



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

Cast3M training on

« Additive Manufacturing Simulation »

S. Pascal

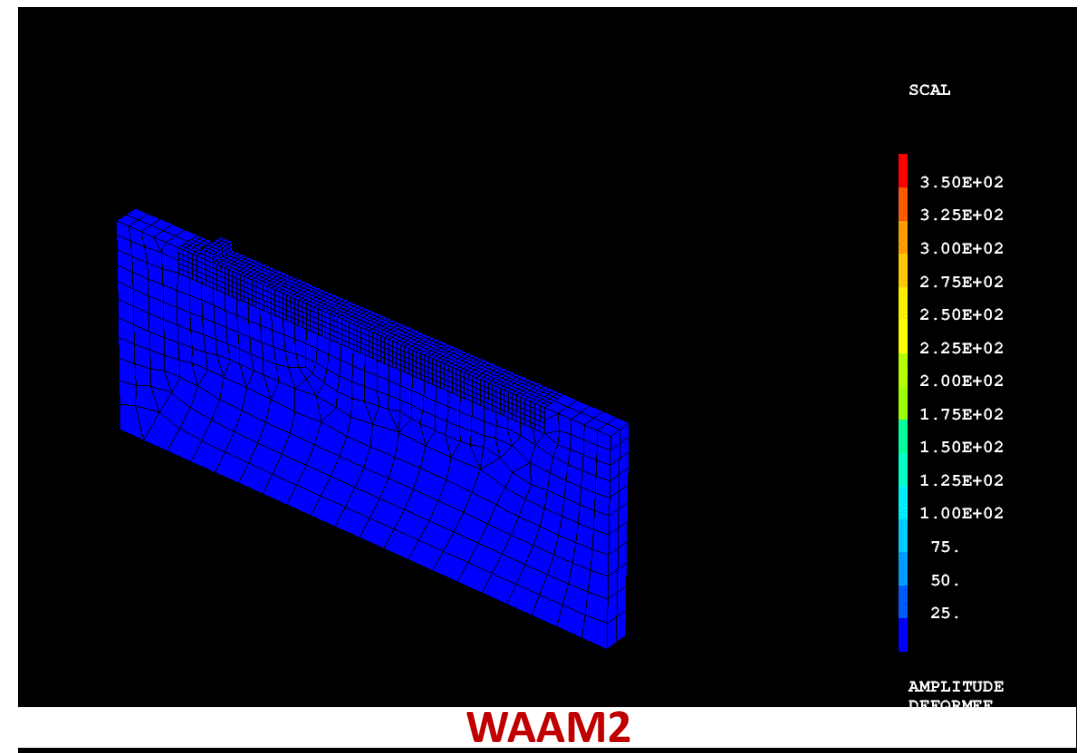
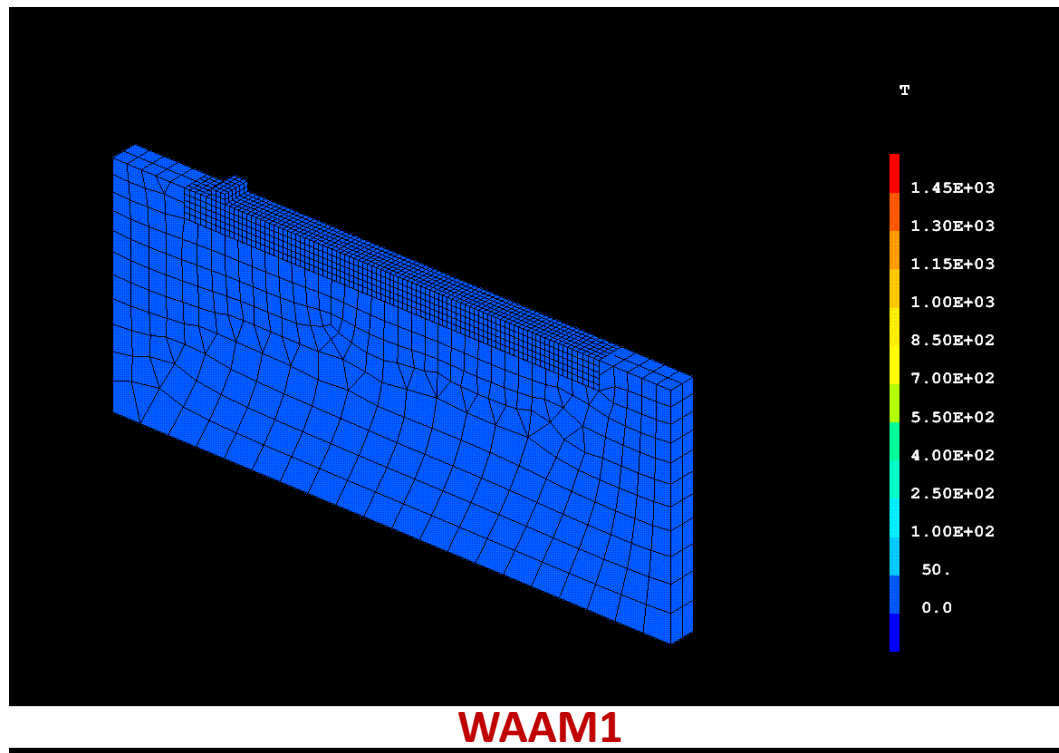
version du 12/10/2022

OUTLINES

To rebuild the dgibi example files :

- **waam1.dgibi** : thermal analysis
- **waam2.dgibi** : thermomechanical analysis

Both are available in the Cast3M dgibi base since version 2021.



Modelling

- Procedure **BIBLIO** : how to get material data
- Procedure **SOUDAGE** : how to define a manufacturing sequence
- Procedure **WAAM** : how to mesh a manufacturing sequence
- How to define **time evolutive Cast3M models** (MODE) as **CHARGEMENT** type objects, and their **characteristics** (MATE)
- How to define a **heat source model** as a **mobile, Gaussian distribution**
- How to reset plastic hardening after material fusion : **FUSION model option**

Solver

- Procedure **PASAPAS**

Post-treatment

- Procedure **EXPLORER**
- **PASAPAS results table analysis**

In GIBIANE, 2 types of instructions

- **Directives**, that do not return any result:
OPTI DIME 3 ELEM CUB8 TRAC X ;
- **Operators**, that return result object, freely named by the user:
LIGN1 = DROI 5 P1 P2 ;

Enables to check the result of each instruction

- Directive **LIST**, option RESU :
LIST LIGN1 ;
LIST (VALE DIME) ; LIST RESU CHPO1 ;

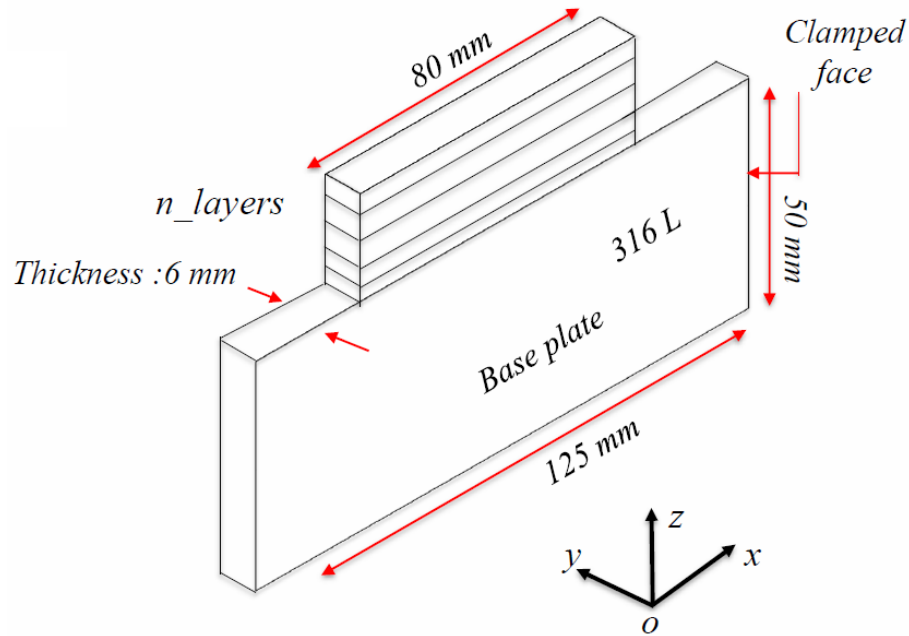
All functionalities are documented in manual pages, available on the command line

- Directive **INFO** :
INFO OPTI ; INFO DROI ;

Dynamic data typing according to predefined object types

- ENTIER, FLOTTANT, MOT... POINT, MAILLAGE, CHPOINT, MCHAML... MMODEL, EVOLUTION...

WAAM1.DGIBI

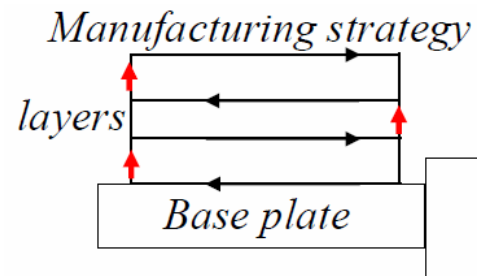
Additive manufacturing study case¹

Parameter	value
Power supply	Fronuis TransPlus CMT
Welding speed [$m \cdot min^{-1}$]	0.30
Wire feed speed [$m \cdot min^{-1}$]	3.2 first layer / 2.5 others
Filler wire [mm]	1.2
Shielding gas	Argon + 2% CO ₂
Shielding rate [$l \cdot min^{-1}$]	15
Average current [A]	120 - first layer / 100 - others
Average voltage [V]	15 -first layer / 13-others
Time between layers [s]	30

(1) Camille Cambon, Issam Bendaoud, Sébastien Rouquette, Fabien Soulié. "Influence of the first weld bead on strain and stress states in wire+arc additive manufacturing".

The 12th International Seminar "Numerical Analysis of Weldability", Institute for Materials Science, Joining and Forming (IMAT), Sep 2018, Seggau, Austria. hal-01954354

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01954354>



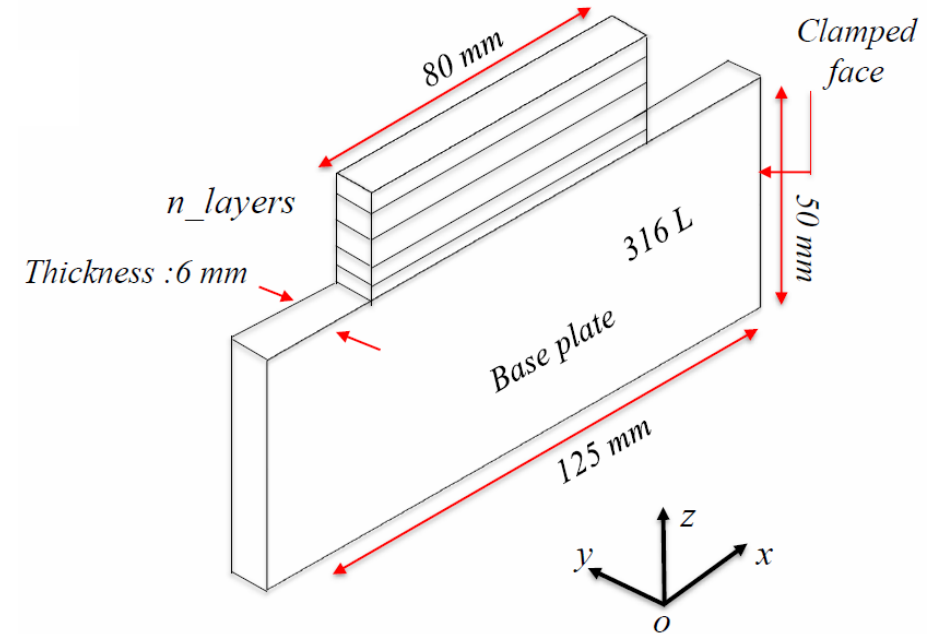
- 10 layers , 80 mm weld bead length
- Time between layers : 30 s
- Z-incrementation layers : 2.5 mm

Head of the file `waam1_formation.dgibi`

```

28 * Type d'element : CUB8
29 * Chargement : Source de chaleur, Convection, Apport de matiere
30 *
31 -----*
32 *
33 opti dime 3 elem cub8 ;
34
35 incomplet = faux ;
36
37 ig1 = faux ;
38 *opti trac psc eptr 5 ;
39 ig1 = ig1 ou (ega (valeur trac) 'PSC') ;
40
41 ----- Parametres du probleme -----*
42
43 * Parametres geometrie :
44 * lw1 : longueur faite en WAAM
45 * ls1 : longueur support
46 * hs1 : hauteur support
47 * e1 : epaisseur de la plaque
48 lw1 = 80.e-3 ;
49 ls1 = 124.e-3 ;
50 hs1 = 50.e-3 ;
51 e1 = 6.e-3 ;
52
53 * Position thermocouples :
54 * Bord depart WAAM initial en (0 0 0) :
55 TC1 = 40.e-3 0 -3.e-3 ;
56 TC2 = 40.e-3 0 -5.e-3 ;
57 TC3 = 0.e-3 0 -25.e-3 ;
58 TC4 = 80.e-3 0 -10.e-3 ;
59
60 * Parametres apport de chaleur :
61 * Us1 : tension electrique de soudage (V) 1ere couche
62 * Us2 : tension electrique de soudage (V) couches suivantes
63 * Is1 : intensite electrique soudage (A) 1ere couche
64 * Is2 : intensite electrique soudage (A) couches suivantes
65 * Vs1 : vitesse de soudage (m/s)
66 * Eta1 : rendement de la source
67 * R0 : rayon de la distribution Gaussienne
68 Us1 = 15.0 ;
69 Us2 = 13.0 ;
70 Is1 = 120. ;
71 Is2 = 100. ;
72 Vs1 = 0.30 / 60. ;
73 Eta1 = 0.8 ;
74 R0 = 3.e-3 ;
75

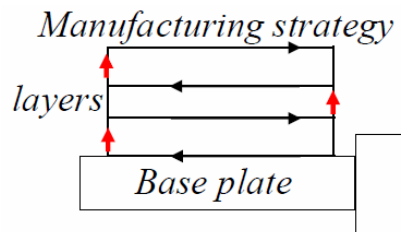
```



Parameter	value
Power supply	Fronius TransPlus CMT
Welding speed [$m \cdot min^{-1}$]	0.30
Wire feed speed [$m \cdot min^{-1}$]	3.2 first layer / 2.5 others
Filler wire [mm]	1.2
Shielding gas	Argon + 2% CO ₂
Shielding rate [$l \cdot min^{-1}$]	15
Average current [A]	120 - first layer / 100 - others
Average voltage [V]	15 -first layer / 13-others
Time between layers [s]	30

Head of the file `waam1_formation.dgibi`

Parameter	value
Power supply	Fromuis TransPlus CMT
Welding speed [$m.min^{-1}$]	0.30
Wire feed speed [$m. min^{-1}$]	3.2 first layer / 2.5 others
Filler wire [mm]	1.2
Shielding gas	Argon + 2% CO ₂
Shielding rate [$l. min^{-1}$]	15
Average current [A]	120 - first layer / 100 - others
Average voltage [V]	15 -first layer / 13 -others
Time between layers [s]	30



- 10 layers , 80 mm weld bead length

-Time between layers : 30 s

-Z-incrementation layers : 2.5 mm

```

61 * Us1 : tension electrique de soudage (V) 1ere couche
62 * Us2 : tension electrique de soudage (V) couches suivantes
63 * Is1 : intensite electrique soudage (A) 1ere couche
64 * Is2 : intensite electrique soudage (A) couches suivantes
65 * Vs1 : vitesse de soudage (m/s)
66 * Eta1 : rendement de la source
67 * R0 : rayon de la distribution Gaussienne
68 Us1 = 15.0 ;
69 Us2 = 13.0 ;
70 Is1 = 120. ;
71 Is2 = 100. ;
72 Vs1 = 0.30 / 60. ;
73 Eta1 = 0.8 ;
74 R0 = 3.e-3 ;
75
76 * Parametres apport de matiere :
77 * dfill1 : diametre file (m)
78 * vfill1 : vitesse defilement fil (m/s) 1ere passe
79 * vfill2 : vitesse defilement fil (m/s) autres passes
80 dfill1 = 1.2e-3 ;
81 vfill1 = 3.2 / 60. ;
82 vfill2 = 2.5 / 60. ;
83
84 * Parametres sequence soudage :
85 * dtinil : delai initial avant debut deplacement torche
86 * delai1 : delai entre 2 passes de WAAM
87 * nbpass1: nombre de passes
88 dtinil = 0.8 ;
89 delai1 = 30. ;
90 nbpass1 = 10 ;
91
92 * Parametres conditions thermiques initiales et aux limites :
93 * Tinil : temperature initiale (degC)
94 * Tel : temperature de convection (degC)
95 * h1 : coefficient d'echange convectif (W/m2)
96 Tinil = 20. ;
97 Tel = 20. ;
98 h1 = 20. ;
99
100 ----- Proprietes 316 L -----*
101 * Ref. :
102 * Camille Cambon, Issam Bendaoud, Sebastien Rouquette, Fabien Soulie.
103 * "Influence of the first weld bead on strain and stress states in wire+arc additive manufacturing".
104 * The 12th International Seminar "Numerical Analysis of Weldability",
105 * Institute for Materials Science, Joining and Forming (IMAT), Sep 2018, Seggau, Austria.
106 * hal-01954354 https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01954354
107 *
108 * Donnees fournies par la procedure BIBLIO :
109
110 opti donn 5 ;
111

```

Head of the file `waam1_formation.dgibi`

Run the dgibi file by typing:

```
castem22 waam1_formation
```

The program stops on the instruction:

```
OPTI DONN 5 ;
```

```
$ * * delai1 : delai entre 2 passes de WAAM
$ * * nbpass1: nombre de passes
$ * dtini1  = 0.8 ;
$ * delai1  = 30. ;
$ * nbpass1 = 10 ;
$ *
$ *
$ * Parametres conditions thermiques initiales et aux limites :
$ * * Tini1 : temperature initiale (degC)
$ * * Te1   : temperature de convection (degC)
$ * * h1    : coefficient d'echange convectif (W/m2)
$ * Tini1  = 20. ;
$ * Te1    = 20. ;
$ * h1     = 20. ;
$ *
$ *
$ * ----- Proprietes 316 L -----*
$ * Ref. :
$ * Camille Cambon, Issam Bendaoud, Sebastien Rouquette, Fabien Soulie.
$ * ÔÇŒInfluence of the first weld bead on strain and stress states in wire+arc additive manufacturingÔÇŒ.
$ * The 12th International Seminar ÔÇŒNumerical Analysis of WeldabilityÔÇŒ,
$ * Institute for Materials Science, Joining and Forming (IMAT), Sep 2018, Seggau, Austria.
$ * hal-01954354 https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01954354
$ *
$ *
$ * Donnees fournies par la procedure BIBLIO :
$ *
$ * opti donn 5 ;
$
```

Procedure **BIBLIO**

To load bibliographic data in a TABLE, as for example material data.

Syntax :

```
TAB1 = BIBLIO MOT1 (REFE ENT1) ;
```

To get more information about BIBLIO, type:

```
info biblio ;
```

To load 316L material data, type:

```
t316L = biblio 316L Refe 2 ;
```

You can list the table T316L:

```
List T316L ;
```

You can plot some material data:

```
dess T316L . 'YOUN' ;
```

```
$ * opti donn 5 ;
$ t316L = biblio 316L refe 2 ;
* t316L = biblio 316L refe 2 ;
$ list t316L ;
* list t316L ;
TABLE de pointeur 2122142
      Indice
      Type   Valeur
MOT    K      EVOLUTIO 2122177
MOT    ENTH   EVOLUTIO 2122233
MOT    TFUS   FLOTTANT 0.14500000E+04
MOT    QLAT   FLOTTANT 0.20000000E+10
MOT    YOUN   EVOLUTIO 2122289
MOT    SIGY   EVOLUTIO 2122345
MOT    ALPH   EVOLUTIO 2122401
MOT    H      EVOLUTIO 2122457
MOT    ECRO   NUAGE    2123717
$ dess t316L.ecro ;
* dess t316L.ecro ;
$ dess t316L.youn ;
* dess t316L.youn ;
```

Continuation of `waam1_formation.dgibi`

Type :

`opti donn 3 ;`

The program continues, then stops again on the instruction:

`OPTI DONN 5 ;`

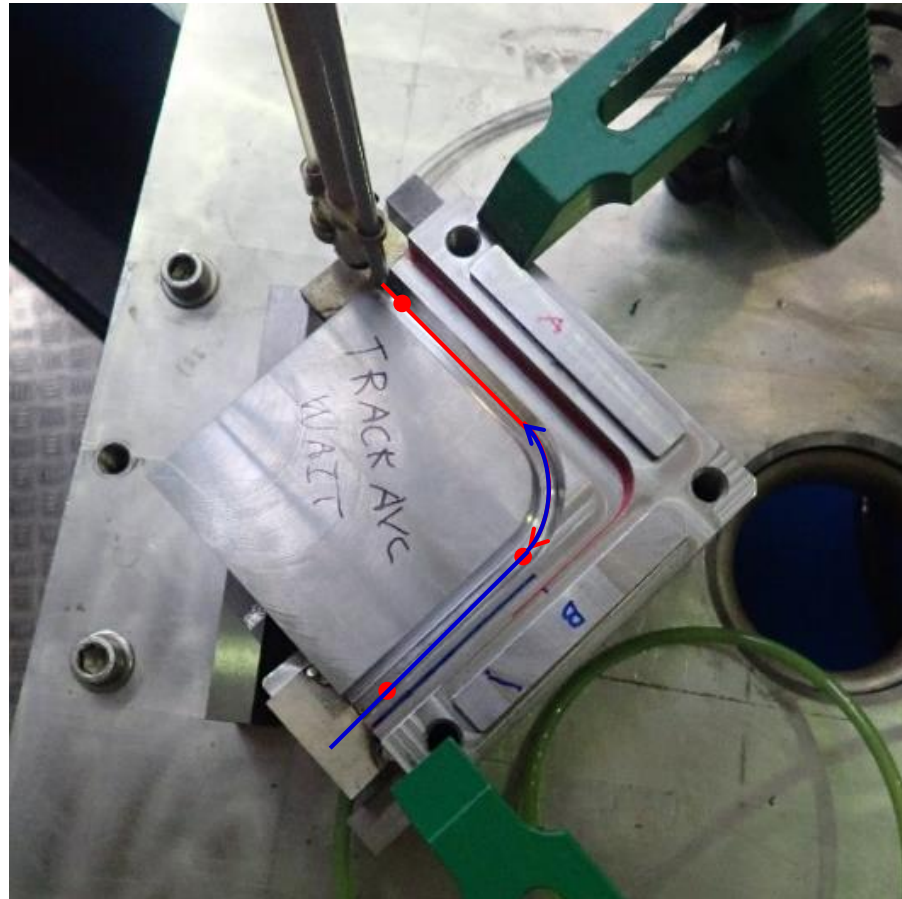
```

$ *
$ *----- Sequence de soudage / Maillage -----*
$ *
$ * Parametres discretisation apport de matiere :
$ * * xpi      : "pas" de discetisation de l'apport de matiere en espace (m)
$ * * dz1     : increment WAAM selon (0,z) / hauteur cordon
$ * * debi1   : debit volumique de fil 1ere passe
$ * * debi2   : debit volumique de fil autres passes
$ * * xpi     = e1 / 2. ;
$ * * debi1   = 0.25 * dfil1 * dfil1 * pi * vfil1 ;
$ * * debi2   = 0.25 * dfil1 * dfil1 * pi * vfil2 ;
$ * * dz1     = debi1 / e1 / Vs1 ;
$ * * dz2     = debi2 / e1 / Vs1 ;
$ *
$ * Parametres modele source Gaussienne 3D :
$ * * Qtot1   = Eta1 * Us1 * Is1 ;
$ * * Qtot2   = Eta1 * Us2 * Is2 ;
$ * * Qtot1   = Qtot1 - (Qlat1 * e1 * dz1 * Vs1) ;
$ * * Qtot2   = Qtot2 - (Qlat1 * e1 * dz2 * Vs1) ;
$ * * list Qtot1 ;
$ * * list Qtot2 ;
$ * * Rg1     = ((2. / 3.) ** 0.5) * R0 ;
$ *
$ * Parametre geometrie / trajectoire :
$ * * e1s2    = 0.5 * e1 ;
$ * * dz1s2   = 0.5 * dz1 ;
$ *
$ * * table SOUDAGE :
$ * * tso1    = tabl ;
$ * * tso1.vitesse_de_soudage = Vs1 ;
$ * * tso1.puissance_de_soudage = Qtot2 ;
$ * * tso1.diametre_de_fil = dfil1 ;
$ * * tso1.vitesse_de_fil = vfil2 ;
$ * * tso1.point_de_depart = (0 e1s2 dz1) ;
$ * * tso1.largeur_de_passe = e1 ;
$ *
$ * opti donn 5 ;

```

Procedure **SOUDAGE**

To define a manufacturing sequence (or a welding sequence).



Crédit photo : L. Forest, SEMT/LTA

Procedure **SOU**DAGE

What is a manufacturing sequence?

- Manufacturing tool kinematic (stops and starts along its trajectory)
- Manufacturing actions (weld points, weld beads, layer “lasing”, etc.)
- Process parameters:
 - Manufacturing tool speed
 - Wire feed / material deposition rate
 - Energy deposition rate
 - Manufacturing technology (WAAM, WLAM, DED...)
 - Inerting
 - Etc.

Procedure **Soudage**

Syntax:

```
Soudage TAB1 options... ;
```

The *options* define manufacturing actions (welding point or bead, tool displacement).

Principle of use:

- Call the procedure for each manufacturing action
- Actions are recorded in TAB1 at each call

Example :

```
Soudage TAB1 DEPLA P1 ;
```

```
Soudage TAB1 POINT FLOT1 ;
```

```
Soudage TAB1 DEPLA P2 ;
```

```
....
```

Procedure SOUDAGE

TAB1 contains input data, default values of manufacturing parameters:

- TAB1 . **VITESSE_DE_SOUDAGE** : FLOTTANT type object, welding (manufacturing) speed
- TAB1 . **PUISSANCE_DE_SOUDAGE** : FLOTTANT type object, welding (manufacturing) thermal power
- TAB1 . **DIAMETRE_DE_FIL** : FLOTTANT type object, filler wire diameter
- TAB1 . **VITESSE_DE_FIL** : FLOTTANT type object, wire feed rate
- TAB1 . **DEBIT_DE_FIL** : FLOTTANT type object, material volume flow
- TAB1 . **POINT_DE_DEPART** : POINT type object, beginning point of manufacturing ((0 0 0) by default)
- TAB1 . **VITESSE_DE_DEPLACEMENT** : FLOTTANT type object, displacement speed (without manufacturing)
- TAB1 . **LARGEUR_DE_PASSE** : FLOTTANT type object, weld bead width
- TAB1 . **TEMPS_DE_COUPURE** : FLOTTANT type object, time delay to switch on/off the heat source and/or the material deposition (0,1s by default)

Procedure SOUDAGE

TAB1 outputs:

- TAB1 . **TRAJECTOIRE** : MAILLAGE type object, welding tool trajectory.
Red lines represent welding pass, **green lines**, displacements.
- TAB1 . **EVOLUTION_DEPLACEMENT** : EVOLUTION type object, time evolution of the manufacturing tool motion.
- TAB1 . **EVOLUTION_PUISSANCE** : EVOLUTION type object, time evolution of the thermal power.
- TAB1 . **EVOLUTION_DEBIT** : EVOLUTION type object, time evolution of the filler material volume flow.

Procedure **SOUDAGE**

Option **POINT** : to define a weld point.

Syntax :

```
SOUDAGE TAB1 POINT FLOT1 ('PUIS' FLOT2) ('DEBI' FLOT3) ;
```

With:

FLOT1 : FLOTTANT type object, **time** to achieve that welding point.

FLOT2 : FLOTTANT type object, thermal power used to achieve the welding point.
Do not modify default value TAB1.'PUISSANCE_DE_SOUDAGE'.

FLOT3 : FLOTTANT type object, wire volume flow used to achieve that welding point.
Do not modify default value TAB1.'DEBIT_DE_FIL'.

Procedure SOUDAGE

Option PASSE : to define a welding pass (or a “lasing line”).

Syntax :

```
SOUDAGE TAB1 PASSE | 'DROI' P1          | ('RELA') | ('VITE' FLOT1) ('PUIS' FLOT2) ('DEBI' FLOT3) ;  
                  | 'CERC' P1 P2 (N1) | 'ABSO'  |  
                  | 'MAIL' LIGN1 ;
```

With :

- P1 : POINT type object, **final point** of the pass (line).
- P2 : POINT type object, circle center.
- N1 : ENTIER type object, number of line segments along the circle arc.
(by default, this number is computed to get an angle of 5 degrees between 2 consecutive segments).
- LIGN1 : MAILLAGE type object, **oriented line** representing the pass trajectory.
- 'RELA' : MOT type object, specify that point coordinates are defined according to the current point as point origin.
- 'ABSO' : MOT type object, specify that point coordinates are defined in the general reference basis.
- FLOT1 : FLOTTANT type object, welding speed of that welding pass.
Do not modify default value TAB1. VITESSE_DE_SOUDAGE'.
- FLOT2, FLOT3 : idem option POINT.

Procedure SOUDAGE

Option **DEPLA** : to define a displacement of the tool.

Syntax :

```
SOUDAGE TAB1 DEPLA | 'DROI' P1 | ('RELA') | ('VITE' FLOT1) ;  
| 'CERC' P1 P2 (N1) | 'ABSO' |  
| 'MAIL' LIGN1 ;  
| 'COUCHE' ('PAUSE' FLOT2) ;
```

With :

- **P1** : objet POINT, **final point** of the displacement.
- P2 : objet POINT, circle center.
- N1 : objet ENTIER, number of line segments along the circle arc(idem pass option).
- LIGN1 : objet MAILLAGE, **oriented line** representing the pass trajectory.
- 'RELA' : objet MOT, specify that point coordinates are defined according to the current point as point origin.
- 'ABSO' : objet MOT, specify that point coordinates are defined in the general reference basis.
- FLOT1 : objet FLOTTANT, welding speed of that welding pass.
Do not modify default value TAB1. VITESSE_DE_SOUDAGE'.
- FLOT4 : objet FLOTTANT, time delay between 2 layers.

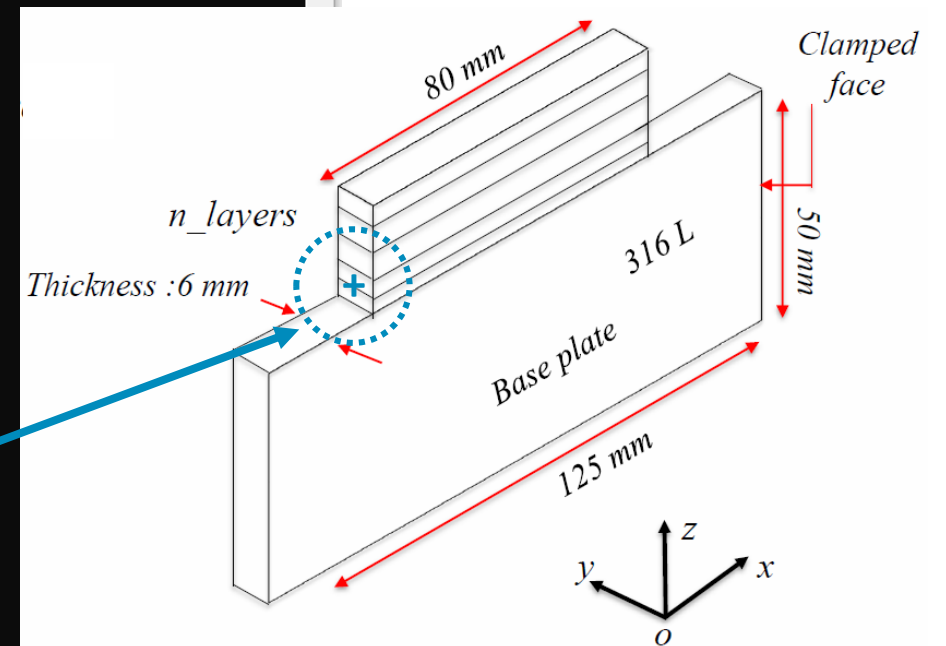
Back to **waam1_formation.dgibi**

Program stopped here:

```

* *----- Sequence de soudage / Maillage -----*
*
* * Parametres discretisation apport de matiere :
* * xp1   : "pas" de discretisation de l'apport de matiere en espace (m)
* * dz1   : increment WAAM selon (0,z) / hauteur cordon
* * debi1 : debit volumique de fil 1ere passe
* * debi2 : debit volumique de fil autres passes
* xp1     = e1 / 2. ;
* debi1   = 0.25 * dfil1 * dfil1 * pi * vfil1 ;
* debi2   = 0.25 * dfil1 * dfil1 * pi * vfil2 ;
* dz1     = debi1 / e1 / Vs1 ;
* dz2     = debi2 / e1 / Vs1 ;
*
* * Parametres modele source Gaussienne 3D :
* Qtot1   = Eta1 * Us1 * Is1 ;
* Qtot2   = Eta1 * Us2 * Is2 ;
* *Qtot1  = Qtot1 - (Qlat1 * e1 * dz1 * Vs1) ;
* *Qtot2  = Qtot2 - (Qlat1 * e1 * dz2 * Vs1) ;
* *list Qtot1 ;
* *list Qtot2 ;
* Rg1     = ((2. / 3.) ** 0.5) * R0 ;
*
* * Parametre geometrie / trajectoire :
* e1s2    = 0.5 * e1 ;
* dz1s2   = 0.5 * dz1 ;
*
* * table SOUDAGE :
* tso1    = tabl ;
* tso1.vitesse_de_soudage = Vs1 ;
* tso1.puissance_de_soudage = Qtot2 ;
* tso1.diametre_de_fil = dfil1 ;
* tso1.vitesse_de_fil = vfil2 ;
* tso1.point_de_depart = (0 e1s2 dz1) ;
* tso1.largeur_de_passe = e1 ;
*
* * opti donn 5 ;

```

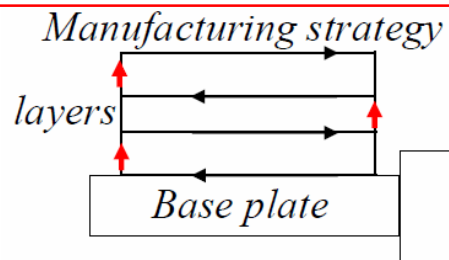


File **waam1_formation.dgibi** :Definition of the manufacturing sequence – call to **SOUUSAGE** procedure

```

175
176 * table SOUUSAGE :
177 tsol                               = tabl ;
178 tsol.vitesse_de_soudage             = Vs1 ;
179 tsol.puissance_de_soudage          = Qtot2 ;
180 tsol.diametre_de_fil               = dfill1 ;
181 tsol.vitesse_de_fil                 = vfil2 ;
182 tsol.point_de_depart               = (0 els2 dz1) ;
183 tsol.largeur_de_passe              = e1 ;
184
185 opti donn 5 ;
186
187 * Définition de la sequence de soudage :
188 * Repetition sequence de 2 passes en AR :
189 soudage tsol point dtini1 puis Qtot1 debi 0. ;
190 soudage tsol passe droi (lw1 0 0) ;
191 soudage tsol depla couche pause delai1 ;
192 soudage tsol passe droi ((-1.*lw1) 0 0) ;
193 soudage tsol depla couche pause delai1 ;
194

```



- 10 layers , 80 mm weld bead length

-Time between layers : 30 s

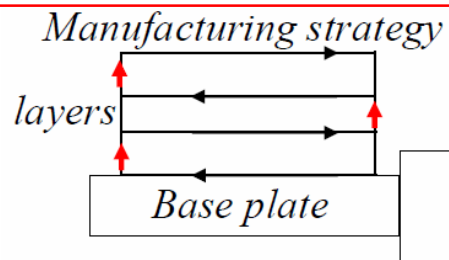
-Z-incrementation layers : 2.5 mm

File **waam1_formation.dgibi** :Definition of the manufacturing sequence – call to **SOUUSAGE** procedure

```

177  tsol                = tabl ;
178  tsol.vitesse_de_soudage = Vs1 ;
179  tsol.puissance_de_soudage = Qtot2 ;
180  tsol.diametre_de_fil    = dfil1 ;
181  tsol.vitesse_de_fil     = vfil2 ;
182  tsol.point_de_depart    = (0 els2 dz1) ;
183  tsol.largeur_de_passe   = e1 ;
184
185  opti donn 5 ;
186
187  * Définition de la sequence de soudage :
188  * Repetition sequence de 2 passes en AR :
189  soudage tsol point dtini1 puis Qtot1 debi 0. ;
190  repe b1 (nb1/2) ;
191     soudage tsol passe droi (lw1 0 0) ;
192     soudage tsol depla couche pause delail ;
193     soudage tsol passe droi ((-1.*lw1) 0 0) ;
194     soudage tsol depla couche pause delail ;
195  fin b1 ;
196

```



- 10 layers , 80 mm weld bead length

-Time between layers : 30 s

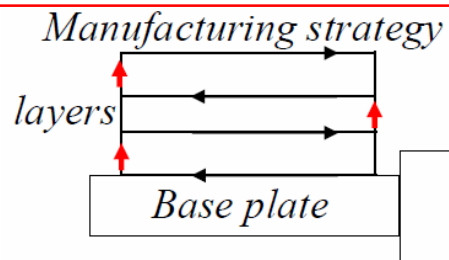
-Z-incrementation layers : 2.5 mm

File **waam1_formation.dgibi** :Definition of the manufacturing sequence – call to **SOUUSAGE** procedure

```

181  tsol.vitesse_de_fil          = vfil2 ;
182  tsol.point_de_depart        = (0 els2 dz1) ;
183  tsol.largeur_de_passe       = e1 ;
184
185  opti donn 5 ;
186
187  * Définition de la sequence de soudage :
188  * Repetition sequence de 2 passes en AR :
189  soudage tsol point dtini1 puis Qtot1 debi 0 ;
190  repe b1 nbl ;
191    si (&b1 ega 1) ;
192      soudage tsol passe droi (lw1 0 0) puis Qtot1 debi debil ;
193    sino ;
194      soudage tsol passe droi (lw1 0 0) ;
195    fins ;
196      soudage tsol depla couche pause delail ;
197      soudage tsol passe droi ((-1.*lw1) 0 0) ;
198      soudage tsol depla couche pause delail ;
199  fin b1 ;
200

```



- 10 layers , 80 mm weld bead length

-Time between layers : 30 s

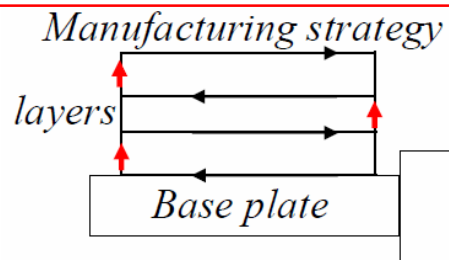
-Z-incrementation layers : 2.5 mm

File **waam1_formation.dgibi** :Definition of the manufacturing sequence – Call **SOUUSAGE** procedure

```

181  tsol.vitesse_de_fil      = vfil2 ;
182  tsol.point_de_depart    = (0 els2 dz1) ;
183  tsol.largeur_de_passe   = e1 ;
184
185  opti donn 5 ;
186
187  * Définition de la sequence de soudage :
188  * Repetition sequence de 2 passes en AR :
189  soudage tsol point dtini1 puis Qtot1 debi 0 ;
190  repe b1 nb1 ;
191  si (&b1 ega 1) ;
192  soudage tsol passe droi (lw1 0 0) puis Qtot1 debi debil ;
193  sino ;
194  soudage tsol passe droi (lw1 0 0) ;
195  fins ;
196  soudage tsol depla couche pause delai1 ;
197  soudage tsol passe droi ((-1.*lw1) 0 0) ;
198  soudage tsol depla couche pause delai1 ;
199  fin b1 ;
200  soudage tsol point 90. puis 0. debi 0. ;
201

```



- 10 layers , 80 mm weld bead length

-Time between layers : 30 s

-Z-incrementation layers : 2.5 mm

Continuation of `waam1_formation.dgibi`

Type :

`opti donn 3 ;`

Program continues,
then stops again on:

`OPTI DONN 5 ;`

```

$ * tso1.puissance_de_soudage = Qtot2 ;
$ * tso1.diametre_de_fil      = dfil1 ;
$ * tso1.vitesse_de_fil      = vfil2 ;
$ * tso1.point_de_depart     = (0 e1s2 dz1) ;
$ * tso1.largeur_de_passe    = e1 ;
$ *
$ *
$ * opti donn 5 ;
$ opti donn 3 ;
$ * opti donn 3 ;
$ *
$ * * Définition de la sequence de soudage :
$ * * Repetition sequence de 2 passes en AR :
$ * si (nbpass1 mult 2) ;
$ *   nb1      = nbpass1 / 2 ;
$ * sino ;
$ *   nb1      = (nbpass1 - 1) / 2 ;
$ * fins ;
$ * soudage tso1 point dtini1 puis Qtot1 debi 0. ;
$ * repe b1 nb1 ;
$ *   si (&b1 ega 1) ;
$ *     soudage tso1 passe droi (lw1 0 0) puis Qtot1 debi debi1 ;
$ *   sino ;
$ *     soudage tso1 passe droi (lw1 0 0) ;
$ *   fins ;
$ * soudage tso1 depla couche pause delai1 ;
$ * soudage tso1 passe droi ((-1.*lw1) 0 0) ;
$ * soudage tso1 depla couche pause delai1 ;
$ * fin b1 ;
$ * si ((nbpass1-1) mult 2) ;
$ *   soudage tso1 passe droi (lw1 0 0) ;
$ * fins ;
$ * soudage tso1 point 90. puis 0. debi 0. ;
$ *
$ *
$ * si ig1 ;
$ *   trac tso1.trajectoire          titr 'trajectoire depot WAAM mur' ;
$ *   dess tso1.evolution_deplacement titr 'evolution deplacement depot WAAM mur' ;
$ *   dess tso1.evolution_puissance  titr 'evolution puissance thermique depot WAAM mur' ;
$ *   dess tso1.evolution_debit      titr 'evolution debit apport de matiere depot WAAM mur' ;
$ * fins ;
$ *
$ *
$ * opti donn 5 ;
$

```

Procedure **WAAM**

To mesh a manufacturing sequence defined with the SOUDAGE procedure.

Syntax, option 'MAIL':

```
TAB2 = WAAM TAB1 'MAIL' 'PAS' | FLOT1 | ('LARG' FLOT2) | ('DENS FLOT3) | ('TEMP' (FLOT4));  
                | LRE1 | | (N1) |
```

Inputs:

- **TAB1** : TABLE type object, manufacturing sequence defined with the SOUDAGE procedure
- **FLOT1** : FLOTTANT type object, space discretization step of material deposition.
- FLOT2 : FLOTTANT type object, welding pass width (if TAB1.LARGEUR_DE_PASSE not defined)
- FLOT3 : FLOTTANT type object, mesh density (~finite element side length)
- N1 : ENTIER type object, number of finite element by space discretization step (1 by default)
- FLOT4 : FLOTTANT type object, time discretization step for transient thermal analysis.
By default, $(1/\pi)$ of travel time of the first step of material deposition.

Procedure **WAAM**

To mesh a manufacturing sequence defined with the SOUDAGE procedure.

Syntax, option 'MAIL':

```
TAB2 = WAAM TAB1 'MAIL' 'PAS' | FLOT1 | ('LARG' FLOT2) | ('DENS FLOT3) | ('TEMP' (FLOT4));
      | LRE1 | | (N1) |
```

Outputs:

- TAB2 . **MAILLAGE** : MAILLAGE type object, mesh of the manufacturing
- TAB2 . **EVOLUTION_MAILLAGE** : TABLE type object, it has 2 sub-index:
 - . **TEMPS** : TABLE type object, contains the instants of “mesh deposition” (FLOTTANT type objects), indexed by integers ranging from 0 to N.
 - . **MAILLAGE** : TABLE type object, contains the meshes of the manufacturing (MAILLAGE type objects) at the corresponding instants and indices (0 to N).
- TAB2 . **TEMPS_CALCULES** : LISTREEL type object, list of time steps given by TEMP option.

File **waam1_formation.dgibi** :
 Meshing the manufacturing sequence –
 Call **WAAM procedure**

Type:

opti donn 3 ;

Program continues,
 then stops again on:

OPTI DONN 5 ;

```

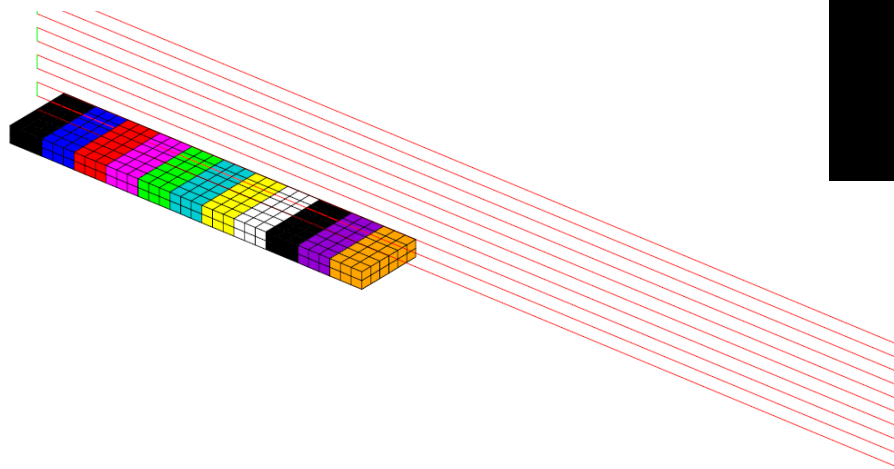
217  opti donn 5 ;
218
219  * Maillage du Mur :
220  tab2      = waam tso1 mail pas xp1 dens 1.e-3 'TEMP' 0.2 ;
221  elim tab2.maillage 1.e-5 ;
222  mur1      = tab2.maillage coul vert ;
223
224  si ig1 ;
225      trac cach mur1 titr ' Maillage global du mur' ;
226      tmail      = tab2.evolution_maillage.maillage ;
227      waam tab2 visu cach ((tso1.trajectoire) plus (0 0 1.e-5)) ;
228  fins ;
229
230  opti donn 5 ;
  
```

```

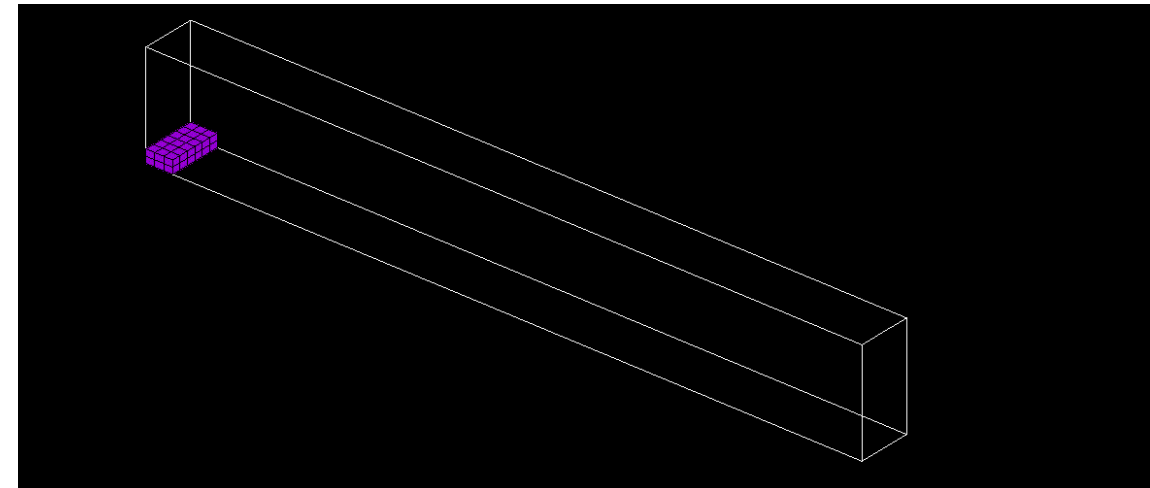
$ * opti donn 5 ;
$ opti donn 3 ;
$ * opti donn 3 ;
$ *
$ *
$ * * Maillage du Mur :
$ * tab2      = waam tso1 mail pas xp1 dens 1.e-3 'TEMP' 0.2 ;
***** WAMM : maillage de la passe :1
***** WAMM : hauteur de la passe :1 = 2.01062E-03
***** WAMM : maillage de la passe :2
***** WAMM : hauteur de la passe :2 = 1.57080E-03
***** WAMM : maillage de la passe :3
***** WAMM : hauteur de la passe :3 = 1.57080E-03
***** WAMM : maillage de la passe :4
***** WAMM : hauteur de la passe :4 = 1.57080E-03
***** WAMM : maillage de la passe :5
***** WAMM : hauteur de la passe :5 = 1.57080E-03
***** WAMM : maillage de la passe :6
***** WAMM : hauteur de la passe :6 = 1.57080E-03
***** WAMM : maillage de la passe :7
***** WAMM : hauteur de la passe :7 = 1.57080E-03
***** WAMM : maillage de la passe :8
***** WAMM : hauteur de la passe :8 = 1.57080E-03
***** WAMM : maillage de la passe :9
***** WAMM : hauteur de la passe :9 = 1.57080E-03
***** WAMM : maillage de la passe :10
***** WAMM : hauteur de la passe :10 = 1.57080E-03
$ * elim tab2.maillage 1.e-5 ;
Nombre de noeuds elimines 5166
$ * mur1      = tab2.maillage coul vert ;
$ *
$ *
$ * si ig1 ;
$ *      trac cach mur1 titr ' Maillage global du mur' ;
$ *      tmail      = tab2.evolution_maillage.maillage ;
$ *      waam tab2 visu cach ((tso1.trajectoire) plus (0 0 1.e-5)) ;
$ * fins ;
$ *
$ *
$ * opti donn 5 ;
$
  
```

File **waam1_formation.dgibi** :Meshing the manufacturing sequence – Call **WAAM** procedure

```
217 opti donn 5 ;
218
219 * Maillage du Mur :
220 tab2      = waam tsol mail pas xpl dens 1.e-3 'TEMP' 0.2 ;
221 elim tab2.maillage 1.e-5 ;
222 mur1      = tab2.maillage coul vert ;
223
224 si ig1 ;
225   trac cach mur1 titr ' Maillage global du mur' ;
226   tmail    = tab2.evolution_maillage.maillage ;
227   waam tab2 visu cach ((tsol.trajectoire) plus (0 0 1.e-5)) ;
228 fins ;
229
230 opti donn 5 ;
```



Material deposition mesh sequencing
Material deposition discretization step ~ 3 mm



Continuation of `waam1_formation.dgibi`

Type:

`opti donn 3 ;`Program continues,
then stops again on:`OPTI DONN 5 ;`

```

$ * * Maillage du support sous-jacent :
$ * ne1 = 5 ;
$ * me1 = -1. * e1 ;
$ * mdz1 = -1. * dz1 ;
$ * zmin1 = (mur1 coor 3) mini ;
$ * pz0 = (mur1 coor 3) poin infe (zmin1 + 1.e-5) ;
$ * sz0 = (enve mur1) elem appu stri pz0 ;
$ * sup1 = sz0 volu tran ne1 (0 0 me1) ;
$ *
$ * xmin1 = (sup1 coor 1) mini ;
$ * px0 = (sup1 coor 1) poin infe (xmin1 + 1.e-5) ;
$ * px1 = (sup1 coor 1) poin supe (xmin1 + lw1 - 1.e-5) ;
$ * sx0 = (enve sup1) elem appu stri px0 ;
$ * sx1 = (enve sup1) elem appu stri px1 ;
$ * sup1 = sup1 et (sx0 volu tran ne1 (me1 0 0)) et (sx1 volu tran ne1 (e1 0 0)) ;
$ * sup1 = sup1 coul gris ;
$ *
$ * dx1 = (ls1 - lw1) * 0.5 - e1 ;
$ * me1 = -1. * e1 ;
$ * xmin2 = xmin1 + me1 ;
$ * zmin2 = zmin1 + me1 ;
$ * p1 = sup1 poin proc (xmin2 0 zmin1) ;
$ * p2 = sup1 poin proc (xmin2 0 zmin2) ;
$ * p3 = sup1 poin proc ((xmin1 + lw1 + e1) 0 zmin2) ;
$ * p4 = sup1 poin proc ((xmin1 + lw1 + e1) 0 zmin1) ;
$ * p5 = p4 plus (dx1 0 0) ;
$ * p6 = p5 moin (0 0 hs1) ;
$ * p7 = p6 moin (ls1 0 0) ;
$ * p8 = p7 plus (0 0 hs1) ;
$ * de1 = 0.5 * e1 ;
$ * de2 = 6.2e-3 ;
$ * cs2 = (p5 droi p6 dini de1 dfin de2) et
$ * (p6 droi p7 dini de2 dfin de2) et
$ * (p7 droi p8 dini de2 dfin de1) et
$ * (p8 droi p1 dini de1 dfin de1) et
$ * (p1 droi p2 dini de1 dfin de1) et
$ * (p2 droi p3 dini de1 dfin de1) et
$ * (p3 droi p4 dini de1 dfin de1) et
$ * (p4 droi p5 dini de1 dfin de1) ;
$ * fs2 = surf cs2 plan ;
$ * sup2 = fs2 volu tran (0 e1 0) 2 ;
$ * sup2 = sup2 coul turq ;
$ *
$ * sup0 = sup1 et sup2 ;
$ *
$ * mail1 = sup0 et mur1 ;
$ * si ig1 ;
$ * mot1 = chai 'Maillage total "Mur WAAM" et support :' (nbno mail1) ;
$ * mot1 = chai mot1 ' /' (nbel mail1) ' noeuds/elem.' ;
$ * trac face mail1 titr mot1 ;
$ * fins ;
$ *
$ *
$ * opti donn 5 ;
$

```

Continuation of `waam1_formation.dgibi`

Type:

`opti donn 3 ;`Program continues,
then stops again on:`OPTI DONN 5 ;`

```

$$$ * zmin2 = zmin1 + me1 ;
$$$ * p1 = sup1 poin proc (xmin2 0 zmin1) ;
$$$ * p2 = sup1 poin proc (xmin2 0 zmin2) ;
$$$ * p3 = sup1 poin proc ((xmin1 + lw1 + e1) 0 zmin2) ;
$$$ * p4 = sup1 poin proc ((xmin1 + lw1 + e1) 0 zmin1) ;
$$$ * p5 = p4 plus (dx1 0 0) ;
$$$ * p6 = p5 moin (0 0 hs1) ;
$$$ * p7 = p6 moin (ls1 0 0) ;
$$$ * p8 = p7 plus (0 0 hs1) ;
$$$ * de1 = 0.5 * e1 ;
$$$ * de2 = 6.2e-3 ;
$$$ * cs2 = (p5 droi p6 dini de1 dfin de2) et
$$$ * (p6 droi p7 dini de2 dfin de2) et
$$$ * (p7 droi p8 dini de2 dfin de1) et
$$$ * (p8 droi p1 dini de1 dfin de1) et
$$$ * (p1 droi p2 dini de1 dfin de1) et
$$$ * (p2 droi p3 dini de1 dfin de1) et
$$$ * (p3 droi p4 dini de1 dfin de1) et
$$$ * (p4 droi p5 dini de1 dfin de1) ;
$$$ * fs2 = surf cs2 plan ;
$$$ * sup2 = fs2 volu tran (0 e1 0) 2 ;
$$$ * sup2 = sup2 coul turq ;
$$$ *
$$$ * sup0 = sup1 et sup2 ;
$$$ *
$$$ * mail1 = sup0 et mur1 ;
$$$ * si ig1 ;
$$$ * mot1 = chai 'Maillage total "Mur WAAM" et support :' (nbno mail1) ;
$$$ * mot1 = chai mot1 '/' (nbel mail1) 'noeuds/elem.' ;
$$$ * trac face mail1 titr mot1 ;
$$$ * fins ;
$$$ *
$$$ *
$$$ * opti donn 5 ;
$$$ opti donn 3 ;
$$$ * opti donn 3 ;
$$$ *
$$$ * *----- Accrochage DDL thermique maillage support -----*
$$$ * clt1 = sup1 rela accro sup2 (mots 'T') ;
$$$ Nombre de points accroches 710 sur 3864 proposes
$$$ * clt2 = (TC1 et TC2 et TC3 et TC4) rela accro sup0 (mots 'T') ;
$$$ Nombre de points accroches 4 sur 4 proposes
$$$ *
$$$ * * Surface interface maillages support non-conformes :
$$$ * pinte1 = clt1 extr mail nomu ;
$$$ * sinte1 = (enve sup0) elem appu stri pinte1 ;
$$$ *
$$$ * *----- Modele / Caracteristique -----*
$$$ *
$$$ * * Conduction / Convection :
$$$ * mod1 = mode mail1 thermique ;
$$$ * mat1 = mate mod1 rho rho1 k k1 'C' cp1 'TINI' Tini1 ;
$$$ *
$$$ * opti donn 5 ;
$$$

```


Gaussian heat source model

Syntax :

```
MOD1 = MODE GEO1 THERMIQUE SOURCE GAUSSIENNE ISOTROPE ;
MAT1 = MATE MOD1 'QTOT' PTH1 'ORIG' P1 'RGAU' RG1 ;
```

Heat source volume distribution : $q(\vec{x}) = q_0 e^{-2 \frac{(x-x_{P1})^2 + (y-y_{P1})^2 + (z-z_{P1})^2}{RG1^2}}$

With: $q_0 = \frac{2^{5/2} PTH1}{\pi^{3/2} RG1^3}$, one has: $PTH1 = \iiint_{z \leq z_{P1}} q(\vec{x}) dV$

Heat source time displacement

Point P1 moves along the trajectory → time evolution of its curvilinear abscissa along the trajectory
 PTH1 varies also over time (welding stops and starts) → time evolution of the thermal power

```
299
300  opti donn 5 ;
301
302  * Source thermique :
303  evqt1   = tsol.evolution_puissance ;
304  evxs1   = tsol.evolution_deplacement ;
305  chxs1   = tsol.trajectoire coor curv ;
306  cgxs1   = char traj chxs1 evxs1 ;
307  mod3    = mode maill thermique source gaussienne ;
308  mat3    = mate mod3 qtot evqt1 orig cgxs1 rgau Rg1 ;
309
310  opti donn 5 ;
```

Continuation of **waam1_formation.dgibi**

Type:

opti donn 3 ;

Program continues,
then stops again on:

OPTI DONN 5 ;

```

$ * (p4 droi p5 dini de1 dfin de1) ;
$ * fs2 = surf cs2 plan ;
$ * sup2 = fs2 volu tran (0 e1 0) 2 ;
$ * sup2 = sup2 coul turq ;
$ *
$ * sup0 = sup1 et sup2 ;
$ *
$ * mail1 = sup0 et mur1 ;
$ * si ig1 ;
$ * mot1 = chai 'Maillage total "Mur WAAM" et support : ' (nbno mail1) ;
$ * mot1 = chai mot1 ' / ' (nbel mail1) ' noeuds/elem.' ;
$ * trac face mail1 titr mot1 ;
$ * fins ;
$ *
$ * opti donn 5 ;
$ opti donn 3 ;
$ * opti donn 3 ;
$ *
$ *----- Accrochage DDL thermique maillage support -----*
$ * clt1 = sup1 rela accro sup2 (mots 'T') ;
$ Nombre de points accroches 710 sur 3864 proposes
$ * clt2 = (TC1 et TC2 et TC3 et TC4) rela accro sup0 (mots 'T') ;
$ Nombre de points accroches 4 sur 4 proposes
$ *
$ * * Surface interface maillages support non-conformes :
$ * pinte1 = clt1 extr mail nomu ;
$ * sinte1 = (enve sup0) elem appu stri pinte1 ;
$ *
$ *----- Modele / Caracteristique -----*
$ *
$ * * Conduction / Convection :
$ * mod1 = mode mail1 thermique ;
$ * mat1 = mate mod1 rho rho1 k k1 'C' cp1 'TINI' Tini1 ;
$ *
$ * opti donn 5 ;
$ opti donn 3 ;
$ * opti donn 3 ;
$ *
$ * * Source thermique :
$ * evqt1 = tso1.evolution_puissance ;
$ * evxs1 = tso1.evolution_deplacement ;
$ * chxs1 = tso1.trajectoire_coor_curv ;
$ * cgxs1 = char traj chxs1 evxs1 ;
$ * mod3 = mode mail1 thermique source gaussienne ;
$ * mat3 = mate mod3 qtot evqt1 orig cgxs1 rgau Rg1 ;
$ *
$ *
$ * opti donn 5 ;
$

```

Material deposition modeling – Definition of **CHARGEMENT** of models and materials

Reminder : concepts of MODELE et MATERIAL in Cast3M

MOD1 = **MODE** GEO1 **THERMIQUE CONDUCTION** **CONS '316L'** ; → defines a thermal model over GEO1

MAT1 = **MATE** MOD1 **RHO** RHO1 **K** K1 **C** CP1 ; → defines the material characteristics of MOD1

Material deposition

GEO1 evolves over time → MOD1 is discretized as GEO1 (mesh sequence)

TTPS1 = TAB2.EVOLUTION_MALLAGE.TEMPS ;

TMAI1 = TAB2.EVOLUTION_MALLAGE.MALLAGE ;

NB1 = **DIME** TMAI1 ;

TMOD1 = **TABLE** ;

TMAT1 = **TABLE** ;

→ **I1** = 0 ;

REPE B1 NB1 ;

TMOD1 . I1 = **REDU** MOD1 (TMAI1 . I1) ;

TMAT1 . I1 = **REDU** MAT1 (TMOD1 . I1) ;

I1 = I1 + 1 ;

FIN B1 ;

} with MOD1 et MAT1 defined on the final geometry

Definition de **CHARGEMENT** of **MODE** and **MATE**

CGMOD1 = **CHAR** **MODE** TTPS1 TTMOD1 ; → defines a MODE CHARGEMENT that describes the time evolution of the model

CGMAT1 = **CHAR** **MATE** TTPS1 TTMAT1 ; → idem for material characteristics

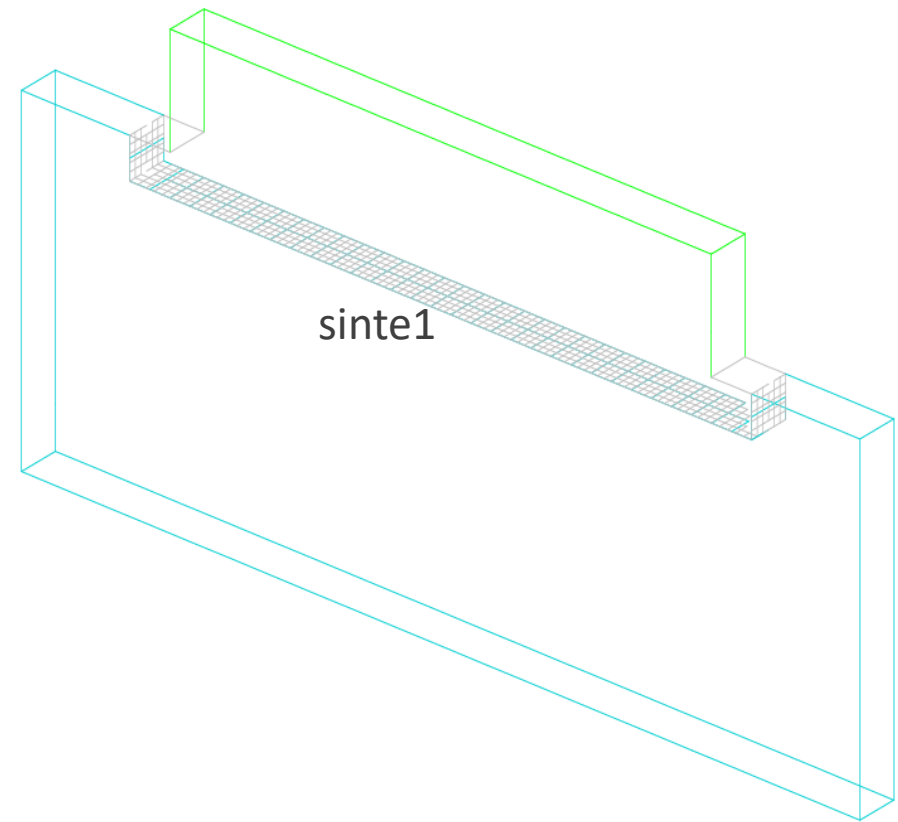
MOD(t1) = **TIRE** CGMOD1 **MODE** t1 ; → supplies the model MOD(t1) to use at time t1 (idem with CGMAT1)

File **waam1_formation.dgibi** : model and material characteristics sequencing

```

309
310 opti donn 5 ;
311
312 * Tables d'evolution des modeles et caracteristiques :
313 ttps1 = tab2.evolution_maillage.temps ;
314 tmail = tab2.evolution_maillage.maillage ;
315 nb1 = dime ttps1 ;
316 tmod1 = table ;
317 tmod2 = table ;
318 tmod3 = table ;
319 tmat1 = table ;
320 tmat2 = table ;
321 tmat3 = table ;
322 repe b1 nb1 ;
323   geoil = tmail . (&b1 - 1) ;
324   geoil = geoil et sup0 ;
325   tmod1 . (&b1 - 1) = redu mod1 geoil ;
326   tmat1 . (&b1 - 1) = redu mat1 (tmod1 . (&b1 - 1)) ;
327   sconv1 = (enve geoil) diff sintel ;
328   tmod2 . (&b1 - 1) = mode sconv1 thermique convection ;
329   tmat2 . (&b1 - 1) = mate (tmod2 . (&b1 - 1)) 'H' h1 'TC' Te1 ;
330   tmod3 . (&b1 - 1) = redu mod3 geoil ;
331   tmat3 . (&b1 - 1) = redu mat3 (tmod3 . (&b1 - 1)) ;
332 fin b1 ;
333
334 * Chargements MODE / MATE :
335 cgmod1 = char mode ttps1 tmod1 ;
336 cgmod2 = char mode ttps1 tmod2 ;
337 cgmod3 = char mode ttps1 tmod3 ;
338 cgmod0 = cgmod1 et cgmod2 et cgmod3 ;
339
340 cgmat1 = char mate ttps1 tmat1 ;
341 cgmat2 = char mate ttps1 tmat2 ;
342 cgmat3 = char mate ttps1 tmat3 ;
343 cgmat0 = cgmat1 et cgmat2 et cgmat3 ;
344
345 cg0 = cgmod0 et cgmat0 ;
346
347 opti donn 5 ;
348

```



Continuation of `waam1_formation.dgibi`

Type:

`opti donn 3 ;`Program continues,
then stops again on:`OPTI DONN 5 ;`

```

$ *
$ * opti donn 5 ;
$ opti donn 3 ;
$ * opti donn 3 ;
$ *
$ * * Source thermique :
$ * evqt1 = tso1.evolution_puissance ;
$ * evxs1 = tso1.evolution_deplacement ;
$ * chxs1 = tso1.trajectoire_coor_curv ;
$ * cgxs1 = char_traj chxs1 evxs1 ;
$ * mod3 = mode mail1 thermique source gaussienne ;
$ * mat3 = mate mod3 qtot evqt1 orig cgxs1 rgau Rg1 ;
$ *
$ *
$ * opti donn 5 ;
$ opti donn 3 ;
$ * opti donn 3 ;
$ *
$ * * Tables d'evolution des modeles et caracteristiques :
$ * ttps1 = tab2.evolution_maillage.temps ;
$ * tmai1 = tab2.evolution_maillage.maillage ;
$ * nb1 = dime ttps1 ;
$ * tmod1 = table ;
$ * tmod2 = table ;
$ * tmod3 = table ;
$ * tmat1 = table ;
$ * tmat2 = table ;
$ * tmat3 = table ;
$ *
$ * repe b1 nb1 ;
$ *   geoi1 = tmai1 . (&b1 - 1) ;
$ *   geoi1 = geoi1 et sup0 ;
$ *   tmod1 . (&b1 - 1) = redu mod1 geoi1 ;
$ *   tmat1 . (&b1 - 1) = redu mat1 (tmod1 . (&b1 - 1)) ;
$ *   sconv1 = (enve geoi1) diff sinte1 ;
$ *   tmod2 . (&b1 - 1) = mode sconv1 thermique convection ;
$ *   tmat2 . (&b1 - 1) = mate (tmod2 . (&b1 - 1)) 'H' h1 'TC' Te1 ;
$ *   tmod3 . (&b1 - 1) = redu mod3 geoi1 ;
$ *   tmat3 . (&b1 - 1) = redu mat3 (tmod3 . (&b1 - 1)) ;
$ * fin b1 ;
$ *
$ *
$ * * Chargements MODE / MATE :
$ * cgmod1 = char mode ttps1 tmod1 ;
$ * cgmod2 = char mode ttps1 tmod2 ;
$ * cgmod3 = char mode ttps1 tmod3 ;
$ * cgmod0 = cgmod1 et cgmod2 et cgmod3 ;
$ *
$ *
$ * cgm1 = char mate ttps1 tmat1 ;
$ * cgm2 = char mate ttps1 tmat2 ;
$ * cgm3 = char mate ttps1 tmat3 ;
$ * cgm0 = cgm1 et cgm2 et cgm3 ;
$ *
$ *
$ * cg0 = cgmod0 et cgm0 ;
$ *
$ *
$ * opti donn 5 ;
$

```

CHARGEMENT of type **MODE** et **MATE** : how to use with **PASAPAS**?

In input: add the CHARGEMENT **MODE** and **MATE** to PASAPAS table

```
TPAS1                = TABLE ;
TPAS1 . CHARGEMENT   = CGMOD1 ET CGMAT1 ET ...
TPAS1 . MODELE       = TIRE CGMOD1 MODE t0 ;
TPAS1 . CARACTERISTIQUES = TIRE CGMAT1 MATE t0 ;
...
```

In outputs: new output index TAB1.**MODELES** = models used at the corresponding time steps.

```
MODi1  = TPAS1 . MODELES . i1 ;
SIGi1   = TPAS1 . CONTRAINTES . i1 ;
TRAC SIGi1 MODi1 ;
```

To get the mesh belonging on the model:

```
GEOi1   = EXTR MODi1 MAIL ;
DEPi1   = TPAS1 . DEPLACEMENTS . i1 ;
TRAC DEPi1 GEOi1
```

Remark:

With a thermal model concatenating conduction + convection + ... → GEOi1 does not contains only solid elements

```
GEOi1   = (EXTR MODi1 MATE CONDUCTION) EXTR MAIL ;
```

File waam1_formation.dgibi : PASAPAS table

```
345   cg0      = cgmod0 et cgmat0 ;
346
347   opti donn 5 ;
348
349   *----- Resolution PASAPAS -----*
350
351   ltcal    = tab2.temps_calcules ;
352   si (non icomplet) ;
353     ltcal  = ltcal extr (lect 1 pas 1 20) ;
354   fins ;
355
356   tabl                    = table ;
357   tabl.modele             = tire cgmod0 mode 0. ;
358   tabl.caracteristiques  = tire cgmat0 mate 0. ;
359   tabl.chargement         = cg0 ;
360   tabl.blocages_thermiques = clt1 et clt2 ;
361   tabl.temps_calcules     = ltcal ;
362
363   opti donn 5 ;
364
```

Continuation of the file `waam1_formation.dgibi` : RESOLUTION with PASAPAS procedure

Type:

`opti donn 3 ;`

The program continues and resolution starts.

Stop it by pressing: `CTRL + C`

```
Iteration numero :7      Critere relatif : 3.45471E-01
Iteration numero :8      Critere relatif : 3.71939E-01
Iteration numero :9      Critere relatif : 1.48739E-01
Iteration numero :10     Critere relatif : 1.15841E-01
Iteration numero :11     Critere relatif : 2.85492E-02
Iteration numero :12     Critere relatif : 2.06025E-02
Iteration numero :13     Critere relatif : 5.08595E-03
Iteration numero :14     Critere relatif : 3.20557E-03
Iteration numero :15     Critere relatif : 4.18480E-04
Iteration numero :16     Critere relatif : 3.15311E-04
Iteration numero :17     Critere relatif : 8.24818E-05
```

```
---- Calcul du champ de temperature au temps : 4.00000E-01
```

```
Iteration numero :1      Critere relatif : 5.94067E-01
Iteration numero :2      Critere relatif : 5.42600E-01
Iteration numero :3      Critere relatif : 3.20854E-01
Iteration numero :4      Critere relatif : 1.74605E-01
Iteration numero :5      Critere relatif : 1.05806E-02
Iteration numero :6      Critere relatif : 5.73630E-03
Iteration numero :7      Critere relatif : 1.17137E-03
Iteration numero :8      Critere relatif : 6.13354E-04
Iteration numero :9      Critere relatif : 4.88754E-05
```

```
---- Calcul du champ de temperature au temps : 6.00000E-01
```

```
Iteration numero :1      Critere relatif : 4.58302E-01
Iteration numero :2      Critere relatif : 1.96678E-01
Iteration numero :3      Critere relatif : 1.13211E-01
Iteration numero :4      Critere relatif : 5.13994E-02
Iteration numero :5      Critere relatif : 9.22092E-03
Iteration numero :6      Critere relatif : 4.41103E-03
Iteration numero :7      Critere relatif : 9.21355E-04
Iteration numero :8      Critere relatif : 4.65955E-04
Iteration numero :9      Critere relatif : 3.48141E-05
```

```
---- Calcul du champ de temperature au temps : 8.00000E-01
```

```
***** ERREUR 623 ***** dans l'operateur RESO
operation interrompue par l'utilisateur
La lecture des donnees continue sur le terminal
Instruction numero 52 executee au moment de l'erreur :
DU1 = RESO AA MAT_CHPO
Elle est dans la procedure TRANSNON dont l'appel en ligne 41 est :
CHTER = TRANSNON PRECED
Elle est dans la procedure PASAPAS dont l'appel est :
PASAPAS TAB1
$
```


Continuation of the file **waam1_formation.dgibi** :

Type:

`opti donn 3 ;`

The program restore the saved results from the saved file.

```

364
365 temp zero ;
366
367 pasapas tab1 ;
368
369 opti rest 'waam1.sauv' ;
370 rest ;
371
372 * Affichage temps de calcul :
373 *duree1 = temp horl ;
374 *duree1 = (duree1 / 1000) ;
375 *dmin1 = (duree1 / 60) ;
376 *dsec1 = duree1 - (60 * dmin1) ;
377 *mot1 = chai '***** DUREE DU CALCUL (s) : ' dmin1 ' min' dsec1 ' s' ;
378 mess mot1 ;
379
380 *opti sauv 'waam1.sauv' ;
381 *sauv ;
382
383 opti donn 5 ;
384

```

```

Elle est dans la procedure PASAPAS dont l'appel est :
PASAPAS TAB1
$ opti donn 3 ;
* opti donn 3 ;
$ *
$ * opti rest 'waam1.sauv' ;
Le fichier de restitution est de type XDR
$ * rest ;

```

```

NIVEAU DU FICHER 23
TAILLE DES COMPOSANTES 8

```

```

NIVEAU D'ERREUR 0 DIMENSION 3 DENSITE 0.00000E+00
LECTURE DE 1432 OBJETS MAILLAGE
LECTURE DE 1815 OBJETS CHPOINT
LECTURE DE 7 OBJETS RIGIDITE
LECTURE DE 35 OBJETS TABLE
LECTURE DE 27 OBJETS IMATRI
LECTURE DE 55 OBJETS LISTREEL
LECTURE DE 10 OBJETS CHARGEME
LECTURE DE 26 OBJETS EVOLUTIO
LECTURE DE 2 OBJETS LOGIQUE
LECTURE DE 1229 OBJETS FLOTTANT
LECTURE DE 8 OBJETS ENTIER
LECTURE DE 414 OBJETS MOT
LECTURE DE 4 OBJETS LISTMOTS
LECTURE DE 17165 OBJETS POINT
LECTURE DE 1 OBJETS CONFIGUR
LECTURE DE 1722 OBJETS MMODEL
LECTURE DE 820 OBJETS MCHAML
LECTURE DE 4 OBJETS MINTE
LECTURE DE 1 OBJETS NUAGE
LECTURE DE 2774 OBJETS IELVAL

```

```

FIN DE LECTURE DU LABEL :
LABEL_AUTOMATIQUE_1

```

Fin normale de la restitution

```

$ *
$ * * Affichage temps de calcul :
$ * *duree1 = temp horl ;
$ * *duree1 = (duree1 / 1000) ;
$ * *dmin1 = (duree1 / 60) ;
$ * *dsec1 = duree1 - (60 * dmin1) ;
$ * *mot1 = chai '***** DUREE DU CALCUL (s) : ' dmin1 ' min' dsec1 ' s' ;
$ * mess mot1 ;
$ * ***** DUREE DU CALCUL (s) :22 min55 s
$ *
$ * *opti sauv 'waam1.sauv' ;
$ * *sauv ;
$ *
$ * opti donn 5 ;
$

```

Continuation of the file **waam1_formation.dgibi** :

Remarks on the executed code (save / restore).

waam1_formation.dgibi

waam1.dgibi

```

364
365 temp zero ;
366
367 pasapas tabl ; CTRL + C, then: "opti donn 3 ;"
368
369 opti rest 'waam1.sauv' ;
370 rest ;
371
372 * Affichage temps de calcul :
373 *dureel = temp horl ;
374 *dureel = (dureel / 1000) ;
375 *dmin1 = (dureel / 60) ;
376 *dsec1 = dureel - (60 * dmin1) ;
377 *mot1 = chai '***** DUREE DU CALCUL (s) : ' dmin1 ' min' dsec1 ' s' ;
378 mess mot1 ;
379
380 *opti sauv 'waam1.sauv' ;
381 *sauv ;
382
383 opti donn 5 ;
384

```

```

364
365 temp zero ;
366
367 pasapas tabl ;
368
369 * Affichage temps de calcul :
370 dureel = temp horl ;
371 dureel = (dureel / 1000) ;
372 dmin1 = (dureel / 60) ;
373 dsec1 = dureel - (60 * dmin1) ;
374 mot1 = chai '***** DUREE DU CALCUL (s) : ' dmin1 ' min' dsec1 ' s' ;
375 mess mot1 ;
376
377 opti sauv 'waam1.sauv' ;
378 sauv ;
379
380 opti donn 5 ;
381

```

Procedure **EXPLORER** : post-treatment of the PASAPAS result table

Type:

```
explorer TAB1 ;
```

(temperature visualization)

Quit EXPLORER and type:

```
Trac sup0 cach qual ;
```

Then:

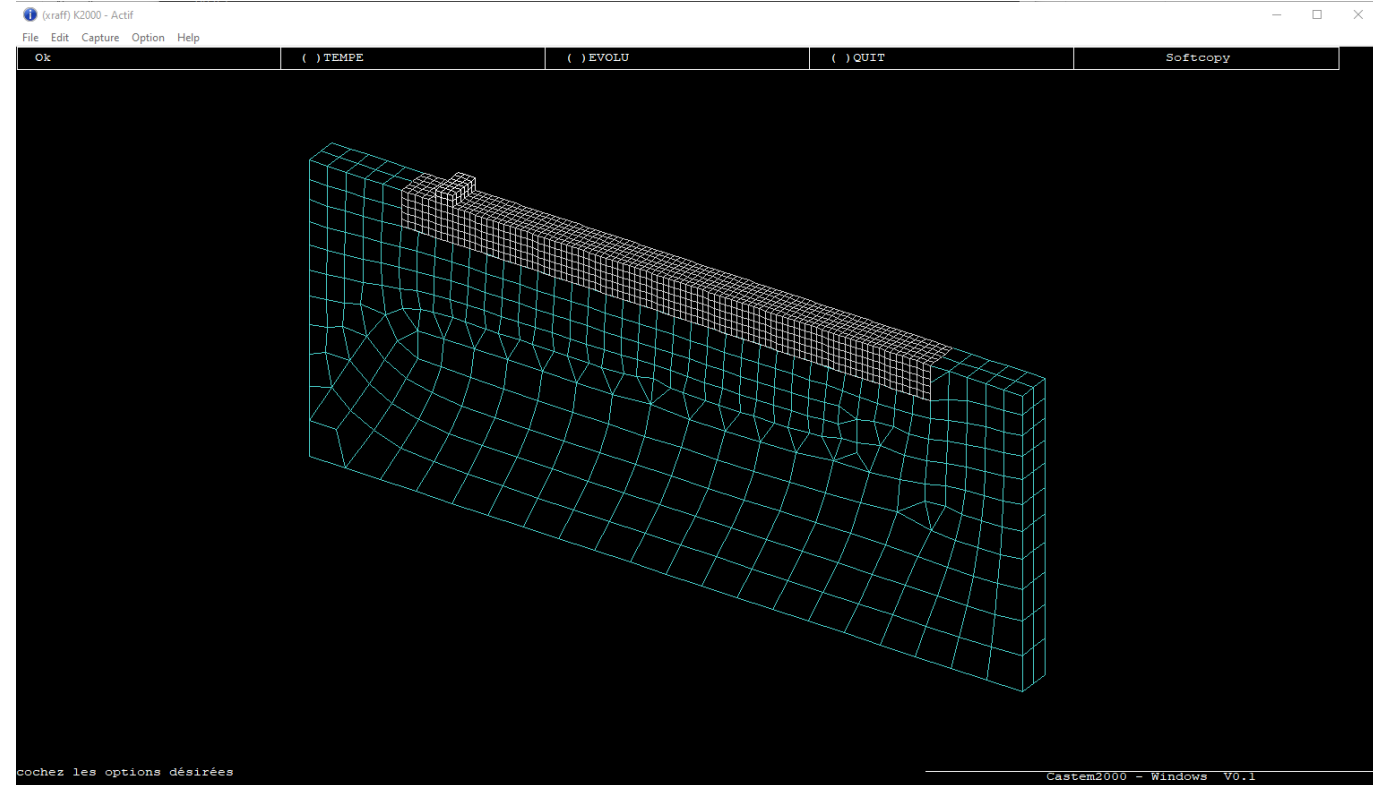
```
Lx1 = (aret sup0) elem comp P1 P4 ;
```

Then, once again:

```
Explorer tab1 ;
```

(space evolution of T along LX1)

(time evolution of T in P1)



Continuation of the file **waam1_formation.dgibi** : temperature measurements post-processing

Time:

opti donn 3 ;

```

406
407 * Evolution temporelle temperature thermocouples :
408 evtc1   = evol bleu temp tab1 temperatures 'T' tc1 ;
409 evtc2   = evol vert temp tab1 temperatures 'T' tc2 ;
410 evtc3   = evol roug temp tab1 temperatures 'T' tc3 ;
411 evtc4   = evol turq temp tab1 temperatures 'T' tc4 ;
412
413 tleg1    = table ;
414 tleg1 . titre = table ;
415 tleg1 . titre . 1 = 'TC1' ;
416 tleg1 . titre . 2 = 'TC2' ;
417 tleg1 . titre . 3 = 'TC3' ;
418 tleg1 . titre . 4 = 'TC4' ;
419 trac qual (0 -10 0) (((mail1 aret) coul defa) et ((tc1 et tc2 et tc3 et tc4) coul roug)) titr 'Position des thermocouples' ;
420 dess (evtc1 et evtc2 et evtc3 et evtc4) titr 'Thermogrammes (degC)' lege tleg1 xbor 0. 600. xgra 100 gril poin ;

```

```

53 * Position thermocouples :
54 * Bord deport WAAM initial en (0 0 0) :
55 TC1 = 40.e-3 0 -3.e-3 ;
56 TC2 = 40.e-3 0 -5.e-3 ;
57 TC3 = 0.e-3 0 -25.e-3 ;
58 TC4 = 80.e-3 0 -10.e-3 ;
59

```

```

286 *----- Accrochage DDL thermique maillage support -----*
287 clt1   = sup1 rela accro sup2 (mots 'T') ;
288 clt2   = (TC1 et TC2 et TC3 et TC4) rela accro sup0 (mots 'T') ;

```

```

355
356 tab1           = table ;
357 tab1.modele    = tire cgmod0 mode 0. ;
358 tab1.caracteristiques = tire cgmat0 mate 0. ;
359 tab1.chargement = cg0 ;
360 tab1.blocages_thermiques = clt1 et clt2 ;
361 tab1.temps_calcules = ltcal ;

```

Continuation of the file **waam1_formation.dgibi** : temperature field charts animation

Type:

`opti donn 3 ;`Click on « **Fin trace** »:

→ A new temperature field is displayed

After a few clicks, press:

CTRL+CThen, « **Fin trace** » to regain control.

Type:

`opti trac PSC ;``ANIM_T ;`

```

386
387 * Animation du champ de temperature :
388 debp anim_T ;
389 if1      = (dime tab1.temps) - 1 ;
390 liso1    = prog 50. 100. PAS 150. 1450. ;
391 vtral    = vale trac ;
392 si (ega vtral 'PSC') ;
393   opti ftra 'Temperature_Waam1_Anim.ps' ;
394 fins ;
395 repe b1 if1 ;
396   modil   = tab1.modeles.(&b1-1) ;
397   maili1  = (extr modil mate conduction) extr mail ;
398   chtil   = tab1.temperatures.(&b1-1) ;
399   mot1    = chai format '(F6.1)' 'Temperature (degC) au temps (s) :' (tab1.temps.(&b1-1)) ;
400   trac chtil maili1 liso1 titr mot1 ;
401 fin b1 ;
402 finp ;
403 anim_T ;
404

```

Type:

`FIN ;`

How to realize an animated GIF file

In the current directory, you should find the file (type « ls » on the command line) :

`Temperature_Waam1_Anim.ps`

To convert this file in an animated GIF file, type:

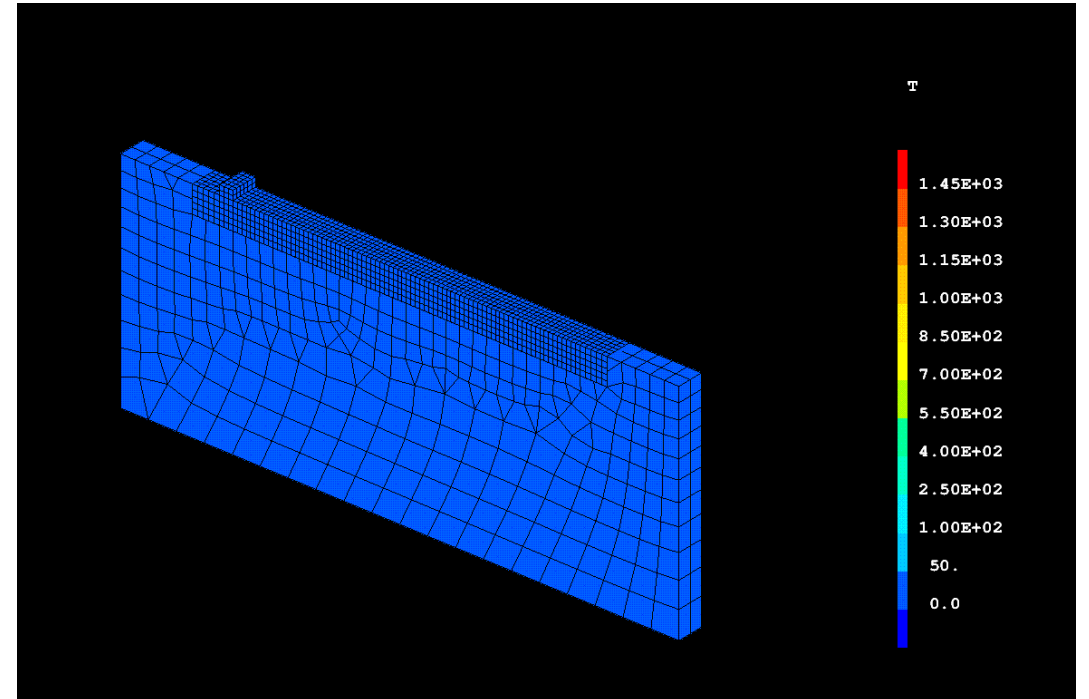
`ps2gif -d 10 Temperature_Waam1_Anim.ps`

After 1 or 2 minutes, you get:

`Temperature_Waam1_Anim.gif`

To display it with Firefox, type:

`firefox Temperature_Waam1_Anim.gif`



WAAM2.DGIBI

Start of the file `waam2_formation.dgibi`

For this training, we only compute the “mechanical part” of `waam2.dgibi`.
So, let us restore the thermal analysis (`waam1.dgibi`) and pursue.

Type:

```
castem22 waam2_formation.dgibi
```

```
$ * *-----*
$ * *
$ * opti rest 'waam1.sauv' ; rest ;
Le fichier de restitution est de type XDR

NIVEAU DU FICHER 23
TAILLE DES COMPOSANTES 8

NIVEAU D'ERREUR 0 DIMENSION 3 DENSITE 0.00000E+00
LECTURE DE 1432 OBJETS MAILLAGE
LECTURE DE 1815 OBJETS CHPOINT
LECTURE DE 7 OBJETS RIGIDITE
LECTURE DE 35 OBJETS TABLE
LECTURE DE 27 OBJETS IMATRI
LECTURE DE 55 OBJETS LISTREEL
LECTURE DE 10 OBJETS CHARGEME
LECTURE DE 26 OBJETS EVOLUTIO
LECTURE DE 2 OBJETS LOGIQUE
LECTURE DE 1229 OBJETS FLOTTANT
LECTURE DE 8 OBJETS ENTIER
LECTURE DE 414 OBJETS MOT
LECTURE DE 4 OBJETS LISTMOTS
LECTURE DE 17165 OBJETS POINT
LECTURE DE 1 OBJETS CONFIGUR
LECTURE DE 1722 OBJETS MMODEL
LECTURE DE 820 OBJETS MCHAML
LECTURE DE 4 OBJETS MINTE
LECTURE DE 1 OBJETS NUAGE
LECTURE DE 2774 OBJETS IELVAL
FIN DE LECTURE DU LABEL :
LABEL_AUTOMATIQUE_1

Fin normale de la restitution
$ *
$ * opti donn 5 ;
$
```


Continuation of the file **waam2_formation.dgibi** : Boundary conditions

Type:

Opti donn 3 ;

```
48 *----- Accrochage DDL mecanique maillage support -----*
49
50 * Relation cinematique DDL mecanique entre maillages non conformes :
51 clu1      = sup1 rela accro sup2 ;
52
53 * Encastrement bord plaque support :
54 ptx0      = (sup0 coor 1) poin infe ((sup0 coor 1 mini) + 1.e-5) ;
55 clu2      = bloq depl ptx0 ;
56
57 si ig1 ;
58   trac cach (-1 -1 0.5) ((ptx0 coul roug) et maill1) titr 'Points encastrement support (rouge)' ;
59 fins ;
60
```

```
* opti donn 3 ;
*
* *----- Accrochage DDL mecanique maillage support -----*
*
* * Relation cinematique DDL mecanique entre maillages non conformes :
* clu1      = sup1 rela accro sup2 ;
Nombre de points accroches 710 sur 3864 proposes
*
* * Encastrement bord plaque support :
* ptx0      = (sup0 coor 1) poin infe ((sup0 coor 1 mini) + 1.e-5) ;
* clu2      = bloq depl ptx0 ;
*
* si ig1 ;
*   trac cach (-1 -1 0.5) ((ptx0 coul roug) et maill1) titr 'Points encastrement support (rouge)' ;
* fins ;
*
* opti donn 5 ;
```

Mechanical model – Option FUSION

Basic model to account for plastic hardening annealing at high temperature

→ reset to zero hardening internal variables of the mechanical behavior law if $T > T_{\text{fusion}}$

Syntax

MOD1 = **MODE** GEO1 MECANIQUE ELASTIQUE PLASTIQUE... **FUSION** ; → model with FUSION option

MAT1 = **MATE** MOD1 YOUN ... **TFUS** TFUS1 ; → value of TFUS

Material deposition modelling

As the thermal model, the time evolution of the mechanical model is sequenced into a table

```

65  * Mecanique :
66  ym1      = t316L.youn ;
67  nul      = 0.3 ;
68  alph1    = t316L.alph ;
69  ecro1    = t316L.ecro ;
70  mod4     = mode maill1 mecanique elastique plastique isotrope fusion cons 316L ;
71  mat4     = mate  mod4 youn ym1 nu nul alph alph1 ecro ecro1 tref tini1 talp tini1 tfus Tfus1 ;
72
73  * Tables d'evolution des modeles et caracteristiques :
74  ttps1    = tab2.evolution_maillage.temps ;
75  tmail    = tab2.evolution_maillage.maillage ;
76  nb1     = dime ttps1 ;
77  tmod4    = table ;
78  tmat4    = table ;
79  repe b1 nb1 ;
80  geoil    = tmail . (&b1 - 1) ;
81  geoil    = geoil et sup0 ;
82  tmod4 . (&b1 - 1) = redu mod4 geoil ;
83  tmat4 . (&b1 - 1) = redu mat4 (tmod4 . (&b1 - 1)) ;
84  fin b1 ;

```

Continuation of the file **waam2_formation.dgibi** : mechanical model definition and sequencing

Type:

Opti donn 3 ;

```
$ * *----- Modele / Caracteristique -----*
$ *
$ * * Mecanique :
$ * ym1      = t316L.youn ;
$ * nu1      = 0.3 ;
$ * alph1    = t316L.alph ;
$ * ecro1    = t316L.ecro ;
$ * mod4     = mode mail1 mecanique elastique plastique isotrope fusion cons 316L ;
$ * mat4     = mate  mod4 youn ym1 nu nu1 alph alph1 ecro ecro1 tref tini1 talp tini1 tfus Tfus1 ;
$ *
$ * * Tables d'evolution des modeles et caracteristiques :
$ * ttps1    = tab2.evolution_maillage.temps ;
$ * tmai1    = tab2.evolution_maillage.maillage ;
$ * nb1     = dime ttps1 ;
$ * tmod4    = table ;
$ * tmat4    = table ;
$ * repe b1 nb1 ;
$ *   geoi1  = tmai1 . (&b1 - 1) ;
$ *   geoi1  = geoi1 et sup0 ;
$ *   tmod4 . (&b1 - 1) = redu mod4 geoi1 ;
$ *   tmat4 . (&b1 - 1) = redu mat4 (tmod4 . (&b1 - 1)) ;
$ * fin b1 ;
$ *
$ * * Chargements MODE / MATE :
$ * cgmod4   = char mode ttps1 tmod4 ;
$ * cgmat4   = char mate ttps1 tmat4 ;
$ *
$ * opti donn 5 ;
$
```

Thermal loading and PASAPAS input table definition

```
92 *----- Resolution Mecanique PASAPAS -----*
93
94 * Chargement thermique :
95 cgt1      = char 'T' (tab1.temps) (tab1.temperatures) ;
96
97 * Table PASAPAS :
98 tab2      = table ;
99 tab2.modele      = tire cgmod4 mode 0. ;
100 tab2.caracteristiques      = tire cgmat4 mate 0. ;
101 tab2.chargement      = cgmod4 et cgmat4 et cgt1 ;
102 tab2.blocages_mecaniques      = clu1 et clu2 ;
103 tab2.temps_calcules      = tab1.temps_calcules ;
104 *tab2.processeurs      = mot comportement ;
105
106 *si icomplet ;
107 * ltca2      = tab2.temps_calcules ;
108 * ntca2      = dime ltca2 ;
109 * tab2.temps_sauvegardes      = ltca2 extr (lect 50 pas 50 (ntca2 / 50 * 50) ntca2) ;
110 * opti sauv 'waam2.sauv' ;
111 * sauv ;
112 *fins ;
113
114 opti donn 5 ;
```

Continuation of the file **waam2_formation.dgibi** : PASAPAS input table definition

Type:

Opti donn 3 ;

```
$ * opti donn 5 ;
$ opti donn 3 ;
$ * opti donn 3 ;
$ *
$ * *----- Resolution Mecanique PASAPAS -----*
$ *
$ * * Chargement thermique :
$ * cgt1      = char 'T' (tab1.temps) (tab1.temperatures) ;
$ *
$ * * Table PASAPAS :
$ * tab2
$ *      = table ;
$ * tab2.modele      = tire cgmod4 mode 0. ;
$ * tab2.caracteristiques = tire cgmat4 mate 0. ;
$ * tab2.chargement  = cgmod4 et cgmat4 et cgt1 ;
$ * tab2.blocages_mecaniques = clu1 et clu2 ;
$ * tab2.temps_calcules = tab1.temps_calcules ;
$ * tab2.processeurs   = mot comportement ;
$ *
$ * *si icomplet ;
$ * * ntca1      = dime ltca1 ;
$ * * tab2.temps_sauvegardes = ltca1 extr (lect 50 pas 50 (ntca1 / 50 * 50) ntca1) ;
$ * * opti sauv 'waam2.sauv' ;
$ * * sauv ;
$ * *fins ;
$ *
$ * opti donn 5 ;
```

Continuation of the file `waam2_formation.dgibi` RESOLUTION with PASAPAS procedure

Type:

Opti donn 3 ;

The program continues,
the resolution starts.

Stop it by pressing: CTRL + C

```

*** Parallelisation du comportement sur8 assistants ***

Numero du pas :1 Indice d evolution :2 -> temps : 2.00000E-01
Taille de la matrice: 2566596 Facteur: 8.6006 Conditionnement: 1162.5 Performance (Gflop/s): 3.7951
Iter Nplas Critere Deps.max Eps.max Crit.flex
 1 692 4.00686E-02 1.30341E-02 1.30341E-02 4.00686E-02
 2 652 1.87121E-02 1.69477E-02 1.69477E-02 1.87121E-02
 3 630 1.25880E-02 1.89040E-02 1.89040E-02 1.25880E-02
 4 600 4.66536E-03 2.16225E-02 2.16225E-02 4.66536E-03
 5 594 3.55102E-03 2.22320E-02 2.22320E-02 3.55102E-03
 6 592 1.61181E-03 2.38621E-02 2.38621E-02 1.61181E-03
 7 592 1.39209E-03 2.41597E-02 2.41597E-02 1.39209E-03
 8 594 5.79973E-04 2.54562E-02 2.54562E-02 5.79973E-04
 9 594 5.14708E-04 2.55501E-02 2.55501E-02 5.14708E-04
10 594 2.21443E-04 2.61340E-02 2.61340E-02 2.21443E-04
11 594 1.80583E-04 2.61577E-02 2.61577E-02 1.80583E-04
12 594 3.40491E-05 2.63220E-02 2.63220E-02 3.40491E-05
13 594 2.96442E-05 2.63265E-02 2.63265E-02 2.96442E-05
***** CONVERGENCE A L ITERATION 13 SOUS-PAS 0

Numero du pas :2 Indice d evolution :3 -> temps : 4.00000E-01
Initialisation a partir de la solution precedente Coeff 4.94942E-01
Iter Nplas Critere Deps.max Eps.max Crit.flex
 1 1008 8.06832E-02 3.95428E-02 5.96865E-02 8.06832E-02
 2 996 2.37123E-02 3.75825E-02 3.72952E-02 2.37123E-02
 3 992 1.14216E-02 3.76568E-02 3.33130E-02 1.14216E-02
 4 952 1.30583E-02 3.75186E-02 3.31749E-02 1.30583E-02
 5 946 4.34926E-03 3.75381E-02 3.31943E-02 4.34926E-03
 6 932 2.45268E-03 3.75660E-02 3.32223E-02 2.45268E-03
 7 930 2.06214E-03 3.75831E-02 3.32393E-02 2.06214E-03
 8 930 7.62514E-04 3.76291E-02 3.32854E-02 7.62514E-04
 9 928 6.81543E-04 3.76317E-02 3.32879E-02 6.81543E-04
10 928 3.23333E-04 3.76534E-02 3.33096E-02 3.23333E-04
11 928 2.82219E-04 3.76558E-02 3.33120E-02 2.82219E-04
12 928 8.88911E-05 3.76668E-02 3.33231E-02 8.88911E-05
13 928 7.72558E-05 3.76664E-02 3.33226E-02 7.72558E-05
***** CONVERGENCE A L ITERATION 13 SOUS-PAS 0

Numero du pas :3 Indice d evolution :4 -> temps : 6.00000E-01
Initialisation a partir de la solution precedente Coeff 5.63897E-01
Iter Nplas Critere Deps.max Eps.max Crit.flex
 1 1220 5.96593E-02 4.20642E-02 3.65297E-02 5.96593E-02
**** ERREUR 623 **** dans l'operateur BSIG
operation interrompue par l'utilisateur
La lecture des donnees continue sur le terminal
Instruction numero 1053 executee au moment de l'erreur :
FEQU2 = BSIG ZMODL ZSIGF ZMAT
Elle est dans la procedure UNPAS dont l'appel en ligne 112 est :
TT = UNPAS PRECED
Elle est dans la procedure PASAPAS dont l'appel est :
PASAPAS TAB2
$

```

Continuation of the file **waam2_formation.dgibi**

Type:

Opti donn 3 ;

The program restores the mechanical results from the saved file.

Procedure **EXPLORER** : post-processing of the PASAPAS result table

Type:

explorer TAB2 ;

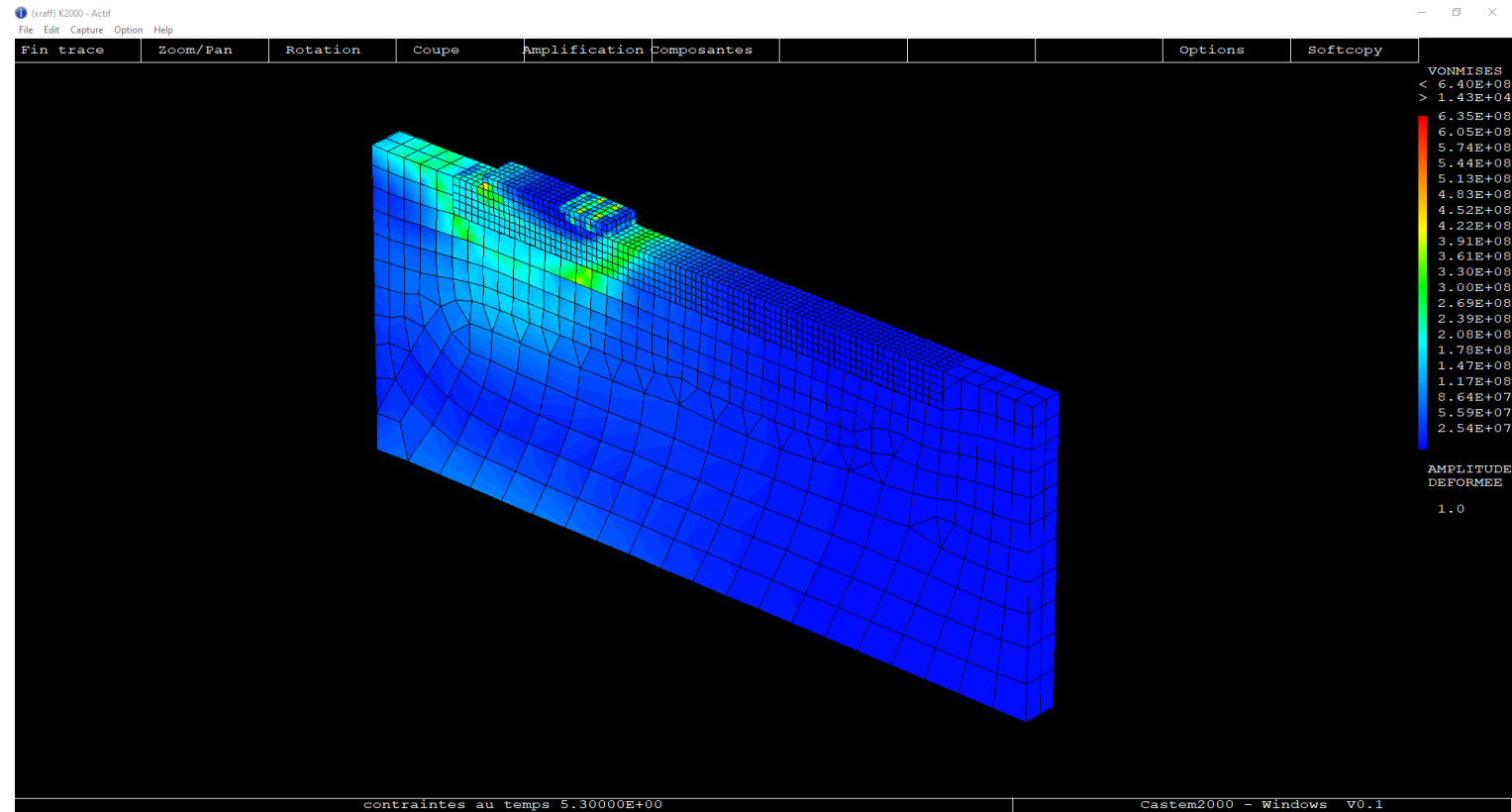
(stress field visualization)

trac cach sup0 qual ;

(time evolution of Uz at point P5)

(time evolution of Rx at point P8)

Quit EXPLORER procedure.



Continuation of the file **waam2_formation.dgibi** : stress field charts animation

Type:

opti donn 3 ;

SIG_ANIM ;

Click on « Fin trace » :

➔ A new frame is displayed.

After a few clicks, press:

CTRL+C

Then, « Fin trace » to regain control.

Type:

opti trac PSC ;

SIG_ANIM 0.5 ;

Type:
FIN ;

```

134 *----- Petit post-traitement -----*
135
136 * Animation contrainte de von Mises :
137
138 debp SIG_ANIM pas1*flottant ;
139 if1      = (dime tab2.temps) - 1 ;
140 tpsf1    = tab2.temps.if1 ;
141 ltps1    = prog 0. pas pas1 tpsf1 ;
142 vtral    = vale trac ;
143 si (ega vtral 'PSC') ;
144   opti ftra 'Contrainte_Waam2_Anim.ps' ;
145 fins ;
146 lisol    = prog 25. pas 25. 350. ;
147 mbox1    = boite murl ;
148 repe b1 (dime ltps1) ;
149   il      = &b1-1 ;
150   tpsil   = extr ltps1 &b1 ;
151   modil   = peche tab2 modeles tpsil ipol ;
152   depil   = peche tab2 déplacements tpsil ipol ;
153   sigil   = peche tab2 contraintes tpsil ipol ;
154   sigil   = 1.e-6 * sigil ;
155   sigil   = vmis modil sigil ;
156   mailil  = modil extr mail ;
157   defoil  = defo mailil depil 1. sigil modil ;
158   mot1    = chai format '(F6.1)' 'Contrainte de von Mises (MPa) au temps (s) :' (tab2.temps.il) ;
159   trac (1 -1.2 1) defoil lisol titr mot1 boit mbox1 ;
160 fin b1 ;
161 finp ;
162

```

To get an animated GIF file

In the current directory, you should find the file (type « ls ») :

Contrainte_Waam2_Anim.ps

To convert this file in an animated GIF file, type:

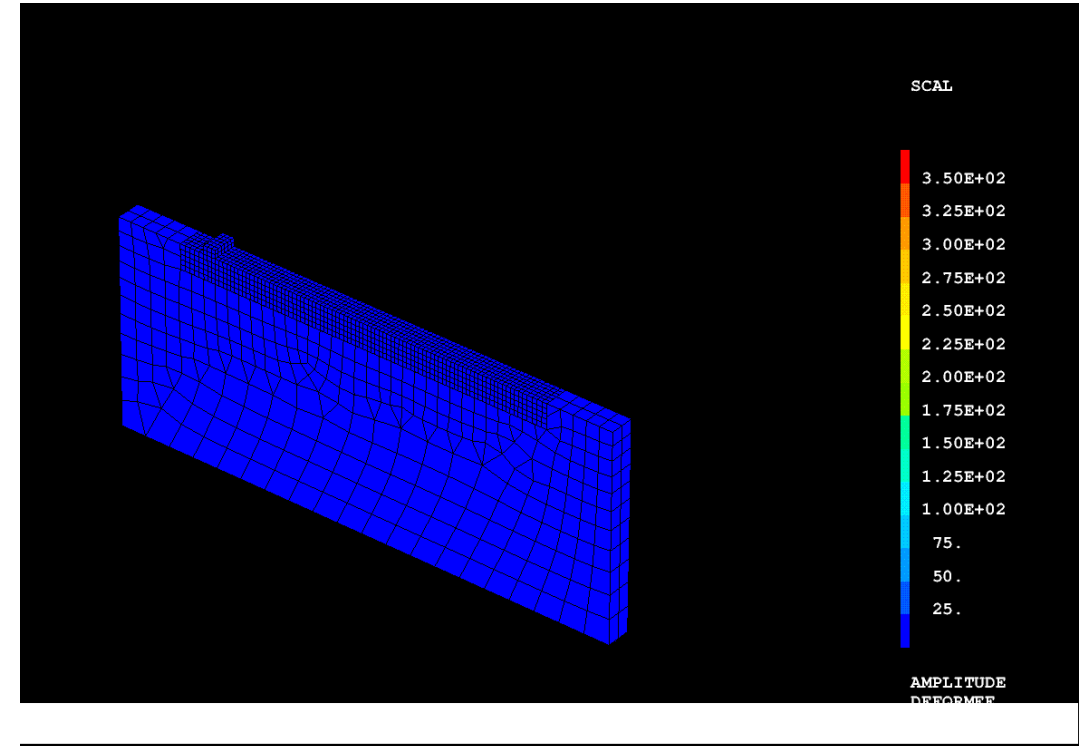
`ps2gif -d 10 Contrainte_Waam2_Anim.ps`

After 1 or 2 minutes, you should get the file:

Contrainte_Waam2_Anim.gif

To display it with Firefox, type:

`firefox Contrainte_Waam2_Anim.gif`



ONGOING DEVELOPMENTS IN CAST3M

Reminders about **Cast3M web site**

Cast3M source and documentation files showed **on the web site** (manual pages, examples, Gibiane procedures, Esope files...) are those of **the version in development**.

Source and documentation files of annual version are supplied with the version.

Cast3M web site is a window on the version in development.
It gives an access to upgrade functionalities of annual versions.

To get manual pages of your annual version, see the embedded documentation.

If you face a bug in an operator or a procedure of your Cast3M version...
Check if a correction exists in the development version, section **anomalies** (then search by key-words).

Demo. : [Anomalies | Cast3M \(cea.fr\)](#)

Sequencing models and material characteristics... : **LISTOBJE** type object

New object **LISTOBJE** : defines a **list of objects** of the same type.

Syntax :

```
LOBJ1 = ENUM OBJ1 OBJ2 ... ;
```

With :

OBJ1, OBJ2... : **objects of the same type**

LOBJ1 : result, LISTOBJE object

Works with **ET** operator:

```
LOBJ3 = LOBJ1 ET LOBJ2 ;
```

LOBJ1 et LOBJ2 list of objects of all the same type.

Or:

```
LOBJ2 = LOBJ1 ET OBJ1 ;
```

OBJ1, **object** of the same type as those contained in LOBJ1.

Sequencing models and material characteristics... LISTOBJE type object

Replace the use of tables.

Also use to define CHARGEMENT:

CGMOD1 = CHAR MODE LTPS1 LMOD1 ;

With : LMOD1, LISTOBJ type object (list of models)

Now used in “WAAM examples” (waam1.dgibi, waam2.dgibi...)

WAAM1.DGIBI

```

284. *----- Modele / Caracteristique -----*
285.
286. * Conduction / Convection :
287. mod1   = mode mail1 thermique ;
288. mat1   = mate mod1 rho rho1 k k1 'C' cp1 'TINI' Tini1 ;
289.
290. * Source thermique :
291. evqt1  = tso1.evolution_puissance ;
292. evxs1  = tso1.evolution_deplacement ;
293. chxs1  = tso1.trajectoire_coor curv ;
294. cgxs1  = char traj chxs1 evxs1 ;
295. mod3   = mode mail1 thermique source gaussienne ;
296. mat3   = mate mod3 qtot evqt1 orig cgxs1 rgau Rg1 ;
297.
298. * Tables d'evolution des modeles et caracteristiques :
299. ttps1  = tab2.evolution_maillage.temps ;
300. tmai1  = tab2.evolution_maillage.maillage ;
301. nb1    = dime ttps1 ;
302. ltps1  = prog ;
303. lmod1  = enum ;
304. lmod2  = enum ;
305. lmod3  = enum ;
306. lmat1  = enum ;
307. lmat2  = enum ;
308. lmat3  = enum ;
309. repe b1 nb1 ;
310. tps1   = ttps1 . (&b1 - 1) ;
311. ltps1  = ltps1 et tps1 ;
312. geoi1  = tmai1 . (&b1 - 1) ;
313. geoi1  = geoi1 et sup0 ;
314. mod11  = redu mod1 geoi1 ;
315. mat11  = redu mat1 mod11 ;
316. lmod1  = lmod1 et mod11 ;
317. lmat1  = lmat1 et mat11 ;
318. sconv1 = (enve geoi1) diff sintel ;
319. mod12  = mode sconv1 thermique convection ;
320. mat12  = mate mod12 'H' h1 'TC' Te1 ;
321. lmod2  = lmod2 et mod12 ;
322. lmat2  = lmat2 et mat12 ;
323. mod13  = redu mod3 geoi1 ;
324. mat13  = redu mat3 mod13 ;
325. lmod3  = lmod3 et mod13 ;
326. lmat3  = lmat3 et mat13 ;
327. fin b1 ;
328.
329. * Chargements MODE / MATE :
330. cgmod1  = char mode ltps1 lmod1 ;
331. cgmod2  = char mode ltps1 lmod2 ;
332. cgmod3  = char mode ltps1 lmod3 ;
333.

```

Sequencing models and material characteristics... : LISTOBJE type object

LISTOBJE enables operator **vectorization**.

Used in waam4.dgibi.

WAAM4.DGIBI

```

392.
393. * Definition du modele :
394. mod2      = mode VT0 thermique source gaussienne isotrope_transverse ;
395. mat2      = mate mod2 'QTOT' evqt1 'ORIG' cgxs1 'DIRE' ckdir1 'RGAU' Rg1 'ZGAU' Zg1 ;
396.
397. * Sequencage modeles :
398. ltps1     = prog tabl ttps1 ;
399. nb1       = dime tmail ;
400. lgeo0     = enum nb1*vta0 ;
401. lgeo1     = enum 'TABL' tmail ;
402.
403. * Vectorisation des operations sur les listes de maillages et de modeles
404. * en activant la parallelisation :
405. opti para vrai ;
406. lgeo1     = lgeo0 et lgeo1 ;
407. lgeo2     = enve lgeo1 ;
408. lmod1     = redu lgeo1 (mod1 et mod2) ;
409. lmat1     = redu lmod1 (mat1 et mat2) ;
410. lmod2     = mode lgeo2 thermique convection ;
411. lmat2     = mate lmod2 'H' h1 'TC' T0 ;
412. lmod3     = mode lgeo2 thermique rayonnement infini ;
413. lmat3     = mate lmod3 'EMIS' Em1 'T_IN' T0 ;
414.
415. * Chargements MODE / MATE :
416. opti para faux ;
417. * Retour en sequentiel : chaque commande sert de point d'arret
418. cgmod1    = char mode ltps1 lmod1 ;
419. cgmod2    = char mode ltps1 lmod2 ;
420. cgmod3    = char mode ltps1 lmod3 ;
421. cgmod0    = cgmod1 et cgmod2 et cgmod3 ;
422.
423. cgmat1    = char mate ltps1 lmat1 ;
424. cgmat2    = char mate ltps1 lmat2 ;
425. cgmat3    = char mate ltps1 lmat3 ;
426. cgmat0    = cgmat1 et cgmat2 et cgmat3 ;

```

Vectorization on



Vectorization off



CHARGEMENT of MODE and MATE in PASAPAS input table

CHARGEMENT of MODE and MATE are now input as model and characteristics in PASAPAS table:

```
TAB1 . MODELE           = CGMOD1 ;  
TAB1 . CARACTERISTIQUES = CGMAT1 ;  
TAB1 . BLOCAGES_...    = CGBLO1 ;
```

CHARGEMENT objects are used to describe models and material characteristics with geometrical support that evolves with time,

But they are not mechanical or thermal loading, really models and material characteristics.

Now used in “WAAM examples”.

```
340. *----- Resolution PASAPAS -----*  
341.  
342. ltca0    = tab2.temps_calcules ;  
343. si icomplet ;  
344.   ltca1    = ltca0 ;  
345. sino ;  
346.   ltca1    = ltca0 extr (lect 1 pas 1 21) ;  
347. fins ;  
348.  
349. tab1                = table ;  
350. tab1.modele         = cgmod0 ;  
351. tab1.caracteristiques = cgmat0 ;  
352. tab1.blocages_thermiques = clt1 et clt2 ;  
353. tab1.temps_calcules  = ltca1 ;
```


Corrections et modifications of SOUDAGE and WAAM procedures

Procedure **SOUDAGE**: modification of DEPLA COUCHE option:

```
SOUDAGE TAB1 DEPLA 'COUCHE' ('VITE' FLOT2) ('DEBI' FLOT3) ('PAUSE' FLOT4) ;
```

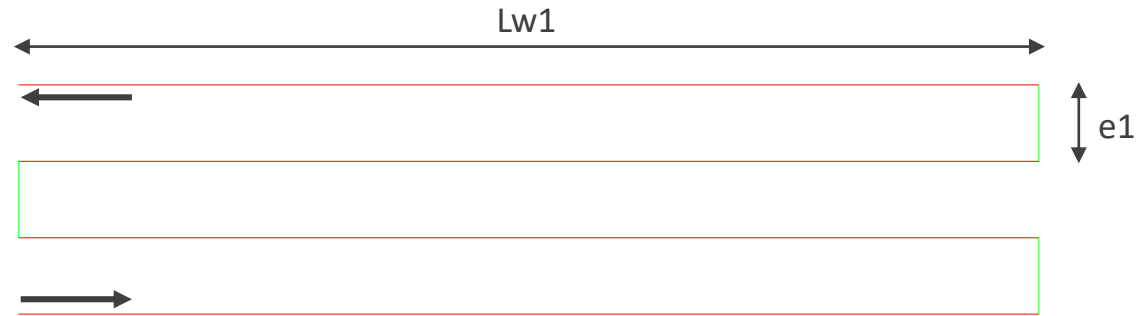
Miscellaneous bug fixes in SOUDAGE and WAAM procedures (see [fiches anomalies](#)).

Corrections and improvements in PASAPAS procedure according to material deposition modelling

Exercices

Exo1.dgibi: manufacturing a wall

- 1) Run the file `exo1.dgibi` and use the procedure `SOUUDGE` to define this manufacturing trajectory:



- 2) Visualize the trajectory and the time-evolution of the tool displacement, heat supply and material flow.
- 3) Mesh this trajectory with the procedure `WAAM`. Discretize the material addition with a step of 2mm and a mesh size (density) of 1mm.
- 4) Visualize the final mesh in output of the procedure `WAAM`. Merge the nodes in double (ELIM).
- 5) Visualize the material deposition by programming a loop that displays the time evolution of this mesh.
- 6) The previous trajectory represents the deposition of 1 layer. Modify your script to model the deposition of 4 layers. At the end of each layer, the tool goes back to the starting point, one layer height up, and waits 2 min before restarting manufacturing (time to displace to the upper layer can be neglected). Visualize your results.
- 7) Modify your script to have an offset of 1.5mm in the “Lw1” direction at the beginning of every new layer (the pass length is reduced by this offset) . Check the merging of the nodes at the offset. Find a solution to get a conforming mesh.

Exo2.dgibi: manufacturing a tube

- 1) Run the file `exo2.dgibi` and use the procedure SOUDAGE to define a pass along a circle of radius `Rw1` centered at the origin (check if the “starting point” of the procedure is well defined). Build the circle by quarters. You can define extra points to use with the `CERC option` of the procedure SOUDAGE.
- 2) Repeat it `nbpass1` times to define the manufacturing of a tube. **Do not use the COUCHE option** to go to the upper layer (calculate the pass height). The starting point of each pass must be rotated 90° from the previous one.
- 3) Define a `CHARGEMENT of trajectory` (CHAR TRAJ) and use it to display the evolution of a point on the trajectory with a time step of 5 s (make a loop, press CTRL+C to stop).
- 4) Use the WAAM procedure to mesh the manufacturing sequence with a material deposition step of 5 mm and a mesh size of 2.5mm.
- 5) Visualize the global mesh before and after merging the nodes.

We want to mesh the base plate of the tube manufacturing:

- 6) Mesh the border of a square of side $4Rw1$ with a mesh density of 10mm, centered with the tube. Z coordinate of the square must be the same as the base surface of the tube (get it from the tube mesh).
- 7) Catch the base surface of the tube (use the POINT operator to get the points at minimal z coordinate and the ELEM operator to get the surface mesh that belongs on these points). Then, get its edges (CONTOUR operator).
- 8) Separate the inner and outer lines of the tube base edges with the PART operator, CONNEX option. Then, mesh the surface between the square outline (LSQ1) and the outer tube edge (LTO1) (use SURF PLAN (LSQ1 et LTO1)).
- 9) Mesh the part of the base plate surface inside the tube. Give a node field to specify a mesh density of 5 mm.
- 10) Concatenate the inner and outer surfaces of the base plate and the base surface of the tube and mesh the volume of the plate (VOLUME TRAN). Its thickness is 20mm. Visualize the plate mesh alone, then together with the tube.

Exo3.dgibi: manufacturing a branching tap on a pipe

- 1) Run the file [exo3.dgibi](#) and display the meshes VTA0 and VTBO. Use the BOIT option of TRAC to focus the display on VTBO using a box build by the procedure BOITE.

The display shows the beginning of the branching (VTBO) and a part of the main tube (VTA0). The mesh of the branching is made of 5 layers of different colors. The goal of this exercise is to define the time sequence of the deposition of each layer.

- 2) The trajectory of each layer is define in table [ttrj1](#). Display the 1st layer trajectory (ttrj1.1) together with the mesh of the 1st layer (LIST the VTBO mesh colors with ELEM operator, then get the mesh of the 1st color name of the list).
- 3) Define the 1st manufacturing pass with the procedure SOUDAGE using the MAIL option and the trajectory given in table ttrj1 (fabrication table name is [tfab1](#)) . Before starting manufacturing, define a heating delay of [dtini1](#) at the thermal power [Qs1](#).
- 4) Define a displacement of the tool to the starting point of the next pass (ttrj1.2). Use the POINT operator to get this point (pay attention to the system of coordinates of the point). This displacement must last [dtpasse1](#) s.
- 5) Repeat this sequence to define the manufacturing of the other layers.

Now, we want to define the time evolution of the mesh deposition of this manufacturing sequence.

- 6) Use the [MAIL option](#) of the procedure SOUDAGE to define the time evolution of the mesh deposition (use a space step of 10.e-3 for the mesh sequencing).
- 7) Visualize the mesh deposition with time.

Merci de votre attention

S. Pascal

