez laisser les valeurs par défaut. Notez que vous avez la possibilité de rajouter une définition de matériau en cliquant l'onglet "Nouvelle commande" dans la partie droite de la fenêtre puis en sélectionnant DEFI_MATERIAU dans la liste déroulante. Cette action créé une nouvelle ligne DEFI_MATERIAU dans le tableau de gauche, affectée d'une case rouge signifiant que la définition est, pour l'instant incomplète. Pour supprimer une ligne créée par erreur (ou juste pour essayer comme proposé ci-dessus) sélectionner la ligne et cliquer sur le bouton supprimer en bas de la partie droite de l'écran.

6.2 Affectation des charges mécaniques

La ligne "AFFE_CHAR_MECA, que je vous invite à "ouvrir" éventuellement en cliquant sur le symbole "+", est certainement la plus intéressante dans cet exercice, c'est en tous cas à cet endroit que nous allons faire les modifications les plus importantes. Voir à ce sujet la figure 9 page 10. Commencez par supprimer le groupe de lignes FORCE_NODALE, non utilisé dans notre exercice. Pour cela cliquer sur FORCE_NODALE puis sur le bouton supprimer. Nous allons tout d'abord modifier DDL_IMPO pour le faire correspondre à l'appui de la face "Base" de notre cube. Pour celà sélectionner GROUP_NO et supprimez le. Remplacez le par GROUP_MA. Pour ce faire cliquez sur DDL_IMPO puis sur GROUP_MA dans la liste de droite (double clic). Taper "Base" dans la boite de dialogue droite puis sur la main dont les doigts sont dirigés à gauche de façon à transférer cette valeur dans la liste "Valeur(s) actuelle(s)". L'écran 10 page 10 montre le résultat des ces manipulations. Nous venons, par l'opération précédente, d'indiquer de façon claire (enfin j'admets que c'est surtout clair pour le soft, pas pour le débutant ...) que la face "Base" est un appui fixe puisque DX, DY et DZ sont nuls. Il reste donc à appliquer la pression répartie sur la face Pression. Pour celà cliquez sur la

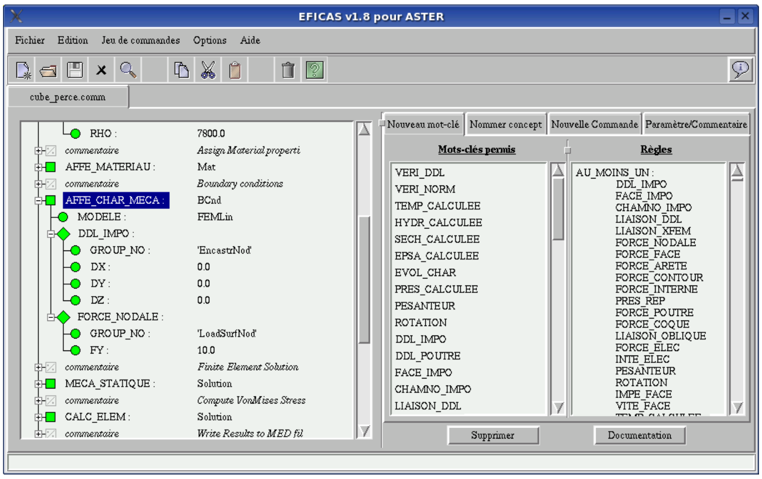

FIG. 9 – AFFE_CHAR_MECA dans la version d'origine

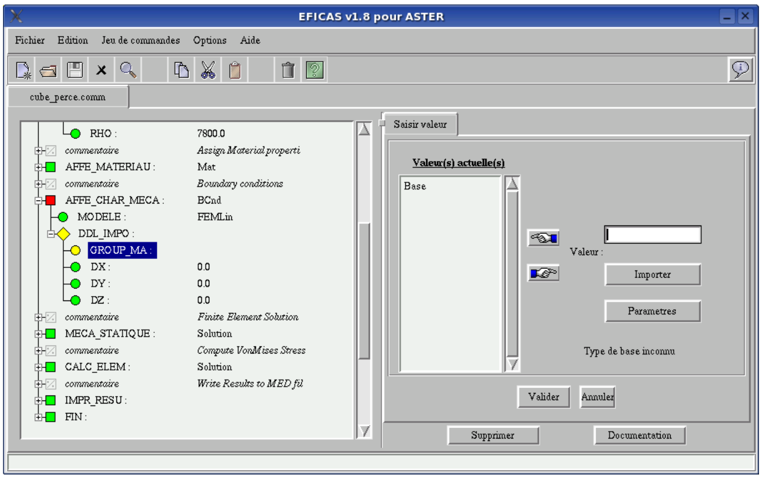

FIG. 10 – DDL_IMPO pour la base

ligne AFFE_CHAR_MECA puis déroulez la liste qui apparaît dans la droite de l'écran jusqu'à trouver la ligne PRES_REP correspondant à une pression répartie. Un double clic crée une nouvelle ligne PRES_REP sous la ligne DDL_IMPO objet des manipulations précédentes. Il suffit maintenant de définir la face concernée et la valeur de la pression, pour celà :

– Cliquez sur GROUP_MA (double clic) pour ajouter cette ligne à gauche et ouvrir une nouvelle fenêtre de saisie. Entrez "Pression" dans le champ de saisie et validez comme précédemment pour "Base".
– Cliquez à nouveau sur PRES_REP (à gauche) puis double clic sur PRES dans la liste des mots clefs permis et saisissez 1e6. Validez par la touche Entrée. La valeur 1e6 correspond à 1 million de Pascal soit une pression de 10 bars.

Une fois cette pression validée tous les voyants devraient être au vert. Enregistrez donc simplement la nouvelle version du fichier cube_perce.comm avec menu Fichier, Enregistrer. Vous pouvez réduire le fenêtre EFICAS, en principe nous n'en aurons plus besoin pour cet exercice.

7 Traitement avec CODE-ASTER

Ça y est, le fichier de configuration de CODE-ASTER est créé, nous allons pouvoir passer au calcul proprement dit, l'étape la moins interactive du parcours puisqu'il suffit de cliquer sur le bouton RUN en bas à droite de la fenêtre ASTK pour que le machine parte dans un savant calcul. Les efforts de la bête sont traduit dans l'affichage d'une fenêtre texte dans laquelle vous pouvez suivre, si vous avez de bons yeux, l'avancement du travail. Guettez tout particulièrement les débuts de lignes. Vous y verrez s'afficher des <I> à certaines étapes du calcul. L'apparition d'un <F> signifie simplement qu'il y a une erreur et que le calcul ne pourra pas être mené à son terme. En cas de doute cliquez en fin de calcul, une fois que la machine vous a rendu la main, sur la ligne ./cube_perce.erre de la boite de dialogue ASTK ... pour voir s'afficher le contenu du fichier des messages / erreurs.

8 Post-traitement avec SALOME

Plaçons nous dans l'hypothèse d'un traitement réussi. Vous pouvez réveiller SALOME, ouvrir une nouvelle fenêtre, cette fois avec la fonction Post-pro et non plus Geometry ou Mesh. Chargez le résultat du calcul précédent par le menu File, Import from file et sélectionnez le fichier /cube_perce/cube_perceres.med. Une ligne + Post-Pro devrait apparaître dans l'écran de gauche. Un clic droit suivi d'un Expand All et voilà toute l'arborescence du résultat qui apparaît ! Les lignes intéressantes sont les lignes SolutionDEPL suivie de 0,INCONNUE et SolutionEQUI_ELNO_SIGM suivie elle aussi d'une ligne 0,INCONNUE. Ces deux groupes de lignes correspondent respectivement aux déplacements et aux charges (contraintes) s'exerçant sur le solide.

8.1 Visualisation des déplacements

Pour visualiser les déplacements procédez comme suit :

– Cliquez sur la ligne 0,INCONNUE correspondant au bloc DEPL puis clic droit et sélectionner l'option Scalar Map. Validez la boite de dialogue qui apparaît, aucun changement n'est indispensable à ce stade, les valeurs par défaut conviennent. Vous voyez apparaître un cube en couleurs et une échelle graduée donnant des valeurs numériques aux couleurs. On retrouve la Base en bleu (valeurs déplacement = 0), et la face Pression très colorée.
– Cliquez à nouveau sur la ligne 0,INCONNUE et validez Deformed Shape. Cochez Magnitude coloring puis validez. Vous voyez un maillage se superposer approximativement à la figure précédente. Sélectionner alors la nouvelle ligne Def.Shape :1 qui vient d'apparaître et, après un clic droit, sélectionnez Display Only. La vue, semblable à celle de la figure 11 page 12 ne montre plus que le maillage correspondant à la déformation de la pièce. Faites tourner la figure pour bien voir la forme sous charge. Bien entendu cette déformation est exagérée, le facteur d'amplification est apparu brièvement dans l'écran dans lequel nous avons sélectionné Magnitude Coloring.
– Cliquez sur Def.Shape :1 puis clic droit et sélectionnez sweep. Vos yeux ébahis voient la pièce se déformer progressivement sous la contrainte, en partant d'une situation de repos, jusqu'à atteindre la charge nominale définie.

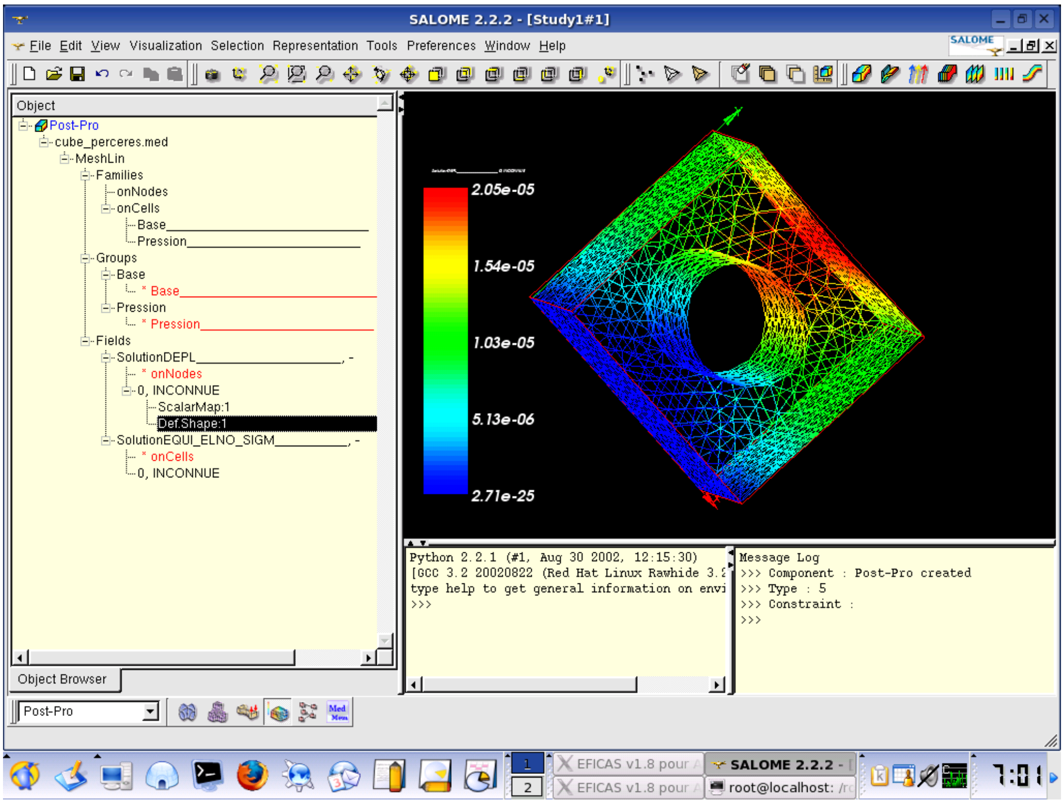

FIG. 11 – Vue déformée

8.2 Visualisation des contraintes.

Le principe ne diffère guère, vous découvrirez sans peine comment afficher les couleurs correspondant aux contraintes. Notez qu'il n'y a pas cette fois de représentation de déformée mais simplement une représentation du champ de contraintes. Vous avez bien entendu toute latitude pour changer le mode d'affichage, passer en filaire par exemple. Avec un peu de curiosité vous découvrirez par exemple comment amplifier ou réduire l'effet de déformation vu plus haut.

8.3 Interprétation des résultats

La pièce que nous venons de construire mesure 2 m d'arête. En fait elle est certainement plus proche de la dimension du palier d'arbre d'hélice du porte-avions Charles de Gaulle que d'une pièce de Mob. J'ai choisi ces dimensions de façon à simplifier un tout petit peu la frappe au clavier en début d'exercice. Il appartiendra bien entendu au lecteur de refaire s'il le souhaite cet exercice avec des dimensions un peu plus ordinaires. La pression uniformément répartie de 1 MégaPa sur une surface de 2*2m représente une charge de 400 tonnes. La figure 11 montre clairement que la déformation maxi est, avec le matériau choisi, de l'ordre de 2e-5 m soit 2 centièmes de mm au centre, la moitié sur les bords.

9 Articulation des différents logiciels entre eux

L'une des difficultés principales que j'ai rencontré lors de ma découverte de CAELinux et des logiciels permettant l'analyse par éléments finis a été de comprendre comment s'articulaient tous ces programmes entre eux. J'ai eu en particulier un peu de mal à saisir que finalement Code-Aster n'est pas un logiciel "interactif" mais qu'il s'exécute simplement suite à un clic sur le bouton run de ASTK. Nous venons de "défiler" ensemble l'exercice, passant d'une application à la suivante pour finalement revenir à la première . Pour bien comprendre le chemin parcouru rien de vaut à mon avis un petit schéma. Quelques explications concernant le schéma d'ensemble de la figure 12 page 13.

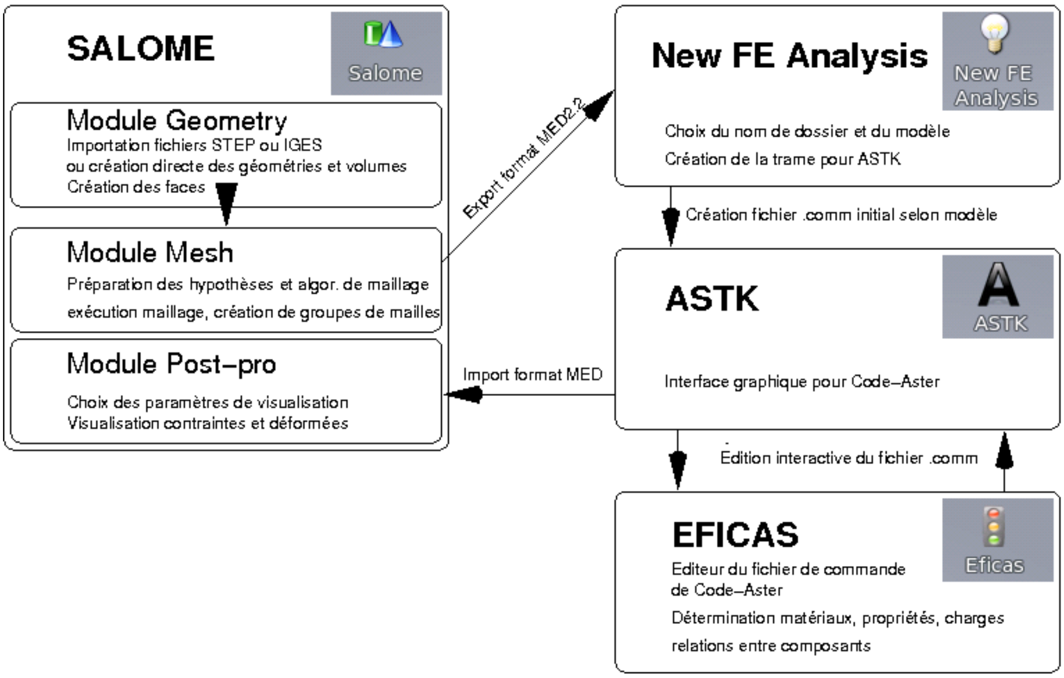

FIG. 12 – Vue générale des logiciels employés dans cet exercice

– Le mailleur SALOME est bien plus qu'un simple mailleur. Il peut aussi bien importer un fichier CAO au format step ou iges que servir lui-même à générer les formes étudiées, que celles-ci soient planes ou volumiques. C'est cette dernière option qui a été retenue dans l'exercice que nous venons de faire.
– Salome dispose de plusieurs modules, un module de géométrie dans lequel nous avons défini le cube percé mais aussi réalisé l'éclatement en faces. Le module mailleur récupère les données géométriques pour créer les structures maillées. Les faces nommées précédemment servent ici à construire des groupes de mailles adjacentes aux faces. Nous n'avons bien entendu créé que les groupes pertinents pour décrire le chargement.
– Salome travaille dans son propre format de fichier, avec l'extension hdf. Pour collaborer avec Code-Aster les données doivent être exportées dans le format med (version 2.2 et non la version 2.1 proposée par défaut) propre à ce dernier. De même, après traitement, les données doivent être importées dans SALOME à partir de ce format.
– New FE Analysis est une petite moulinette qui n'a qu'une fonction, rassembler quelques informations telles que le nom du dossier de base, le nom du dossier d'étude à créer, celui du fichier med et le modèle du fichier à créer. Ceci réalisé cette moulinette assemble les informations dans une version brute du fichier de commande Code-Aster, enregistre ce fichier dans le nouveau dossier et rend la main.
– ASTK est une interface graphique à Code-Aster. Dans l'utilisation élémentaire que nous venons d'en faire cette interface sert simplement à lancer EFICAS, l'éditeur du fichier de commande créé par New FE Analysis. Une fois cette édition terminée et le fichier enregistré ASTK lance Code-Aster via le bouton RUN. Code-Aster s'exécute alors en affichant sa sortie dans une fenêtre texte aussi peu interactive que possible.
– EFICAS, abréviation pour Editeur de FIchier Code-ASter, est le second gros logiciel mis en oeuvre. C'est à ce niveau que les petites mailles, individuelles ou groupées, vont recevoir une identité (la matière constitutive, ses caractéristiques), et, dans le cas de notre exemple simple, les charges mécaniques et les conditions aux limites. EFICAS ne fait que travailler sur le fichier de commande, après quoi, une fois ce fichier enregistré, il faut revenir à ASTK pour lancer le calcul de Code-Aster.
– Une fois le travail de Code-Aster terminé un retour à SALOME, cette fois via son module post-processeur, permet de faire l'exploitation graphique des résultats. A noter qu'il y a à cet endroit une importation des données issues de Code-Aster.

10 Conclusion, auteur

Ce document est le point de départ d'une série de documents dans lesquels je souhaite consigner par écrit mes découvertes sur le fonctionnement de CAELinux. Je me réserve le droit de me faire aider dans ce travail par un stagiaire qui doit passer quelques semaines sur le sujet dans mon entreprise. Les contributions de ce dernier seront bien entendu dûment identifiées comme telles dans les documents qui résulteraient de son travail.
Droit d'auteur : L'utilisation de ce document sous quelque forme que ce soit est absolument libre au sens que la licence GPL donne à ce terme. Je souhaite simplement, si de larges extraits de cette publication sont utilisés dans d'autres documents, qu'il soit fait mention du nom de l'auteur du document initial.
L'auteur : Jean-Marc LICHTLE Ingénieur Arts et Métiers, promotion Chalons 1973-1977. A l'époque nous calculions les structures complexes en utilisant une règle à calculs. Les plus chanceux avaient une calculatrice qui faisait péniblement un peu de trigonométrie. Les temps ont bien changé !

Les commentaires sont à adresser à :

jean-marc.lichtle@gadz.org