

## Cours 8: mercredi 13 Nov 24

### Présentation du code Abaqus, unités et un cas de thermique.

Abaqus est **LE code des chercheurs** (user routines UEL, UMAT, ...) donc il est très général et complexe à utiliser.

#### Il existe 2 versions:

- Abaqus standard (schéma temporel implicite donc stable) pour la statique
- Abaqus explicit (schéma temporel explicite) pour la dynamique.

Nous n'aborderons dans ce cours que Abaqus standard.

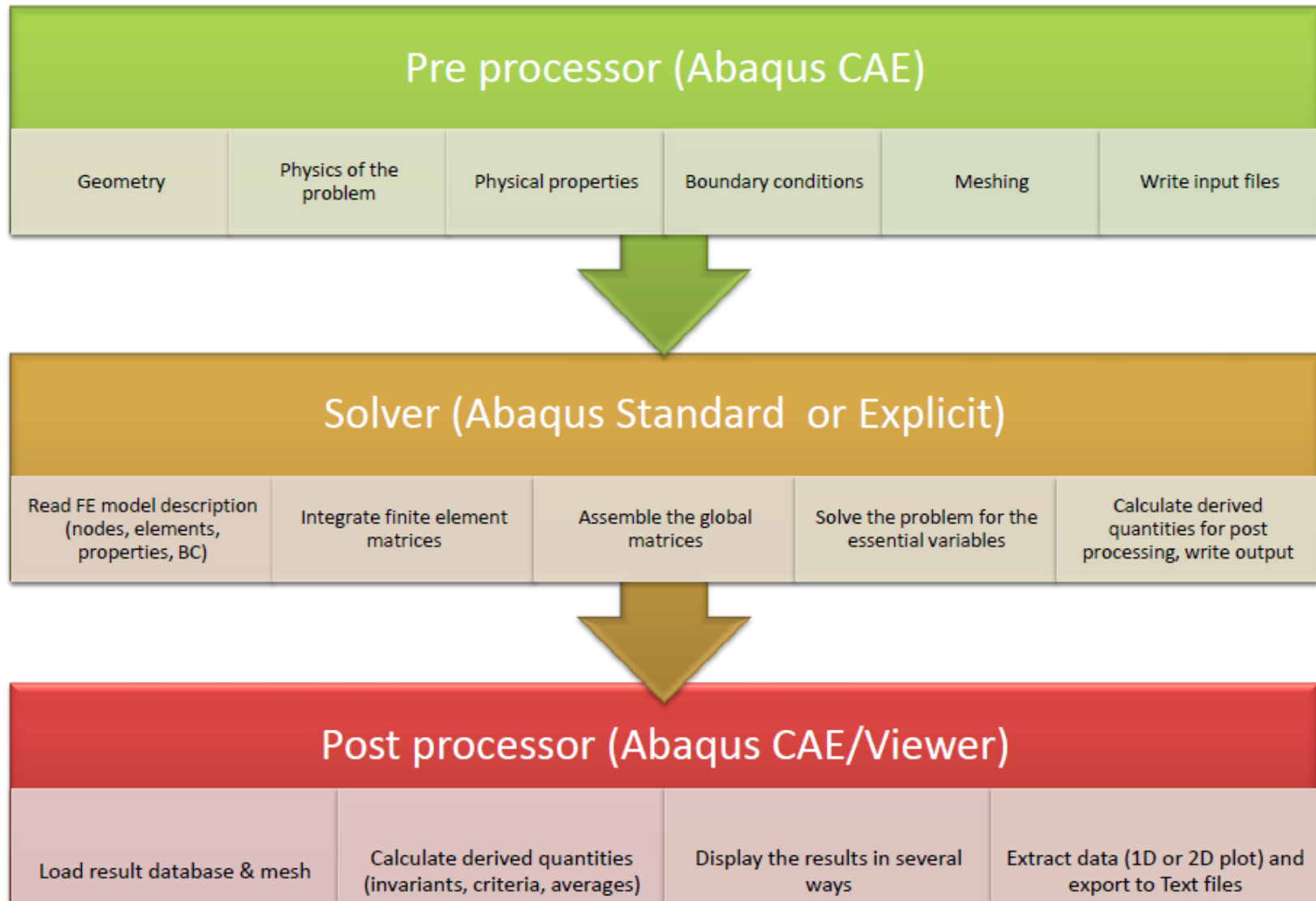
#### On peut travailler de 2 manières:

- **tout faire dans Abaqus cae** (dessiner la géométrie, la mailler, définir les matériaux, les BCs et les chargements, lancer le calcul et le visualiser) qui écrit un fichier input.
- **avec le fichier input (\*.inp)** qui contient tout le modèle (ex. modifier seulement une pression, ...) et lancer abaqus puis visualiser les résultats avec abaqus viewer.

**En pratique**, on utilise les 2 approches, eg en modifiant un seul paramètre dans le \*.inp lors d'une étude sensibilité.

# Les éléments finis

## Les 3 modules de Abaqus



# Les unités dans ABAQUS

Abaqus (comme la majorité des codes de calcul EF) n'a pas d'unités.

Il est de **la responsabilité de l'utilisateur** d'utiliser un système d'unité juste au sens de la physique. Les erreurs peuvent donner des résultats sans sens physique et mener à des conséquences catastrophiques.

Le mieux est d'utiliser un **système consistant** dans lequel les unités dérivées des unités fondamentales de départ s'expriment sans facteur de conversion. (Ex. mètre et Newton donneront les contraintes en Pa et les énergies en J (= 1 Nm) alors que mm et N les donneront en MPa et en mJ).

## Fundamental Units: the SI system

The fundamental units used in the SI system are the following:

- Mass [M], specified in kilograms
- Length [L], specified in meters
- Time [T], specified in seconds
- Temperature [ $\Theta$ ] , specified in degrees Kelvin (or Celsius)
- Electric current [A], specified in amperes

## Les éléments finis

Ex: les unités dérivées du système SI (système consistant)

- Force (in Newtons) = MassAcceleration =  $ML/T^2$
- Density = Mass/Volume =  $M/L^3$
- Stress or Pressure (in Pascals) = Force/Area =  $(ML/T^2)/L^2 = M/LT^2$
- Work, Energy, or Unit of Heat (in Joules) = ForceLength =  $ML^2/T^2$
- Power (in Watts) = Energy/Time =  $ML^2/T^3$
- Electrical Charge (in Coulombs) = CurrentTime =  $AT$

Force : 1 N = 1 kgm/s<sup>2</sup>

Pression: 1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>

Énergie: 1 J = 1 Nm = 1 kgm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>

# Les éléments finis

Exemples de systèmes consistants typiques (il en existe d'autres ...):

System:	MKS	mmNS	FPS	IPS
Length	m	mm	ft	in
Time	sec	sec	sec	sec
Mass	Kg	tonne	slug	lbf-sec <sup>2</sup>
Force	N	N	lbf	lbf
Temperature	°C	°C	°F	°F
Area	m <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>	in <sup>2</sup>
Volume	m <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>	ft <sup>3</sup> (cu-ft)	in <sup>3</sup> (cu-in)
Velocity	m/sec	mm/sec	ft/sec	in/sec
Acceleration	m/sec <sup>2</sup>	mm/sec <sup>2</sup>	ft/sec <sup>2</sup>	in/sec <sup>2</sup>
Angle, rotation	rad	rad	rad	rad
Angular Velocity	rad/sec <sup>2</sup>	rad/sec <sup>2</sup>	rad/sec <sup>2</sup>	rad/sec <sup>2</sup>
Mass density	Kg/m <sup>3</sup>	Tonne/mm <sup>3</sup>	slug/ft <sup>3</sup>	lbf-sec <sup>2</sup> /in <sup>4</sup>
Moment, torque	N-m	N-mm	ft-lbf	in-lbf
Line load	N/m	N/mm	lbf/ft	lbf/in
Surface load	N/m <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	lbf/ft <sup>2</sup>	lbf/in <sup>2</sup>
Stress, pressure	Pa	MPa		Psi
Youngs modulus	Pa	MPa		Psi
Thermal exp. coef.	/°C (/K)	/°C (/K)	/°F (/K)	/°F (/K)
Beam cross-section inertia I	m <sup>4</sup>	mm <sup>4</sup>	ft <sup>4</sup>	in <sup>4</sup>
Energy, Work, Heat	J	mJ	ft-lbf	in-lbf
Power, heat transfer rate $\dot{Q}$	W	mW	ft-lbf/sec	in-lbf/sec
Temperature gradient	°C/m	°C/mm	°F/ft	°F/in
Heat flux	W/m <sup>2</sup>	mW/mm <sup>2</sup>	lbf/ft-sec	lbf/in-sec
Therm. conductivity	W/m-°C	mW/mm-°C	lbf/sec-°F	lbf/sec-°F
Specific heat C <sub>p</sub>	J/Kg-°C	mJ/tonne-°C	ft-lbf/slug-°F	in <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup> -°F

## Système mmNs:

Force :

1 N = 1 tonne.mm/s<sup>2</sup> =  
1Kg.m/s<sup>2</sup> **donc masse**  
**en tonne.**

Energie :

1 Nmm = 1mJ (=   
mm.tonne.mm/s<sup>2</sup> =  
1 t.mm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>) **donc énergie**  
**en mJ (milliJoule)**

Pression:

1 N/mm<sup>2</sup> = 1 MPa **donc**  
**pression en MPa**

## Les éléments finis

Correspondance entre systèmes consistants:

	SI (m, k, s)	Metric (mm, k, s)	Metric (cm, g, s)
Time	second (s)	second (s)	second (s)
Length meter	1 meter (m)	1000 millimeter (mm)	100 centimeter (cm)
Velocity	1 m/s	1000 mm/s	100 cm/s
Acceleration	1 m/s <sup>2</sup>	1000 mm/s <sup>2</sup>	100 cm/s <sup>2</sup>
Mass	1 kilogram (kg)	1.0e-3 tonnes	1000 gram (g)
Density	1 kg/m <sup>3</sup>	1.0e-12 tonnes/mm <sup>3</sup>	1.0e-3 g/cm <sup>3</sup>
Force	1 Newton (N)	1 Newton (N)	1.0e5 dyne (dyn)
Moment	1 N · m	1000 N · mm	1.0e7 dyn · cm
Stress/Pressure	1 Pascal (Pa)	1.0e-6 N/mm <sup>2</sup>	10 dyn/cm <sup>2</sup>
Energy	1 Joule (J)	1000 millijoule (mJ)	1.0e7 erg
Power	1 Watt (W)	1000 milliwatt	1.0e7 erg/s

**En cas de doute, utiliser le SI.**

Lors de l'importation d'une géométrie CAD (en général en mm) dans abaqus, les unités peuvent être modifiées: vérifier les bonnes unités dans Abaqus à l'aide de Tool/Query/Distance.

## Les éléments finis

**Si votre système n'est pas consistant**, il apparait des facteurs de conversion.

Exemple de la thermique:

\*\*\*\*\* units: kg, mm, J, s, K **n'est pas consistant** car dans ce cas l'énergie devrait être en MJ ( $1 \text{ N} = 1 \text{ Kg.m/s}^2 = 10^3 \text{ Kg.mm/s}^2$  et  $= 1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 10^3 \text{ mKg.mm/s}^2 = 10^6 \text{ Kg.mm}^2/\text{s}^2$  )

On peut décider de **conserver le Joule (et non le MJ)** mais des facteurs de conversion apparaissent chaque fois que l'énergie apparait (dans  $W = \text{J/s}$ , par exemple):

\*dflux

\*\*\*\*\*  $10 \text{ MW/m}^3 = 10.\text{e}6 \times 1.\text{e}-9 \text{ W/mm}^3 = 10.\text{e}-3 \text{ W/mm}^3 = 0.01 \text{ W/mm}^3$

eall,bf,10.e-3

\*film

\*\*\*\*\* condition mixte:  $\text{flux} = h \cdot (t_s - t_{\text{ex}})$

\*\*\*\*\* h en  $\text{W/mm}^2\text{K}$  ,  $1 \text{ W/m}^2\text{K} = 1.\text{e}-6 \text{ W/mm}^2\text{K}$

\*\* element set, film, tex, h

ein,f4,100.,5000.e-6

eout,f2,20.,500.e-6

## Les éléments finis

**Si votre système n'est pas consistant**, il apparait des facteurs de conversion.

Exemple de la mécanique:

\*\*\*\*\* units: mm, N, kg, s, MPa **n'est pas consistant** car dans ce cas la masse devrait être en tonne.

On peut décider de conserver le Kg ou la tonne mais des facteurs de conversion apparaissent:

\*density

\*\*\*\*\* en kg/mm<sup>3</sup>

2700.e-9

\*\*\*\*\* en t/mm<sup>3</sup>

2.7e-9

\*dload

\*\*\*\*\* gravité en N/kg

eall,grav,10.,0,-1,0

\*\*\*\*\* gravité en N/t

10.e3

NB: la densité volumique de force (produit rho.g) est bien conservée:

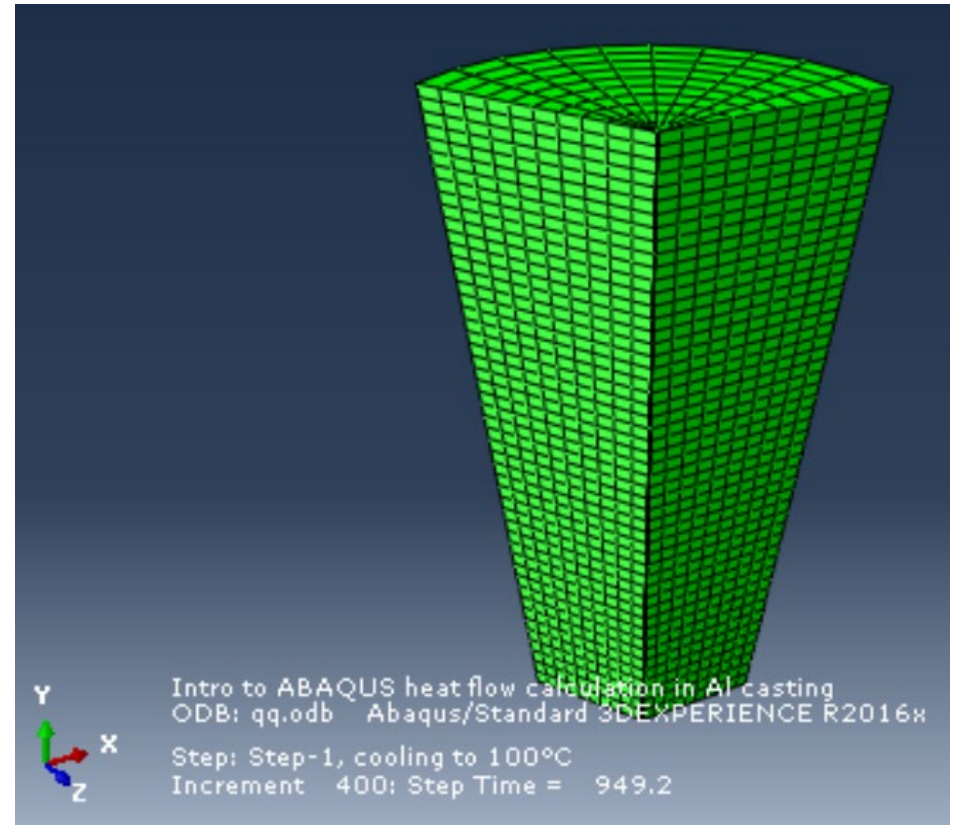
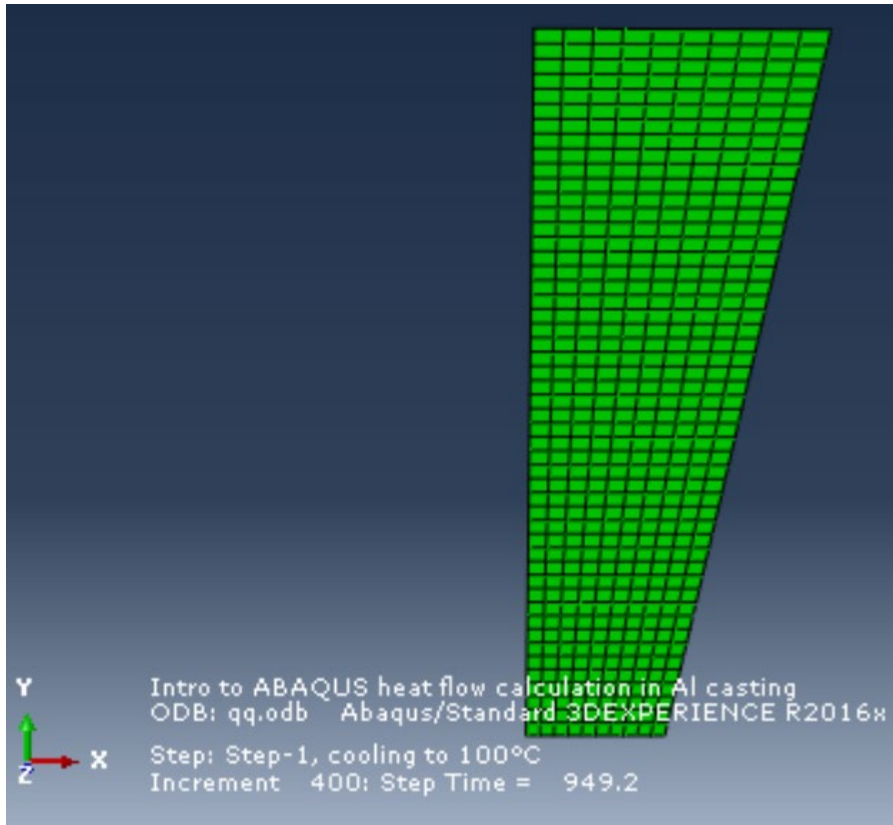
27.e-6 N/mm<sup>3</sup>

27.e-6 N/mm<sup>3</sup>



# Cas de thermique transitoire sur Abaqus: refroidissement d'une pièce axisymétrique.

Fichier: cast.inp



Si les C.L sont aussi axisymétriques, on travaille en coordonnées cylindriques

# Cas de thermique transitoire sur Abaqus: la physique du problème

Problème parabolique transitoire 2D:  $T(r,z,t)$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \text{div}(-k \overline{\nabla T}) = \dot{q} = 0. \text{ avec } H = \rho c_p T + L = C_p T + L(1-f_s)$$

$$C_p^e \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div}(-k \overline{\nabla T}) = 0 \text{ avec } C_p^e = C_p + \frac{L}{(T^l - T^s)}, L = \text{chaleur latente}, T^s \text{ solidus et } T^l \text{ liquidus}$$

condition initiale:  $T(r,z,t=0) = 700^\circ\text{C}$

conditions aux limites:  $\frac{\partial T}{\partial \vec{n}} = -h(T - T_{\text{ex}})$  condition mixte sur certaines surfaces.

Le rejet de chaleur latente est une forte non-linéarité.

Fichier input pour Abaqus: cast.inp

Exécution de Abaqus à partir d'une command window:

```
C:\Users\drezet\Documents\05-INM-MX5\cours 2022 - théorie\Casting>abaqus
Identifieur          : xx
Input file           : cast

C:\Users\drezet\Documents\05-INM-MX5\cours 2022 - théorie\Casting>
```

# Cas de thermique transitoire sur Abaqus: refroidissement d'une pièce axisymétrique.



cast.inp - Bloc-notes

Fichier Edition Format Affichage Aide

```
***** height: 150 mm
**** Axisymmetric Mesh (r-z): nodes, elements and sets
*node
**** number,r,z
1,
*** equivalent to 1,0.,0.
11,30,0.
5001,0.,150.
5011,60,150.
*ngen,nset=n0
***** ngen = node generate
1,11,1
*ngen,nset=n50
5001,5011,1
*nfill,nset=nall
***** 50 layers of 3 mm
n0,n50,50,100
***** element
*element,type=dcax4
*** dcax4 = axi elements with 4 nodes for diffusion pb
1,1,2,102,101
*elgen,elset=eall
***** elgen = element generate
1,10,1,1,50,100,100
```

The mesh:

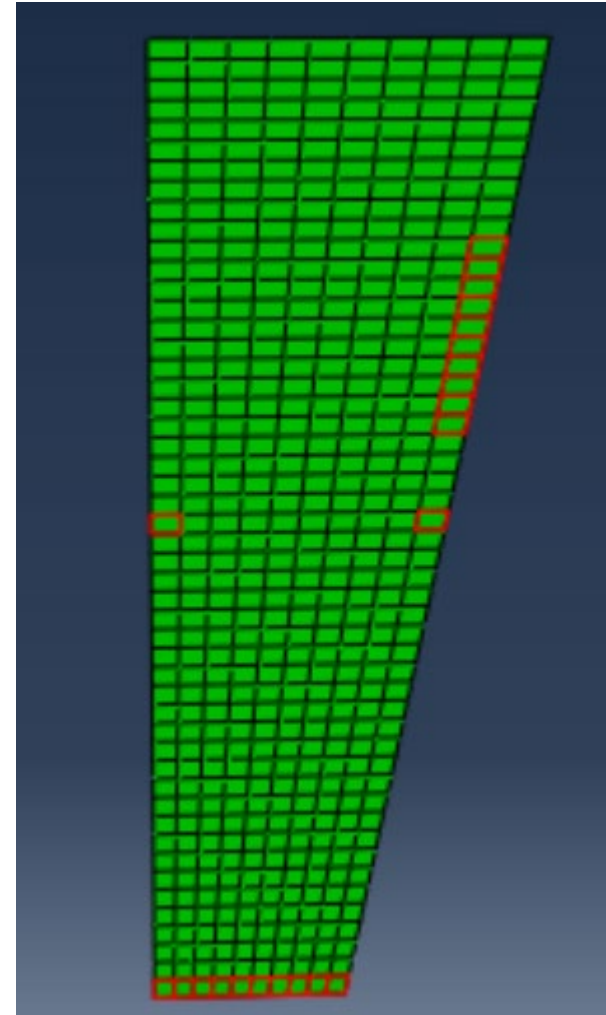
Abaqus fonctionne avec des  
keywords:  
ouvrir dans un navigateur

[Abaqus 6.14 Documentation](#)

# Cas de thermique transitoire sur Abaqus: refroidissement d'une pièce axisymétrique.

The mesh:

```
***** element and node sets for BCs
*elset,elset=elow,generate
1,10,1
*elset,elset=etop,generate
3010,3910,10
*nset,nset=nmes
1,2501,5001,11,5011,2511
*elset,elset=emes
1,2501,5001,10,5010,2510
*****
```



# Cas de thermique transitoire sur Abaqus: refroidissement d'une pièce axisymétrique.

## Propriétés matériaux:

```
*SOLID SECTION,  
ELSET=eall,MATERIAL=alu  
*** affect mesh elements to a material  
****  
*MATERIAL,NAME=alu  
*DENSITY  
**** en kg/mm3  
2.7e-6  
*CONDUCTIVITY  
*** W/mmK  
*** value, temp  
50.e-3,20.  
55.e-3,600.  
*SPECIFIC HEAT  
*** J/kgC  
*** value, temp  
980.,20.  
900.,500.  
*latent heat  
**** in J/kg 400.e3  
400.e3,600.,650.
```

## Conditions initiales et aux limites et chargement (refroidissement de 500 s).

```
*****  
*INITIAL CONDITIONS,TYPE=TEMPERATURE  
nall,700.  
*****  
*** cooling to 100°C  
*****  
*STEP,inc=10000,amp=step  
cooling to 100°C in 500 sec  
*****  
*heat transfer,DELTMX=1.  
***** dt0,step-time,min,max  
0.01,500.,1e-08  
*****  
*film  
***** condition mixte: flux = h*(tsurf-tex)  
***** h en W/mm2K  
** elements,film,tex,h  
elow,f1,100.,200.e-6  
etop,f2,100.,500.e-6  
*****
```

# Cas de thermique transitoire sur Abaqus: refroidissement d'une pièce axisymétrique.

## Résultats:

\*\*\*\*\* results:

\*\*\*\* follow one dof at a node (result in \*.sta file)

\*monitor,node=11,dof=11

\*\*\*\* print results in \*.dat file:

\*el print,position=centroidal,elset=emes,freq=100

temp,hfl

\*el print,elset=emes,freq=0,position=averaged at nodes

temp,hfl

\*el print,position=averaged at nodes,elset=eall,freq=0

temp,hfl

\*node print,nset=nmes,freq=10

coord,nt11

\*\*\*\*\*

\*\*\*\* save field results in \*.odb file:

\*OUTPUT,FIELD,freq=10,var=preselect

\*element output,elset=eall

temp

\*node output,nset=nall

nt

\*\*\*\* save history results in \*.odb file:

\*output,history,freq=1

\*node output,nset=nmes

nt

\*\*\*\*\*

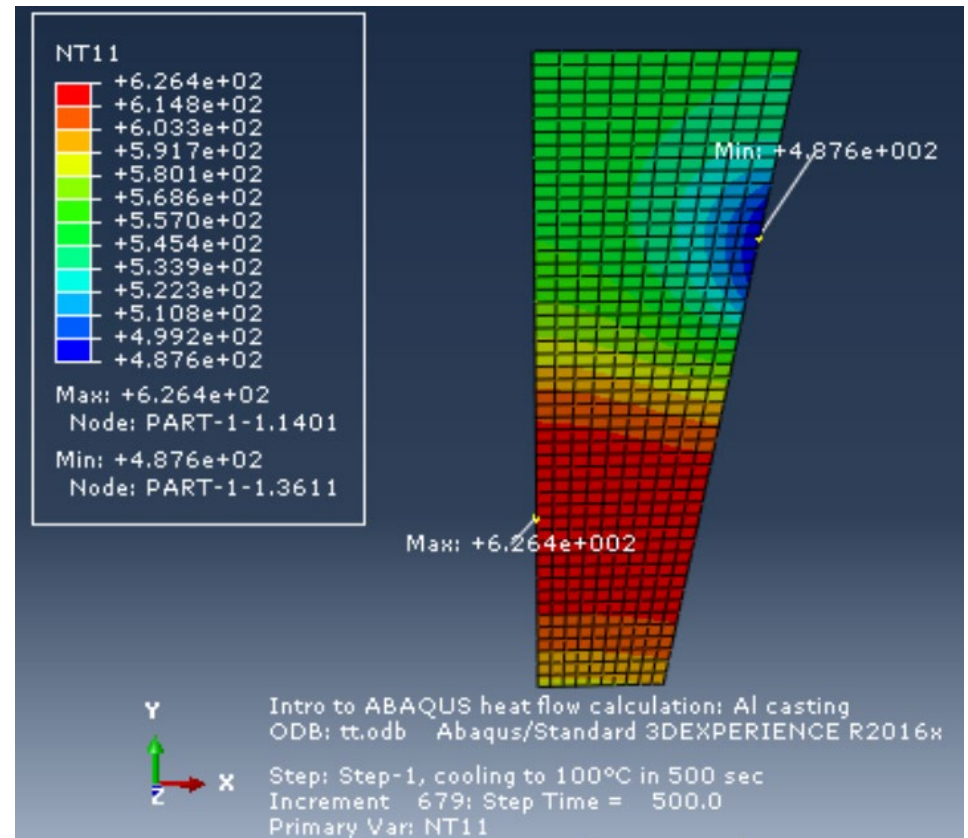
\*END STEP

# Cas de thermique transitoire sur Abaqus: refroidissement d'une pièce axisymétrique.

**Pour visualiser les résultats :** lancer la commande «abaqus viewer» et ouvrir le fichier de données .odb (output database)

Results/field output/NT11

NT11 est le dof temperature



Champ (field) de température à  $t = 500$  sec

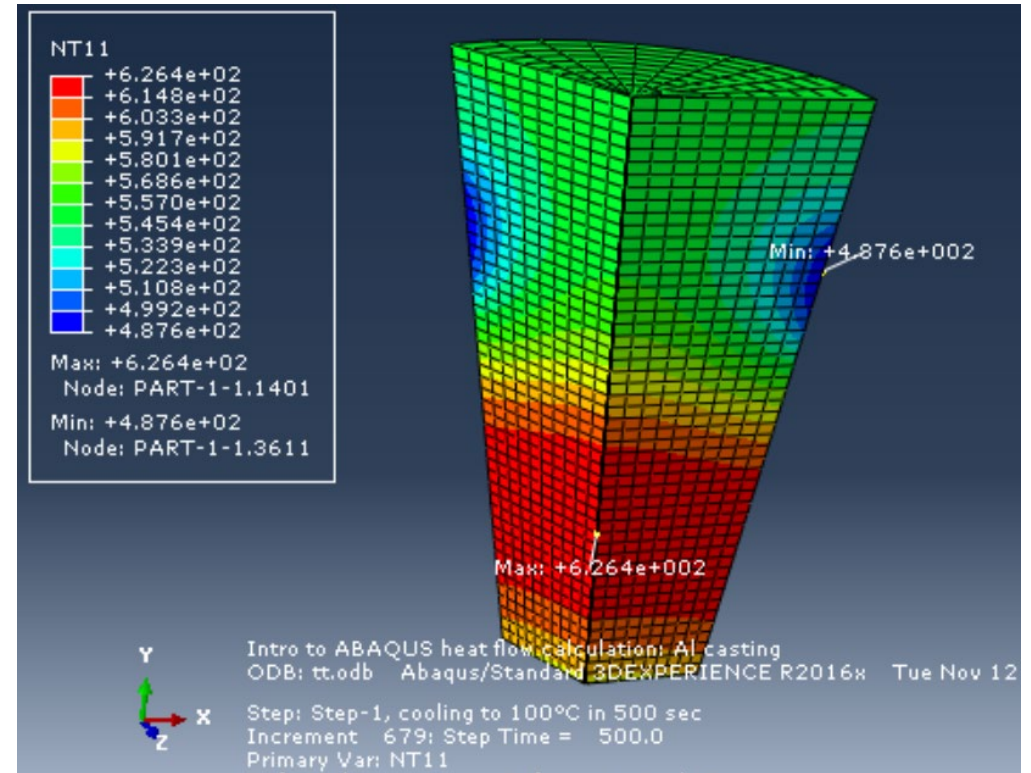
# Cas de thermique transitoire sur Abaqus: refroidissement d'une pièce axisymétrique.

**Pour avoir une vue 3D de la  
pièce:**

View/ODB display options/sweep

Results/field output/NT11

NT11 est le dof temperature

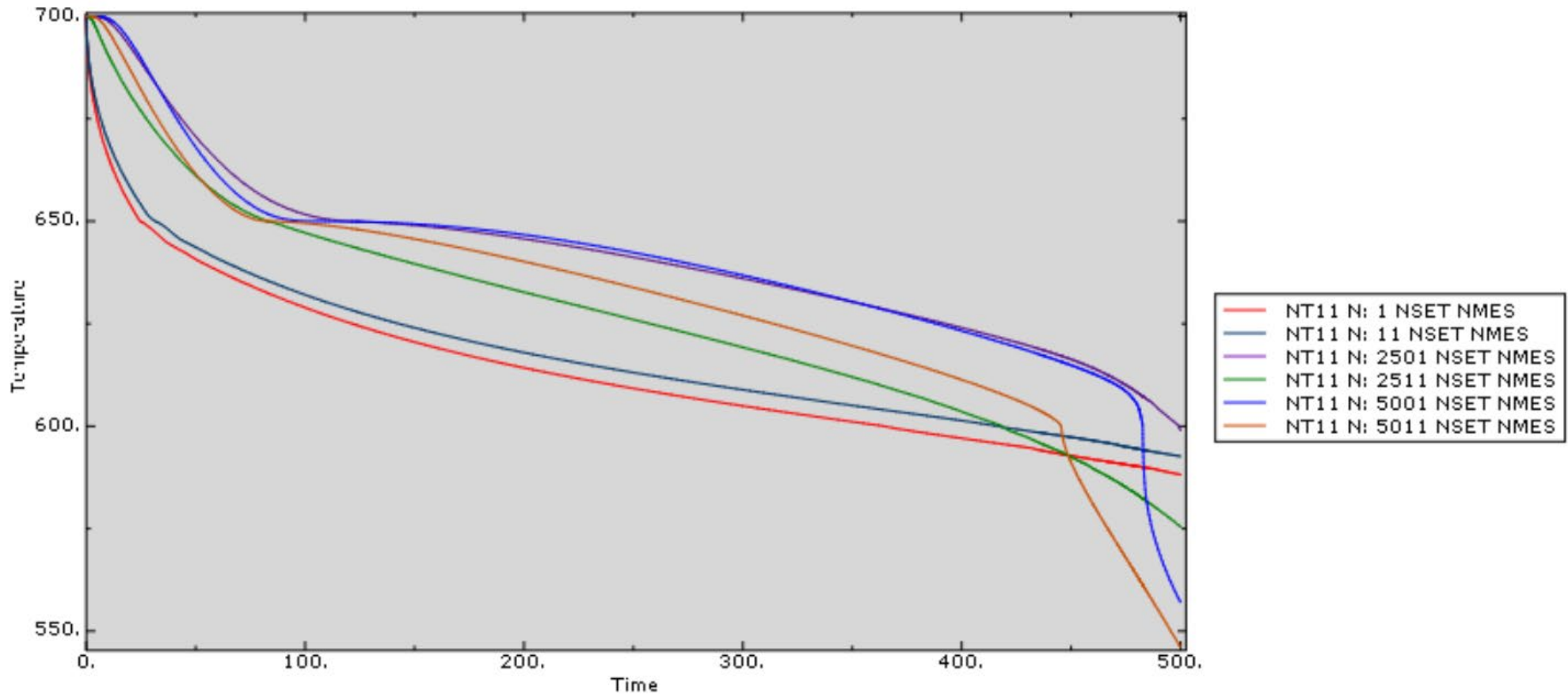


Champ (field) de température à  $t = 500$  sec



# Cas de thermique transitoire sur Abaqus: refroidissement d'une pièce axisymétrique.

**Pour avoir les historiques de refroidissement aux points de Nmes:**  
Results/history output



Historique de température aux points de Nmes

Cas de thermique transitoire sur Abaqus:  
refroidissement d'une pièce axisymétrique.

**Exo8: reprendre le cas cast.inp sur moodle, modifier la conductivité:**

**\*CONDUCTIVITY**

150.e-3,20.

155.e-3,600.

**Et faire un calcul sur 200 secondes pour répondre aux questions:**

- a) que vaut la température max au temps 200 sec ?
- b) que vaut la température min au temps 200 sec ?
- c) que vaut la température max au temps 200 sec en ignorant la chaleur latente ?
- d) que vaut la température min au temps 200 sec en ignorant la chaleur latente ?
- e) sortir les histoires thermiques aux points Nmes. Quelle différence apparaît ?
  
- f) refaire les calculs avec un maillage deux fois plus fin (maille de 1.5 x 1.5 mm<sup>2</sup>).  
On nommera cast2.inp le fichier input.
- g) construire le modèle avec des éléments quadratiques DCAX8.