



ECOLE DES MINES D'ALBI
C A R M A U X

**CALCUL DE STRUCTURES
PRESENTATION DE LA
METHODES DES ELEMENTS
FINIS**

PREMIERS PAS D'UN UTILISATEUR ABAQUS™

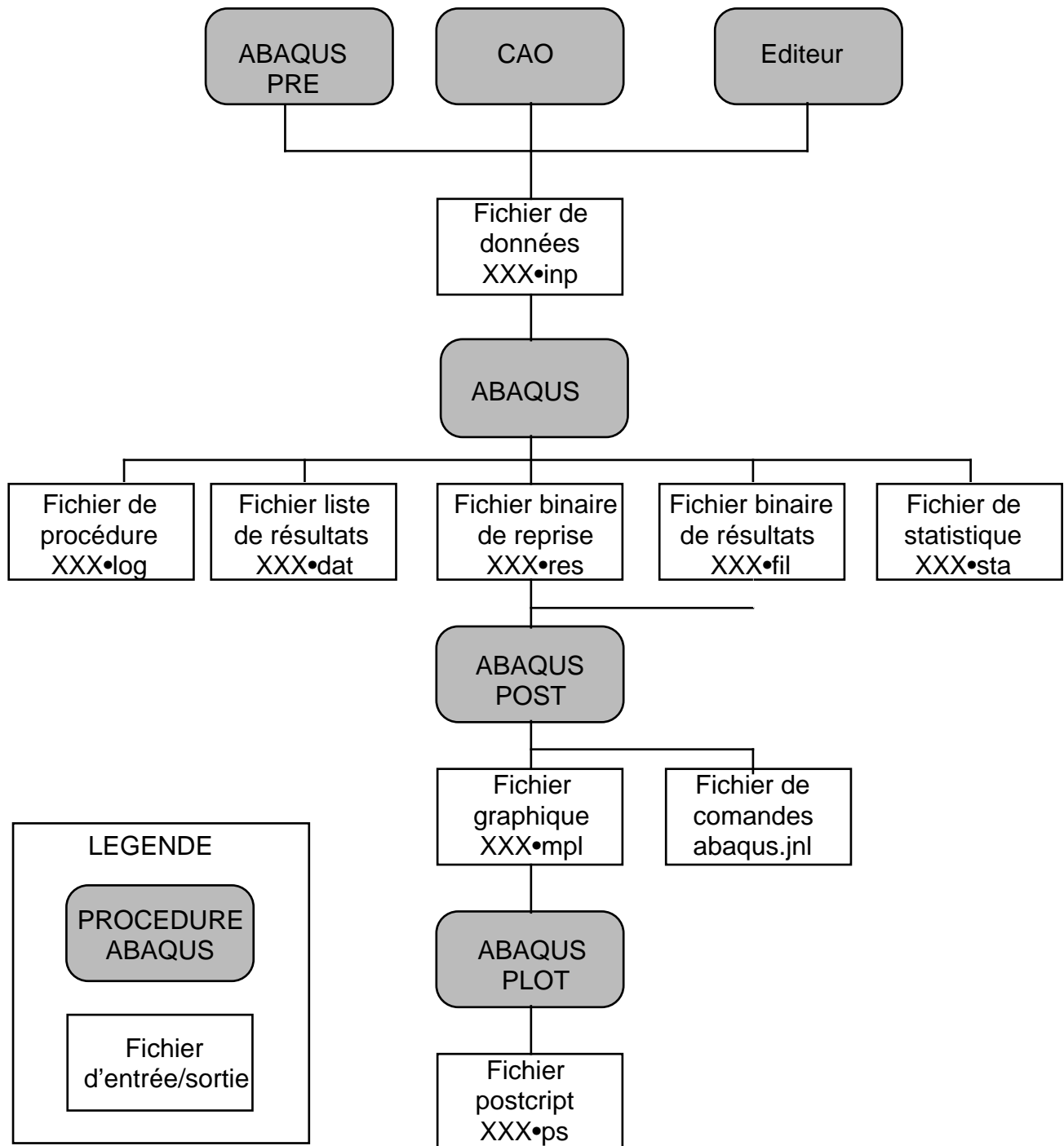
L. PENAZZI

Décembre 1999

SOMMAIRE

1. LES PRINCIPALES PROCEDURES ET LES FICHIERS.....	1
2. MISE EN DONNEES	2
2.1 Convention	2
2.2 Système d'unités.....	2
2.3 Phases de mises en données	2
2.4 Mots clés ABAQUS	3
2.4.1 Phase 1 : Génération du maillage (noeuds, éléments).....	3
2.4.2 Phase 2 : Propriétés des matériaux (mécanique, physique).....	4
2.4.3 Phase 3 : Conditions aux limites et conditions initiales	5
2.4.4 Phase 4 : Etape de calcul	5
3. TYPE D'ELEMENTS.....	9
3.1 Elements 1D solides	9
3.1.1 Géométrie et degrés de liberté	9
3.1.2 Chargement.....	9
3.2 Elements 2D solides	10
3.2.1 Géométrie et degrés de liberté	10
3.2.2 Chargement.....	11
3.2.3 Résultats.....	11
3.3 Elements 2D axisymétriques	12
3.3.1 Géométrie et degrés de liberté	12
3.3.2 Chargement.....	13
3.2.3 Résultats.....	13
3.4 Elements poutres	14
3.4.1 Géométrie et degrés de liberté	14
3.4.2 Chargement.....	14
3.4.3 Résultats.....	14
3.5 Eléments coques	15
3.5.1 Géométrie et degrés de liberté	15
3.5.2 Chargement.....	15
3.5.3 Résultats.....	16
5. PROCEDURES.....	17
5.1 Environnement d'exécution	17
5.2 Mise en oeuvre des procédures	17
5.2.1 Pré-processeur.....	17
a. Pré-processeur interactif	17
b. Sous éditeur	17
5.2.2 Résolution.....	17
5.2.3 Avancement.....	18
a. Préparation du calcul.....	18
b. Arrêt lié à une erreur de mise en données.....	18
c. Diagnostic de l'erreur	18
d. Progression du calcul.....	19
5.2.5 Conversion postscript d'un fichier graphique	19
6. POST-PROCESSEUR GRAPHIQUE	20
6.1 Lancement	20
6.2 Commandes	20

1. LES PRINCIPALES PROCEDURES ET LES FICHIERS



Notes :

Les **noms de fichiers** utilisés dans ABAQUS™ (XXX.inp) sont constitués :

- d' un nom générique, fixé par l'utilisateur, correspondant par convention à la référence du problème traité : XXX
- d'une extension, correspondant à la l'utilisation du fichier : eg. .inp, .dat, ...

Chaque procédure de calcul (abaqus, abaqus plot, ...) est indépendante.

2. MISE EN DONNEES

2.1 Convention

ABAQUS™ utilise un fichier à lecture ASCII pour la mise en données (XXX.inp). Les différentes fonctions de calcul sont définies dans un ordre quasi-quelconque (malgré l'organisation de phases de mises en données proposées dans les paragraphes suivants) à travers des **mots clés**.

Le fichier de données comporte 3 types de lignes

1. les lignes de **commentaires**, précédées de 2 étoiles "**", exemple

```
** Définition des noeuds
```

2. les lignes de fonctions, comportant un **mot clés**, précédées d'une étoile "*", exemple

```
*NODE, ELSET=TOUT
```

2. les lignes **d'arguments**, conforment aux prescriptions de la fonction appelées, exemple

```
1, 1., 0.001, 2.
```

REMARQUES :

- Les lignes d'arguments situées entre deux mots clés se rapportent toujours à la fonction précédente.
- Il n'y a **aucune ligne blanche**. Elle serait considérée comme un argument de la fonction précédemment appelée.

2.2 Système d'unités

Comme dans beaucoup de logiciels, il n'ya pas de système d'unités fixé. C'est à l'utilisateur de se définir son propre système.

Masse	Longueur	Temps	Force	Pression	Energie
M	L	T	$ML T^{-2}$	$ML^{-1} T^{-2}$	$ML^2 T^{-2}$
kg	m	s	N	Pa	J
g	mm	ms	N	MPa	mJ
Tonne	mm	s	N	MPa	mJ

2.3 Phases de mises en données

Pour les applications courantes, on peut distinguer 4 phases dans la mise en données :

Phase 1 : Génération du maillage (noeuds, éléments)

Phase 2 : Propriétés des matériaux (mécanique, physique, thermique)

Phase 3 : Conditions aux limites

Phase 4 : Etape de calcul (chargement, définition des résultats)

2.4 Mots clés ABAQUS

Pour les problèmes mécaniques et thermiques linéaires statiques, on sera couramment amené à utiliser les mots-clés donnés dans les tableaux suivants.

2.4.1 Phase 1 : Génération du maillage (noeuds, éléments)

Mots-clés	Fonction	Ligne	Arguments/Type ⁽¹⁾
NODE	Création des coordonnées (X, Y, Z) du noeud N	1 2 etc ⁽²⁾	*NODE, NSET= N, X, Y, Z <i>I, R, R, R</i>
NGEN	Génération des noeuds de N1 à N2 avec un pas KN	1 2	*NGEN, NSET= N1,N2, KN <i>I, I, I</i>
NSET	Assignation d'un nom à un ensemble de noeuds N1, ...Ni. S'utilise seul ou associé à NODE, NGEN, NFILL.	1 2 etc ⁽²⁾	*NSET, NSET=, (GENERATE) N1, ..., Ni <i>I, I, ..., I</i>
NFILL	Génération des noeuds de l'ensemble de noeuds NS1 à NS2 sur NL lignes avec un pas de NP sur les numéros de noeuds.	1 2 etc ⁽²⁾	*NFILL NS1, NS2, NL, NP <i>I, I, I, I</i>
ELEMENT	Création d'un éléments E, s'appuyant sur les noeuds N1, N2, ... (nbre de noeuds dépend du type d'éléments, cf. § 3)	1 2 etc ⁽²⁾	*ELEMENT, TYPE= ⁽³⁾ E, N1, N2, ...Ni <i>I, I, I, ...</i>
ELSET	Assignation d'un nom à un ensemble d'éléments E1, ...Ei. S'utilise seul ou associé à ELEMENT, ELGEN.	1 2 etc ⁽²⁾	*ELSET, ELSET=, (GENERATE) E1, ..., Ei <i>I, I, ..., I</i>
ELGEN	Génération à partir de l'élément modèle E1, de NE éléments sur la 1ère ligne, avec un pas de KN sur les numéros de noeuds, KE sur les numéros d'éléments, sur NL lignes avec un pas de LN sur les noeuds et LE sur les éléments	1 2 etc ⁽²⁾	*ELGEN E1,NE, KN, KE, NL, LN, LE <i>I, I, I, I, I, I, I, I</i>

Notes :

- (1) Type d'arguments : I : entier, R : réel, A : chaîne de caractères alphanumériques.
- (2) A répéter sur autant de lignes que nécessaire.
- (3) Quelques exemples de désignation d'éléments sont données au paragraphe 3.

Pour plus de détails se reporter à la documentation ABAQUS™ (User Manual I).

2.4.2 Phase 2 : Propriétés des matériaux (mécanique, physique)

Mots-clés	Fonction	Ligne	Arguments/Type ⁽¹⁾
SOLID SECTION	Définition de l'épaisseur T d'un élément de type solide (2D).	1 2	*SOLID SECTION, ELSET=, MATERIAL= T / R
BEAM SECTION	Définition de la géométrie de la section d'un élément de type poutre.	1 2	*BEAM SECTION, ELSET, MATERIAL=, SECTION=(RECT, BOX, CIR, PIPE) (3) / R
SHELL SECTION	Définition de la géométrie de la section d'un élément de type coque.	1 2	*SHELL SECTION, ELSET=, MATERIAL= T, NI / R, I
MATERIAL	Définition d'un nom pour les propriétés de matériau définit ci-après.	1	*MATERIAL, NAME=
ELASTIC	Définition des propriétés E, NU d'un matériau élastique isotrope.	1 2	*ELASTIC E, NU / R, R
EXPANSION	Coefficient de dilatation linéaire α d'un matériau.	1 2	*EXPANSION α / R
DENSITY	Densité D d'un matériau.	1 2	*DENSITY D / R
CONDUCTIVITY	Coefficient de conduction k d'un matériau.	1 2	*CONDUCTIVITY k / R
SPECIFIC HEAT	Capacité calorifique Cp d'un matériau.	1 2	*SPECIFIC HEAT Cp / R

Notes :

(1) : Type d'arguments : I : entier, R : réel, A : chaîne de caractères alphanumériques.

(2) : A répéter sur autant de lignes que nécessaire.

(3) : Si SECTION=CIR

2 : rayon,

SECTION=PIPE

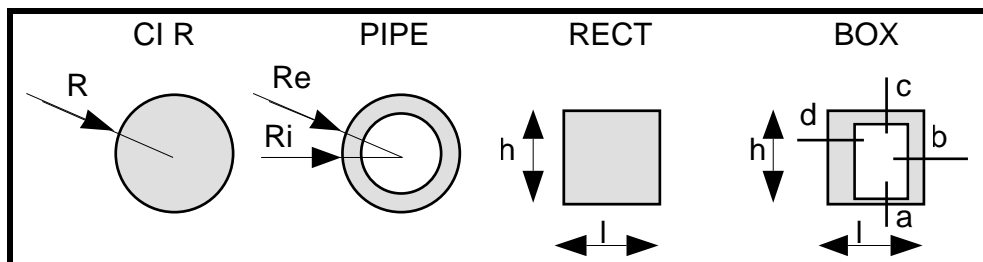
2 : rayon intérieur, rayon extérieur

SECTION = RECT

2 : hauteur, épaisseur de la section

SECTION = BOX

hauteur, largeur de la section, épaisseur voile $z < 0, y > 0, z > 0, y < 0$



2.4.3 Phase 3 : Conditions aux limites et conditions initiales

Mots-clés	Fonction	Ligne	Arguments/Type ⁽¹⁾
BOUNDARY	Définition des conditions aux limites du noeud N ou de l'ensemble de noeuds SN en imposant la valeur V du degré de liberté DL1 à DL2 (3).	1 2 etc(2)	*BOUNDARY SN ou N, DL1, DL2, V / ou A, I, I, R
INITIAL CONDITIONS	Fixe une condition initiale de température TI au groupe de noeuds N.		*INITIAL CONDITIONS, TYPE=TEMPERATURE, TI / I, R

Notes :

- (1) Type d'arguments : I : entier, R : réel, A : chaîne de caractères alphanumériques.
 (2) A répéter sur autant de lignes que nécessaire.
 (3) Degré de liberté : 1 = u, 2 = v, 3 = w, 4 = α , 5 = β , 6 = γ , 11 = T

2.4.4 Phase 4 : Etape de calcul

a. Type de résolution

Mots-clés	Fonction	Ligne	Arguments/Type ⁽¹⁾
STEP	Début d'une étape de chargement.	1	*STEP
END STEP	Fin d'une étape de chargement.	1	*END STEP
STATIC	Résolution mécanique quasistatique avec une précision PTOL sur les forces (défaut 5.10^{-3}), sur une durée D, avec un pas de temps initial DT, un pas de temps minimal DTm et un pas de temps maximal DTM.	1 2	*STATIC, (PTOL=) DT, D, DTm, DTM R, R, R, R
FREQUENCY	Calcul des NF fréquences et modes propres avec la valeur de fréquence propres maximales VM	1 2	FREQUENCY NF, VM I, R
HEAT TRANSFER	Résolution thermique pure statique (STEADY STATE) ou transitoire (par défaut) avec une augmentation de température maximale DELTMX par incrément. Pas de temps DT, période de calcul T, minimum de pas de temps DTm, maximum de pas de temps DTM.	1 2	*HEAT TRANSFER, (DELTMX=, STEADY STATE) DT, T, DTm, DTM R, R, R, R
COUPLED TEMPERATURE DISPLACEMENT	Résolution thermomécanique couplée. Pas de temps initial DT, période de calcul T, minimum de pas de temps DTm, maximum de pas de temps DTM.	1 2	*COUPLED TEMPERATURE - DISPLACEMENT (DELTMX) DTI, T, DTm, DTM R, R, R, R

b. Définition du chargement

Mots-clés	Fonction	Ligne	Arguments/Type ⁽¹⁾
CLOAD	Définition d'une charge concentrée CC sur le noeud N ou l'ensemble de noeuds SN, suivant la composante du DDL (1, 2 ou 3). Multiplié éventuellement par la courbe d'évolution définie par AMPLITUDE. Si OP=NEW, annulation des CLOAD définis dans un STEP précédent.	1 2 etc ⁽²⁾	*CLOAD(,AMPLITUDE=, OP=) N/SN, DDL,CC //A, I, R
DLOAD	Définition d'une charge répartie CR sur l'élément E ou l'ensemble d'éléments SE, avec le mots clés de la charge répartie sur la face DI de l'élément. Multipliée éventuellement par la courbe d'évolution définie par AMPLITUDE). Si OP=NEW, annulation des DLOAD définis dans un STEP précédent.	1 2 etc ⁽²⁾	*CLOAD(,AMPLITUDE=, OP=) E/SE, DI,CR //A, A, R
BOUNDARY	Application d'un déplacement ou d'une rotation imposé U0 au noeud N ou l'ensemble de noeuds SN, du degré de liberté DDL1 à DDL2 (1, ...6). Eventuellement couplée avec la définition d'amplitude AMPLITUDE. Si OP=NEW, annulation des BOUNDARY définies dans un STEP précédent.	1 2 etc ⁽²⁾	*BOUNDARY(,AMPLITUDE=, OP=) N/SN, DDL1, DDL2, U0 //A, I, I, R
TEMPERATURE	Application d'une température imposée T au noeud N ou l'ensemble de noeuds SN.	1 2 etc ⁽²⁾	*TEMPERATURE(,AMPLITUDE =, OP=) N/SN, T //A, R
DFLUX	Application d'un flux de chaleur FC sur l'élément E ou l'ensemble d'éléments SE, avec le mots clés du flux réparti MF, . Multiplié éventuellement par la courbe d'évolution définie par AMPLITUDE.	1 2 etc ⁽²⁾	*DFLUX(,AMPLITUDE=, OP=) E/SE, MF, FC //A, A, R
AMPLITUDE	Définition d'une variation d'amplitude par rapport au temps de manière tabulée (TABULAR) ou périodique (PERIODIC : série trigonométrique) : $y(t) = \sum_{i=1}^n (B_i \cos(w_0(t+t_0)) + A_i \cos(w_0(t+t_0)))$	1 2 2 3	*AMPLITUDE, NAME=, DEFINITION= - TABULAR t1, y1, ... (4 couples/ligne) - ou PERIODIC n, w0, t0 A1, B1, ... (2 couples/ligne)

Notes :

- (1) Type d'arguments : I : entier, R : réel, A : chaîne de caractères alphanumériques.
- (2) A répéter sur autant de lignes que nécessaire.
- (3) Voir paragraphe de définition des éléments par des mots-clés de chargement.

c. Ecriture des résultats

Ecriture d'informations dans les fichiers de sortie XXX•dat et XXX•fil et XXX•sta.

Mots-clés	Fonction	Ligne	Arguments/Type ⁽¹⁾
EL PRINT	Définition des informations liées aux éléments. Ecriture dans le fichier de sortie XXX•dat à la fréquence FREQ (si 0 alors 1 seule écriture).	1 2 etc ⁽²⁾	*EL PRINT (,ELSET=, FREQ=) (3) A, ...
NODE PRINT	Définition des informations liées aux noeuds. Ecriture dans le fichier de sortie XXX•dat à la fréquence FREQ (si 0 alors 1 seule écriture).	1 2 etc ⁽²⁾	*NODE PRINT (,NSET=, FREQ=) (4) A, ...
ENERGY PRINT	Définition des informations liées aux énergies. Ecriture dans le fichier de sortie XXX•dat à la fréquence FREQ (si 0 alors 1 seule écriture).	1 2	*ENERGY PRINT (,FREQ=) (5)
EL FILE	Définition des informations liées aux éléments. Ecriture dans le fichier de sortie XXX•fil à la fréquence FREQ (si 0 alors 1 seule écriture).	1 2 etc ⁽²⁾	*EL FILE (,ELSET=, FREQ=) (3) A, ...
NODE FILE	Définition des informations liées aux noeuds. Ecriture dans le fichier de sortie XXX•fil à la fréquence FREQ (si 0 alors 1 seule écriture).	1 2 etc ⁽²⁾	*NODE FILE, NSET=SN (4) A, ...
ENERGY FILE	Définition des informations liées aux énergies. Ecriture dans le fichier de sortie XXX•fil à la fréquence FREQ (si 0 alors 1 seule écriture).	1 2 etc ⁽²⁾	*ENERGY FILE (5) A, ...
MONITOR	Ecriture de la valeur d'un degré de liberté nodale DDL (déplacement : 1,2,3, rotation : 4,5,6, température : 11) à la fréquence F (FREQ) associé au noeud N dans le fichier •sta.	1	*MONITOR, DOF=DDL, NODE=N, FREQ=F
RESTART	Ecriture (WRITE) et relecture (READ) de données et de résultats d'analyse à la fréquence F (FREQ) ou à partir de l'incrément Q (INC) du pas de chargement K (STEP) dans le fichier •res. Permet l'exploitation graphique de l'ensemble des résultats (abaqus post)	1	*RESTART (,WRITE/READ, STEP=K, INC=Q, FREQ=F)

Notes :

- (1) Type d'arguments : I : entier, R : réel, A : chaîne de caractères alphanumériques.
- (2) A répéter sur autant de lignes que nécessaire.
- (3) Voir § Informations disponibles aux noeuds.
- (4) Voir § résultats pour chaque type d'élément.
- (5) Voir § Informations disponibles pour l'ensemble du problème.

Informations disponibles aux noeuds, aux points d'intégration ou globalement pour écriture dans le fichier XXX•dat ou XXX•fil.

Variable	Nom	Argument
NODALE	Vecteur déplacement et rotation	U
	Composante de déplacement i (1,2,3)	Ui
	Composante de rotation i (1,2,3)	URi
	Vecteurs de réaction et moments aux appuis	RF
	Composante de réaction aux appuis i (1,2,3)	RFi
	Composante de moment aux appuis i (1,2,3)	RMi
	Température	NT
	Vecteurs de chargement par effort ou moment concentré	CF
	Composante de chargement par effort i (1,2,3)	CFi
	Composante de chargement par moment i (1,2,3)	CMi
ELEMENTAIRE	Toutes les composantes du tenseur des contraintes	S
	Composantes ij du tenseur des contraintes i,j (1,2,3)	Sij
	Contraintes principales i (SP1≤SP2≤SP3)	SPi
	Pression équivalente (-σ _{ii} /3)	PRESS
	Contrainte équivalente de Von Mises ($\sqrt{3 s_{ij}s_{ij}/2}$) ⁽¹⁾	MISES
	Toutes les composantes du tenseur des déformations	E
	Composantes ij du tenseur des déformations i,j (1,2,3)	Eij
	Déformations principales i (EP1≤EP2≤EP3)	EPi
GLOBAL	Flux de chaleur i (1, 2)	HFLi
	Toutes les densités d'énergie	ENER
	Densité d'énergie de déformation élastique	SENER

Notes :

(1) : Le tenseur s_{ij} est le déviateur du tenseur des contraintes ($s_{ij} = \sigma_{ij} - \sigma_{kk} \delta_{ij}/3$). Il contient la part de cisaillement du tenseur des contraintes.

3. TYPE D'ELEMENTS

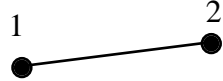
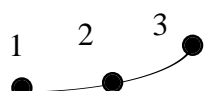

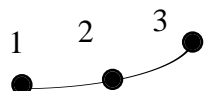

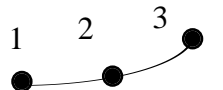
Quelques exemples d'éléments issus de la librairie d'ABAQUS.

3.1 Elements 1D solides

3.1.1 Géométrie et degrés de liberté

Définition des coordonnées : x, y, z

Propriétés d'éléments définis par le mots-clés SOLID SECTION (section et propriétés physiques).

Type d'analyse	Degré(s) de liberté nodaux	Type	Réf.	Schéma
MECANIQUE	(u, v, w) : 1, 2, 3	2 noeuds, linéaire	C1D2	
		3 noeuds, quadratique	C1D3	
TRANSFERT DE CHALEUR	(température) : 11	2 noeuds, linéaire	DC1D2	
		3 noeuds, quadratique	DC1D3	
TEMPERATURE-DEPLACEMENT	(u, v, w) : 1, 2, 3 (température) : 11	2 noeuds, linéaire	DC1D2T	
		3 noeuds, quadratique	DC1D3T	

3.1.2 Chargement

Cas de chargement	Mots-clés	Description	Unités
Charge distribuée	BX, BY, BZ	Force de volume /x, /y, /z	FL ⁻³
Flux de chaleur volumique	BF	Flux de chaleur par unité de volume	JL ⁻³ T ⁻¹
Flux de chaleur surfacique	Sn	Flux de chaleur par unité de surface sur le coté de l'élément.	JL ⁻² T ⁻¹

3.2 Elements 2D solides

3.2.1 Géométrie et degrés de liberté

Définition des coordonnées : x, y ou r, θ

Propriétés d'éléments définis par le mots-clés SOLID SECTION (épaisseur et propriétés physiques).

Type d'analyse	Degré(s) de liberté nodaux	Type	Réf.	Schéma
MECANIQUE	(u, v) : 1, 2	3 noeuds, linéaire	CPE3 /CPS3	
DEFORMATIONS PLANES / CONTRAINTES PLANES		6 noeuds, quadratique	CPE6 /CPS6	
	(u, v) : 1, 2	4 noeuds, linéaire	CPE4 /CPS4	
		8 noeuds, quadratique	CPE8 /CPS8	
TRANSFERT DE CHALEUR	(température) : 11	3 noeuds, linéaire	DC2D3	
		4 noeuds, linéaire	DC2D4	
TEMPERATURE-DEPLACEMENT	(u, v) : 1, 2	4 noeuds, linéaire	CPE4T /CPS4T	
	(température) : 11	8 noeuds, déplacement quadratique, température linéaire	CPE8T /CPS8T	

3.2.2 Chargement

Cas de chargement	Mots-clès	Description	Unités
Charge distribuée	BX, BY	Force de volume /x, /y	FL ⁻³
Force de volume	CENT, GRAV	Force centrifuge ($\rho\omega^2$), force de gravité	FL ⁻⁴ ,LT ⁻²
Pression	Pn	Pression sur la face (n)	FL ⁻²
Flux de chaleur volumique	BF	Flux de chaleur par unité de volume	JL ⁻³ T ⁻¹
Flux de chaleur surfacique	Sn	Flux de chaleur par unité de surface sur la face (n) de l'élément.	JL ⁻² T ⁻¹

3.2.3 Résultats

Informations en sortie sur l'élément ou aux points d'intégration

- Contraintes : σ_{11} , σ_{22} , σ_{12} , σ_{33} (non valide en contraintes planes).
- Déformations : ϵ_{11} , ϵ_{22} , ϵ_{33} , ϵ_{12} , ϵ_{33} (non valide en déformations planes).
- Flux de chaleur : HFL1, HFL2.

3.3 Elements 2D axisymétriques

3.3.1 Géométrie et degrés de liberté

Définition des coordonnées : x, y ou r, θ

Propriétés d'éléments définis par le mots-clés SOLID SECTION (épaisseur et propriétés physiques).

Type d'analyse	Degré(s) de liberté nodaux	Type	Réf.	Schéma
MECANIQUE	(u, v) : 1, 2	3 noeuds, linéaire	CAX3	
		6 noeuds, quadratique	CAX6	
	(u, v) : 1, 2	4 noeuds, linéaire	CAX4	
		8 noeuds, quadratique	CCAX8	
TRANSFERT DE CHALEUR	(température) : 11	3 noeuds, linéaire	DCAX3	
		4 noeuds, linéaire	DCAX4	
TEMPERATURE-DEPLACEMENT	(u, v) : 1, 2 (température) : 11	4 noeuds, linéaire	CAX4T	
		8 noeuds, déplacement quadratique, linéaire température	CAX8T	

3.3.2 Chargement

Cas de chargement	Most-clés	Description	Unités
Charge distribuée	BR, BZ	Force de volume /r, /z	FL ⁻³
Force de volume	CENT, GRAV	Force centrifuge ($\rho\omega^2$), force de gravité	FL ⁻⁴ ,LT ⁻²
Pression	Pn	Pression sur la face (n)	FL ⁻²
Flux de chaleur surfacique	BF	Flux de chaleur par unité de volume	JL ⁻³ T ⁻¹
Flux de chaleur volumique	Sn	Flux de chaleur par unité de surface sur la face (n) de l'élément.	JL ⁻² T ⁻¹

3.2.3 Résultats

Informations en sortie sur l'élément ou aux points d'intégration


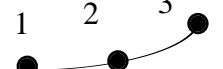
- Contraintes : $\sigma_{11}(\sigma_{rr})$, $\sigma_{22}(\sigma_{zz})$, σ_{33} , σ_{12} .
- Déformations : $\epsilon_{11}(\epsilon_{rr})$, $\epsilon_{22}(\epsilon_{zz})$, ϵ_{33} , ϵ_{12} .
- Flux de chaleur : HFL1, HFL2.

3.4 Elements poutres

3.4.1 Géométrie et degrés de liberté

Définition des coordonnées : x, y, z

Propriétés d'éléments définis par le mots-clés BEAM SECTION (section et propriétés physiques).

Type d'analyse	Degré(s) de liberté nodaux	Type	Réf.	Schéma
MECANIQUE	(u, v, w) : 1, 2, 3 (α, β, γ) : 4, 5, 6	2 noeuds, linéaire	B21/B31	
PLAN / ESPACE		3 noeuds, quadratique	B22/B32	

3.4.2 Chargement

Cas de chargement	Mots-clés	Description	Unités
Charge distribuée	PX, PY, PZ	Force par unité de longueur /x, /y, /z	FL ⁻¹
Force de volume	CENT, GRAV	Force centrifuge ($\rho\omega^2$), force de gravité	FL ⁻⁴ ,LT ⁻²

3.4.3 Résultats

Informations en sortie sur l'élément ou aux points d'intégration.

- Contraintes : σ_{11} , σ_{22} , σ_{12} .
- Déformations : ϵ_{11} , ϵ_{22} , ϵ_{12} .
- Forces (SF), moments (SM) : SF1, SF2, SF3, SM1, SM2, SM3.

3.5 Eléments coques

3.5.1 Géométrie et degrés de liberté

Définition des coordonnées : x, y, z

Propriétés d'éléments définis par le mots-clés SHELL SECTION (section et propriétés physiques).

Type d'analyse	Degré(s) de liberté nodaux	Type	Réf.	Schéma
MECANIQUE	(u, v, w) : 1, 2, 3 (α, β, γ) : 4, 5, 6	3 noeuds, linéaire	S3R	
		4 noeuds, linéaire	S4R	
		8 noeuds, quadratique	S8R	
TRANSFERT DE CHALEUR	(température) : 11, 12, ...17	4 noeuds, quadratique	DS4	
TEMPERATURE-DEPLACEMENT COUPLEE	(u, v, w) : 1, 2, 3 (α, β, γ) : 4, 5, 6 (température) : 11, 13, ...17	8 noeuds, quadratique	S8RT	

3.5.2 Chargement

Cas de chargement	Mots-clés	Description	Unités
Charge distribuée	BX, BY, BZ	Force par unité de volume /x, /y, /z	FL ⁻³
Force de volume	CENT, GRAV	Force centrifuge ($\rho\omega^2$), force de gravité	FL ⁻⁴ ,LT ⁻²
Pression	P	Pression positive suivant la normale à l'élément.	FL ⁻²
Flux de chaleur volumique	BF	Flux de chaleur par unité de volume	JL ⁻³ T ⁻¹
Flux de chaleur surfacique	Sn	Flux de chaleur par unité de surface sur la face supérieure (1), inférieure (2) de l'élément .	JL ⁻² T ⁻¹

3.5.3 Résultats

Informations en sortie sur l'élément ou aux points d'intégration.

- Contraintes : σ_{11} , σ_{22} , σ_{12} .
- Déformations : ε_{11} , ε_{22} , ε_{12} .
- Forces (SF), moments (SM) : SF1, SF2, SF3, SF4, SF5, SM1, SM2, SM3.

$$+ (\text{SF1, SF2, SF3, SF4, SF5}) = \int_{-h/2}^{h/2} (\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{23}) dz ,$$

$$+ (\text{SM1, SM2, SM3}) = \int_{-h/2}^{h/2} z (\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}) dz .$$

5. PROCEDURES

5.1 Environnement d'exécution

Les logiciels ABAQUS™ sont installés sur des machines serveurs “**europa**” (IBM/RS6000) et “**italie**” (SUN/Ultra Sparc 1), accessibles par le réseau EMAC. Pour exécuter une procédure, il faut se connecter sur une des machines, par exemple

```
$ xon italie xterm -ls
```

Après s'être repositionné dans le répertoire de travail (eg. cd tp/abaqus ...), on peut exécuter une des procédures (exécution, analyse de résultats).

5.2 Mise en oeuvre des procédures

Toutes les procédures font appel au nom du problème (**job**) correspondant à la racine des noms de fichiers (XXX•inp, XXX•dat, ...) sans extension. En général, ce nom est fixé par l'utilisateur au moment de la création du fichier de données •inp.

5.2.1 Pré-processeur

a. Pré-processeur interactif

Actuellement, seulement en local sur “**opéra**” (SGi/R4000).

```
$ abaqus pré job = XXX
```

b. Sous éditeur

Ouvrir sous éditeur (vi, lemacs) le fichier XXX. inp ou le créer. Il n'est pas indispensable de se connecter au serveur de licence (“**italie**” ou “**europa**”) pour faire l'édition de fichier. La machine “**europa**” ne supporte pas **lemacs** !

```
$ lemacs XXX
```

5.2.2 Résolution

Le calcul est lancé en entrant la commande

```
$ abaqus
```

```
Identifier : XXX
```

ou

```
$ abaqus job=XXX
```

```
User routine file : (return)
```

Si il existe déjà des fichiers de sortie (dans le même répertoire), il faut confirmer que l'on veut écraser ces fichiers avec la nouvelle exécution.

```
Old job files exist. Overwrite? (y/n):
```

5.2.3 Avancement

a. Préparation du calcul

Lors du lancement de l'exécution, ABAQUS™ relie le fichier de données (XXX•inp) pour créer un programme exécutable (transparent pour l'utilisateur). Cette phase de préparation du calcul correspond à l'exécution d'un programme abaqus/bin/pre.x.

```
PID TTY          TIME CMD
1263 pts/0       0:00 pout.com
1267 pts/0       0:00 pre.x
```

Les résultats de cette préparation d'exécution sont écrits dans le fichier XXX•dat. En particulier, on trouve dans ce fichier la description des erreurs éventuelles de mise en données.

b. Arrêt lié à une erreur de mise en données

En cas d'erreur détectée à l'exécution de pre.x, le programme est arrêté.

La résolution n'est pas engagée.

Dans le fichier XXX•log, vous constaterez l'arrêt en phase de préparation de calcul.

```
ABAQUS JOB pout
vendredi, 29 février 1999, 10:45:39 WET
BEGIN USER INPUT PROCESSING
Run /opt/abaqus/bin/pre.x
ABAQUS Error: Error during user input processing.
vendredi, 29 février 1999, 10:45:41 WET
ABAQUS JOB pout COMPLETED
```

En fin du fichier XXX•dat, vous trouvez l'information

```
THE PROGRAM HAS DISCOVERED      1 FATAL ERRORS
      ** EXECUTION IS TERMINATED **
      END OF USER INPUT PROCESSING
```

```
JOB TIME SUMMARY
  USER TIME      = 0.11000
  SYSTEM TIME    = 6.00000E-02
  TOTAL TIME     = 0.17000
```

c. Diagnostic de l'erreur

Pour découvrir l'origine de l'erreur, il suffit de relire le fichier XXX•dat et de rechercher le message fatal !

```
...
***ERROR: UNKNOWN KEYWORD
CARD IMAGE: *TOTO
***NOTE: DUE TO AN INPUT ERROR THE ANALYSIS PRE-
PROCESSOR HAS BEEN UNABLE TO INTERPRET SOME
DATA.SUBSEQUENT ERRORS MAY BE CAUSED BY THIS OMISSION
*NODE
...
```

Revenez au fichier de données XXX•inp faite la correction qui s'impose et relancez le calcul.

Patience, cette étape de correction d'erreur et de test est désagréable. Mais c'est quasi-obligatoire quand on met au point un modèle de calcul, surtout comme c'est le cas ici, si vous faites directement la mise en données à travers un éditeur !

d. Progression du calcul

La progression du calcul (prétraitement + résolution) peut se consulter soit :

- avec les commandes UNIX classiques :

+ ps (état des process)

+ ls (état des fichiers créés)

- avec les fichiers (avec les commandes tail, more, vi ou emacs !) :

+ XXX• dat

+ XXX• log

+ XXX• sta

5.2.5 Post-processeur

Le lancement du post-processeur graphique est réalisé avec la commande

```
$ abaqus post job=XXX
```

Si aucun nom de fichier n'est précisé, il est possible relire le fichier concerné une fois la fenêtre X ouverte avec la commande

```
$ restart, file=XXX
```

5.2.4 Conversion postscript d'un fichier graphique

1) Les sorties graphiques d'**abaqus post** obtenues par la commande **\$ hardcopy** sont en binaire (fichier XXX•mpl). Avant de lancer l'impression sur l'imprimante postcript (N&B et couleur), il suffit de transformer le fichier au format postcript par la procédure

```
$ abaqus plot job=XXX device=cps
```

Une suite de questions permettent de préciser les paramètres d'impression (orientation, couleur/N&B, nombre de dessin par page, ordre des dessins). Le fichier de sortie est XXX•ps.

2) Avant impression, il est possible de vérifier le contenu d'un fichier postcript avec l'utilitaire (SUN) "**ghostview**"

```
$ ghostview XXX.ps
```

3) Pour imprimer, éventuellement se connecter sur la machine serveur d'imprimante, entrer

```
$ lpr -s XXX.ps
```

l'option -s évite la recopie du fichier en créant un lien direct entre le buffer et le fichier source à imprimer, ce qui réduit le temps de préparation d'impression.

6. POST-PROCESSEUR GRAPHIQUE

6.1 Lancement

L'analyse par post-processeur est lancée en entrant la commande

```
$ abaqus post job= nom
```

Après relecture du fichier XXX•res ou XXX•fil, ouverture d'un écran graphique.

6.2 Commandes

En fonction des informations spécifiques sauvegardées dans le fichier XXX•fil, ou pour toutes les informations écrites dans XXX•res, on peut visualiser les résultats en utilisant les commandes données aux tableaux suivants. Les **paramètres** sont séparés de la **commande** par une virgule “,” , par exemple

```
$ contour, v=s11
```

A l'exécution d'**abaqus post** un fichier qui contient la liste de toutes les commandes entrées est écrit. abaqus•jnl, qui XXX•fil. On peut ainsi se constituer un fichier pour faire des procédures de dépouillement automatique.

Tableau 6.1 : Commandes graphiques pour abaqus post.

Commande	Fonction	Paramètres (1)	Effet
bc display	Affichage des conditions aux limites	variable= (all)	Affichage d'une condition au limite particulière (toutes)
contour	Résultats dans les éléments ou aux noeuds	v=s11 v=u1 ...	contrainte σ_1 déplacement u1
draw	Dessin du contour et du maillage	displaced undisplaced [défaut]	état déformée état initial
end	sortie		
help	aide en ligne		affiche la liste des commandes et permet d'accéder à leur fonction.
history	Tracé de courbes en fonction du temps.	titre x, titre y var1,éch., légende, n° noeud ou élément var2,éch., légende, ...	Tracé de l'évolution d'une ou plusieurs variables nodales ou élémentaires en fonction du temps. La liste des variables est donnée au tableau 6.2. 15 variables maximum par graphique.
variable	Tracé de courbes.	titre x, titre y var1/x,éch., légende, n° noeud ou élément var1/x,éch., légende, n° noeud ou élément var2/x,éch., légende, n° noeud ou élément var2/x,éch., légende, n° noeud ou élément ...	Tracé d'une variable nodale ou élémentaire en fonction d'une autre variable nodale ou élémentaire. La liste des variables est donnée au tableau 6.2. 15 courbes maximum par graphique.
input	Relecture d'un fichier de commandes YYY pour le post	file=YYY	relie et exécute en automatique les commandes entrées dans YYY

Tableau 6.1 : Commandes graphiques pour abaqus post (suite).

Commande	Fonction	Paramètres (1)	Effet
load display	Affichage du chargement	variable= (all)	Affichage d'un chargement donné (tous ,0)
report element	Informations sur les valeurs particulières d'un élément.		
report node	Information sur les valeurs particulières d'un noeud.		
restart	Relecture d'un fichier, éventuellement le même, en fixant le pas et l'incrément.	file=XXX,(inc=, step=)	
set	Fonction générique, permettant de fixer des paramètres et d'autoriser des actions. L'action s'annule en répétant la commande. (bascule).	e1 number n number fill hardcopy (2) bc display load display c legend size= c magnification= c eigenmode=	n° des éléments n° de noeuds remplissage contour copie d'écran visualisation des conditions aux limites visualisation des chargements fixe la taille des caractères de légende (défaut = 0.4) fixe l'amplification des déplacements sélectionne le mode propre à afficher
vector plot	Vecteur de quantités nodales	v=u v=rf	déplacement réactions d'appuis

Notes :

(1) : Entre parenthèse, paramètres optionnels.

(2) : Les fichiers de sortie graphiques créés avec la commande "set, hardcopy", sont dans un format binaire (XXX•mpl) qu'il faut retraiter pour obtenir un fichier postscript (XXX•ps). Voir chapitre 5.

Tableau 6.2 : Exemple des variables aux noeuds et aux éléments pour abaqus post (suite).

Variables	Grandeur mécanique	Code
NODALE	Composante de déplacement i (1,2,3)	ui
	Composante de rotation i (1,2,3)	uri
	Composante de réaction aux appuis i (1,2,3)	rfi
	Composante de moment aux appuis i (1,2,3)	rmi
	Température	nt11
	Composante de chargement par effort i (1,2,3)	cfi
	Composante de chargement par moment i (1,2,3)	cmi
ELEMENTAIRE	Composantes ij du tenseur des contraintes i,j (1,2,3)	sij
	Contraintes principales i (SP1≤SP2≤SP3)	spi
	Pression équivalente (-σ _{ii} /3)	press
	Contrainte équivalente de Von Mises ($\sqrt{3} s_{ij}s_{ij}/2$)	mises
	Composantes ij du tenseur des déformations i,j (1,2,3)	eij
	Déformations principales i (EP1≤EP2≤EP3)	epi
GLOBAL	Flux de chaleur i (1, 2)	HFLi
	Toutes les densités d'énergie	ener
	Densité d'énergie de déformation élastique	sener

6. INDEX

Eléments