



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

Cast3M training course on « Additive Manufacturing Simulation »

S. Pascal

version du 12/10/2022

Introduction

Training program / Key learnings

A few reminders about Gibiane

WAAM1 example

WAAM2 example

Ongoing developments

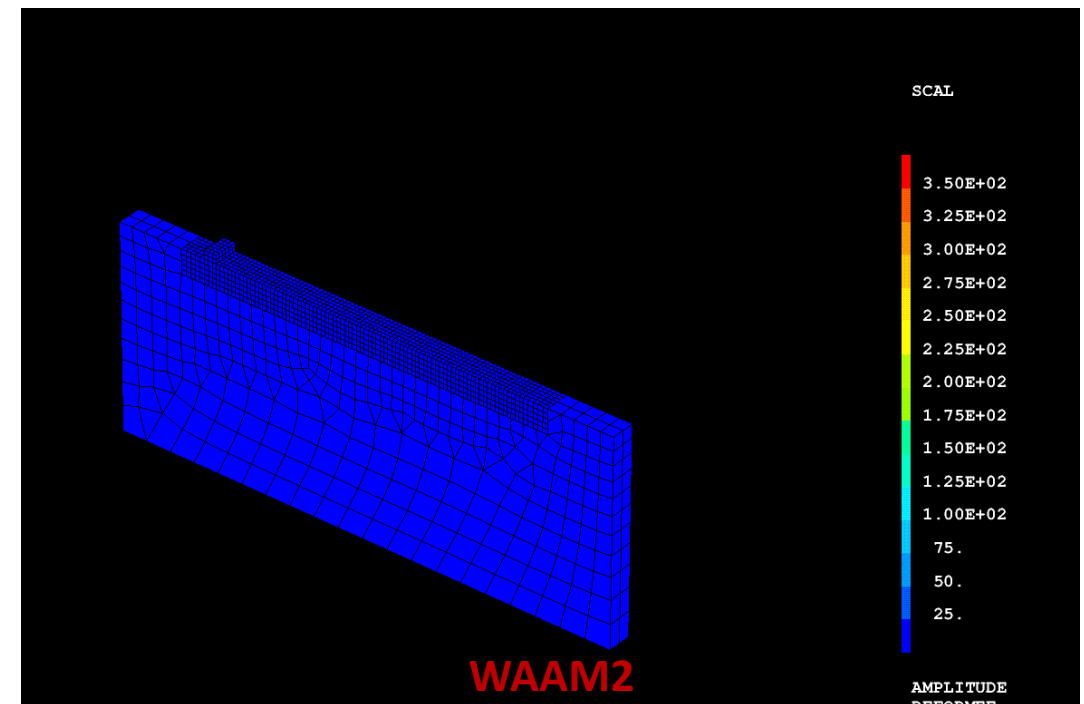
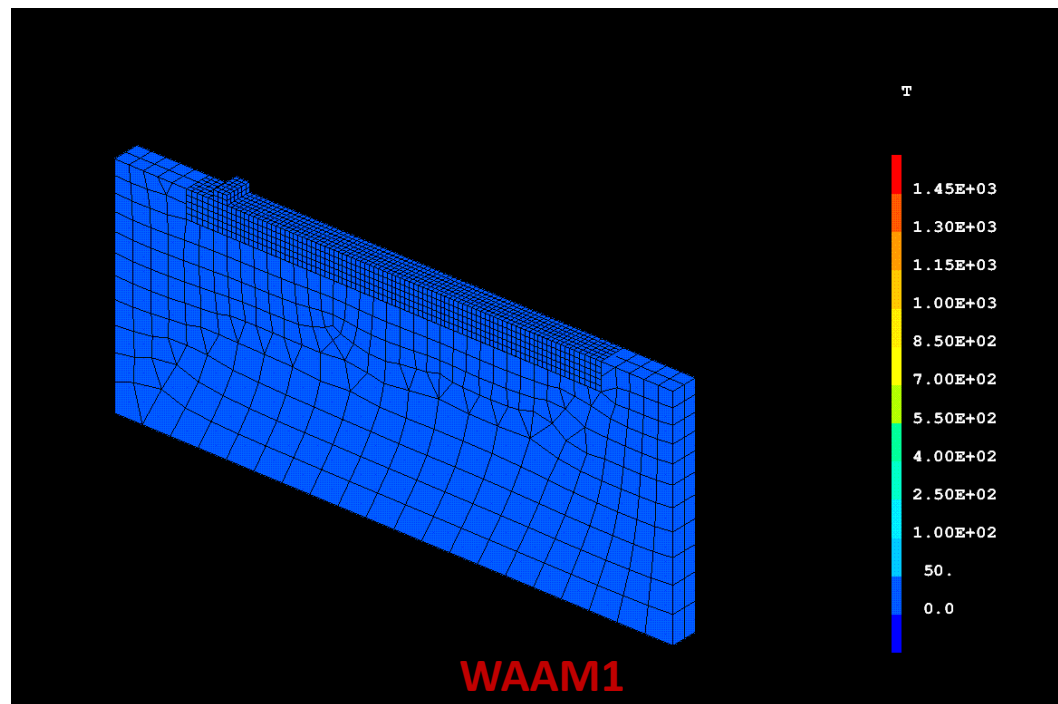
Exercises

To rebuild the dgibi example files :

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

Both are available in the Cast3M dgibi base.

/!\ web site examples work for “our” in-house version, not necessarily for “your” annual version



Modelling

- Procedure **BIBLIO** : how to get material data
- Procedure **SOUDEGE** : 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, only 2 types of instructions

- **Directives**, that do not return any result
- **Operators**, that return result object, freely named by the user (limited to 24 characters)

Examples:

OPTI DIME 3 ELEM CUB8 TRAC X ;

LIGN1 = **DROI** 5 P1 P2 ; COMM Gibiane syntax is not a “positional” ;

You can check the result after 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 ; /!\ The manual page is right, not the way the code works !

Dynamic data typing according to predefined object types

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

Definition

- A list of Gibiane objects
- All objects of the list are of the same type

Creation: **ENUM** operator

LOBJ1 = **ENUM** GEO1 GEO2 GEO3... ;

LOBJ2 = **ENUM** MOD1 MOD2 MOD3... ;

LOBJ3 = **ENUM** 10*CHPO1 ; ➔ defines a list containing 10 times the CHPO1 object

Other useful operators: EXTR, DIME

Conversion from TABLE to LISTOBJE

LOBJ1 = **ENUM** 'TABLE' (TAB1.TEMPERATURES) ;

Vectorization of Gibiane instructions (/!\ fragile)

LOBJ1 = **ENUM** GEO1 GEO2 GEO3... ;

LOBJ2 = **ENUM** (dime LOBJ1) * GEO0 ;

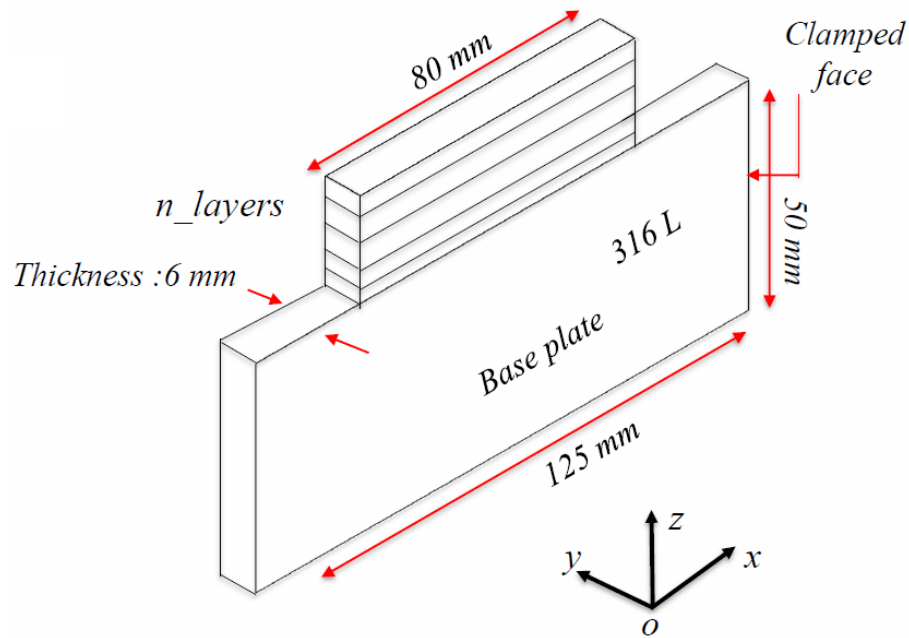
OPTI **PARA VRAI** ;

LOBJ3 = LOBJ1 ET LOBJ2 ;

OPTI **PARA FAUX** ;

➔ add GEO0 to each element of LOBJ1 (in parallel) ;

WAAM1.DGIBI

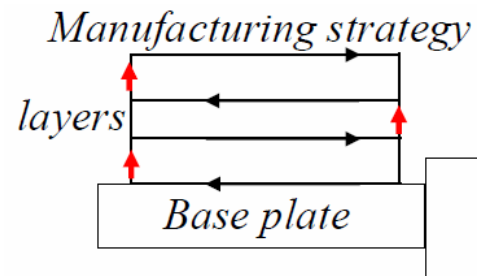
Additive manufacturing study case¹

(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>

Parameter	value
Power supply	Fronuis 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



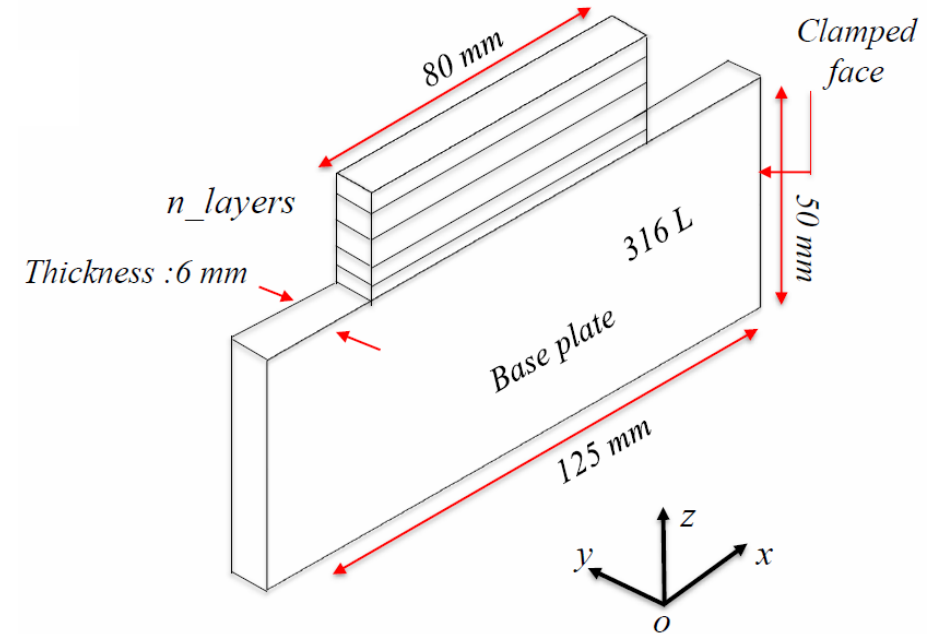
- 10 layers , 80 mm weld bead length
- Time between layers : 30 s
- Z-incrementation layers : 2.5 mm

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 (vale 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 de part 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

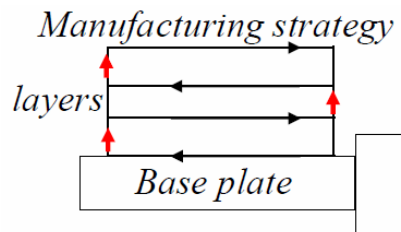
```



Parameter	value
Power supply	Fronius TransPlus CMT
Welding speed [$m.min^{-1}$]	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

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 * dtini1 : delai initial avant debut deplacement torche
86 * delai1 : delai entre 2 passes de WAAM
87 * nbpass1 : nombre de passes
88 dtini1 = 0.8 ;
89 delai1 = 30. ;
90 nbpass1 = 10 ;
91
92 * Parametres conditions thermiques initiales et aux limites :
93 * Tini1 : temperature initiale (degC)
94 * Tel : temperature de convection (degC)
95 * h1 : coefficient d'echange convectif (W/m2)
96 Tini1 = 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:

castem25 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.
$ * * 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
$ * *
$ * * 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' ;

```
$ * * Donnees fournies par la procedure BIBLIO :
$ *
$ * opti donn 5 ;
$ t316L = biblio 316L Refe 2 ;
* t316L = biblio 316L Refe 2 ;
$ LisT T316L ;
* LisT T316L ;
TABLE de pointeur 2122408
      Indice
      Type  Valeur
MOT      K
MOT      ENTH
MOT      TFUS
MOT      QLAT
MOT      YOUN
MOT      SIGY
MOT      ALPH
MOT      H
MOT      ECRO
MOT      CREATEUR
MOT      REFERENCE
$ dess t316L.ecro ;
* dess t316L.ecro ;
$ dess t316L.youn ;
* dess t316L.youn ;
$
```

Objet	
Type	Valeur
EVOLUTIO	2122443
EVOLUTIO	2122506
FLOTTANT	0.14500000E+04
FLOTTANT	0.20000000E+10
EVOLUTIO	2122562
EVOLUTIO	2122618
EVOLUTIO	2122674
EVOLUTIO	2122730
NUAGE	2123983
MOT	BIBLIO
MOT	316L_2

Continuation of **waam1_formation.dgibi**

Type :

opti donn 3 ;

The program continues...

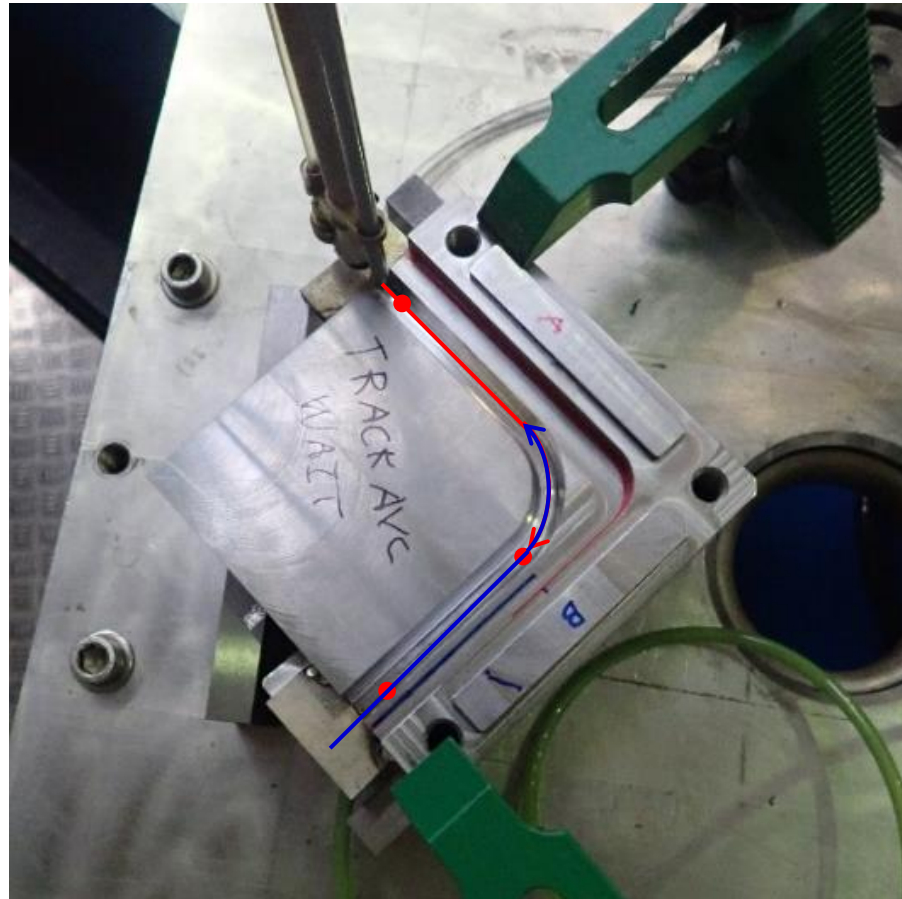
then stops again on the instruction:

OPTI DONN 5 ;

```
$ * *----- Sequence de soudage / Maillage -----*
$ *
$ * * Parametres discretisation apport de matiere :
$ * * xp1   : "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
$ * 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.orientation_soudure = (0 0 1) ;
$ * 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 **SOUDEGE**

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



Crédit photo : L. Forest, SEMT/LTA

Procedure **SOUDEGE**

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...* ;

Options define manufacturing actions : *welding point, welding pass, 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 . **ORIENTATION_SOUDURE** : POINT type object, outward normal vector to the weld bead surface
- 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 **SOUDEGE**

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.

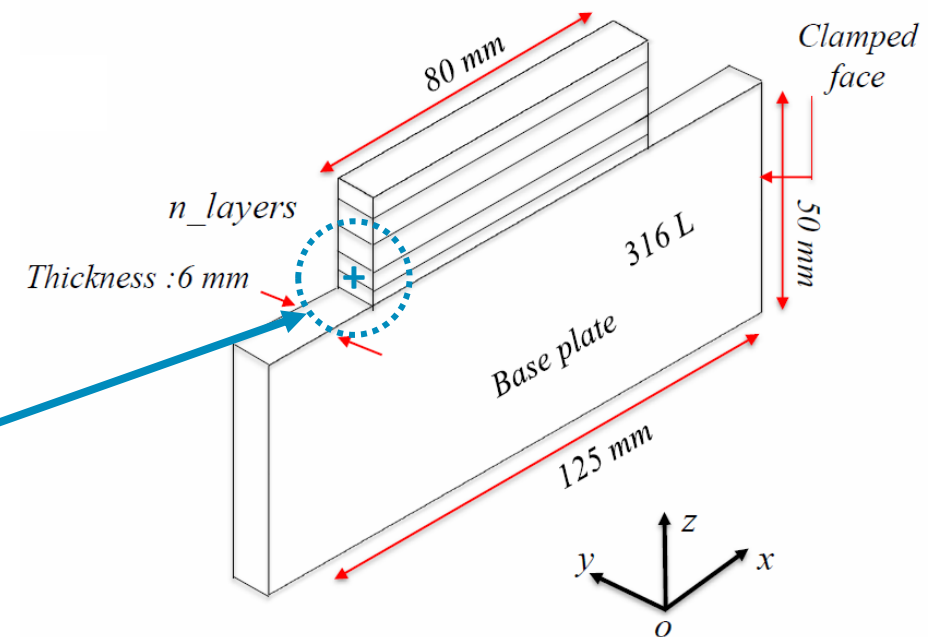
Back to **waam1_formation.dgibi**

Program stopped here:

```

$ * * 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.orientation_soudure = (0 0 1) ;
$ * 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 ;
$

```

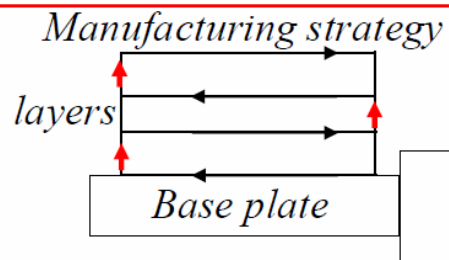


File **waam1_formation.dgibi** :Definition of the manufacturing sequence – call to **SOUDEGE** procedure

```

170  * table SOUDAGE :
171  tsol                                = tabl ;
172  tsol.vitesse_de_soudage             = Vs1 ;
173  tsol.puissance_de_soudage           = Qtot2 ;
174  tsol.orientation_soudure            = (0 0 1) ;
175  tsol.diametre_de_fil                = dfil1 ;
176  tsol.vitesse_de_fil                 = vfil2 ;
177  tsol.point_de_depart                = (0 els2 dz1) ;
178  tsol.largeur_de_passe               = e1 ;
179
180  opti donn 5 ;
181
182  * Définition de la sequence de soudage :
183  * Repetition sequence de 2 passes en AR :
184  soudage tsol point dtinil puis Qtot1 debi 0. ;
185  soudage tsol passe droi (lw1 0 0) puis Qtot1 debi debi1 ;
186  soudage tsol depla couche debi debi2 pause delail ;
187  soudage tsol passe droi ((-1.*lw1) 0 0) ;
188  soudage tsol depla couche pause delail ;
189

```



- 10 layers , 80 mm weld bead length

-Time between layers : 30 s

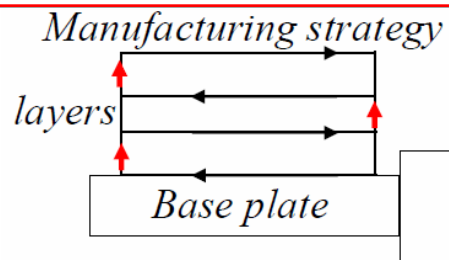
-Z-incrementation layers : 2.5 mm

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

```

170  * table SOUDAGE :
171  tsol                                = tabl ;
172  tsol.vitesse_de_soudage             = Vs1 ;
173  tsol.puissance_de_soudage          = Qtot2 ;
174  tsol.orientation_soudure           = (0 0 1) ;
175  tsol.diametre_de_fil               = dfil1 ;
176  tsol.vitesse_de_fil                = vfil2 ;
177  tsol.point_de_depart               = (0 els2 dz1) ; /
178  tsol.largeur_de_passe              = e1 ;
179
180  opti donn 5 ;
181
182  * Définition de la sequence de soudage :
183  * Repetition sequence de 2 passes en AR :
184  soudage tsol point dtin1 puis Qtot1 debi 0. ;
185  repe b1 (nb1/2) ;
186      soudage tsol passe droi (lw1 0 0) puis Qtot1 debi debi1 ;
187      soudage tsol depla couche debi debi2 pause delail ;
188      soudage tsol passe droi ((-1.*lw1) 0 0) ;
189      soudage tsol depla couche pause delail ;
190  fin b1 ;
191

```



- 10 layers , 80 mm weld bead length

-Time between layers : 30 s

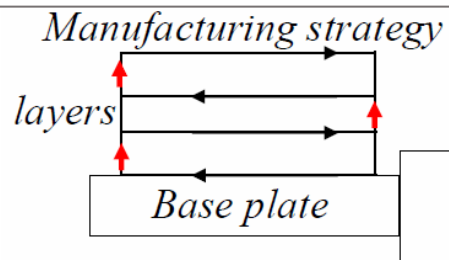
-Z-incrementation layers : 2.5 mm

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

```

170  * table SOUDAGE :
171  tsol                               = tabl ;
172  tsol.vitesse_de_soudage             = Vs1 ;
173  tsol.puissance_de_soudage           = Qtot2 ;
174  tsol.orientation_soudure            = (0 0 1) ;
175  tsol.diametre_de_fil                = dfil1 ;
176  tsol.vitesse_de_fil                = vfil2 ;
177  tsol.point_de_depart                = (0 els2 dz1) ; ;
178  tsol.largeur_de_passe               = e1 ;
179
180  opti donn 5 ;
181
182  * Définition de la sequence de soudage :
183  * Repetition sequence de 2 passes en AR ;
184  soudage tsol point dtinil puis Qtot1 debi 0. ;
185  repe b1 nbl ;
186  si (&b1 ega 1) ;
187      soudage tsol passe droi (lw1 0 0) puis Qtot1 debi debi1 ;
188      soudage tsol depla couche debi debi2 pause delail ; comm debi2 pour se deplacer de la hauteur de la couche suivante ;
189  sino ;
190      soudage tsol passe droi (lw1 0 0) ;
191      soudage tsol depla couche pause delail ;
192  fins ;
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

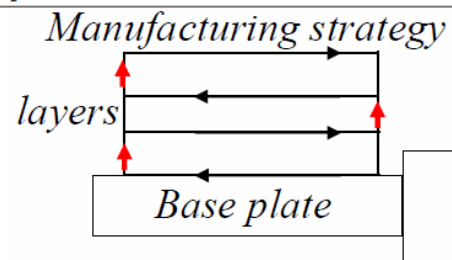
-Z-incrementation layers : 2.5 mm

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

```

170  * table SOUDAGE :
171  tsol                                = tab1 ;
172  tsol.vitesse_de_soudage             = Vs1 ;
173  tsol.puissance_de_soudage           = Qtot2 ;
174  tsol.orientation_soudure            = (0 0 1) ;
175  tsol.diametre_de_fil                = dfil1 ;
176  tsol.vitesse_de_fil                 = vfil2 ;
177  tsol.point_de_depart                = (0 els2 dz1) ; ;
178  tsol.largeur_de_passe               = e1 ;
179
180  opti donn 5 ;
181
182  * Définition de la sequence de soudage :
183  * Repetition sequence de 2 passes en AR :
184  soudage tsol point dtinil puis Qtot1 debi 0. ;
185  repe b1 nbl ;
186  si (&b1 ega 1) ;
187      soudage tsol passe droi (lw1 0 0) puis Qtot1 debi debi1 ;
188      soudage tsol depla couche debi debi2 pause delai1 ; comm debi2 pour se deplacer de la hauteur de la couche suivante ;
189  sino ;
190      soudage tsol passe droi (lw1 0 0) ;
191      soudage tsol depla couche pause delai1 ;
192  fins ;
193  soudage tsol passe droi ((-1.*lw1) 0 0) ;
194  soudage tsol depla couche pause delai1 ;
195  fin b1 ;
196  soudage tsol point 90. puis 0. debi 0. ;

```



- 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 ;

```
$ * * table SOUDAGE :
$ * tso1                                = tabl ;
$ * tso1.vitesse_de_soudage             = Vs1 ;
$ * tso1.puissance_de_soudage           = Qtot2 ;
$ * tso1.orientation_soudure            = (0 0 1) ;
$ * 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 ;
$ *
$ * D|@finition de la sequence de soudage :
$ * Repetition sequence de 2 passes en AR :
$ * nb1 = nbpass1 / 2 ;
$ * 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 ;
$ *   soudage tso1 depla couche debi debi2 pause delai1 ; comm debi2 pour se deplacer de la hauteur de la couche suivante ;
$ *   sino ;
$ *   soudage tso1 passe droi (lw1 0 0) ;
$ *   soudage tso1 depla couche pause delai1 ;
$ *   fins ;
$ *   soudage tso1 passe droi ((-1.*lw1) 0 0) ;
$ *   soudage tso1 depla couche pause delai1 ;
$ * fin b1 ;
$ * 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 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 ((tso1.trajectoire) plus (0 0 1.e-5)) ;
228  fins ;
229
230  opti donn 5 ;
  
```

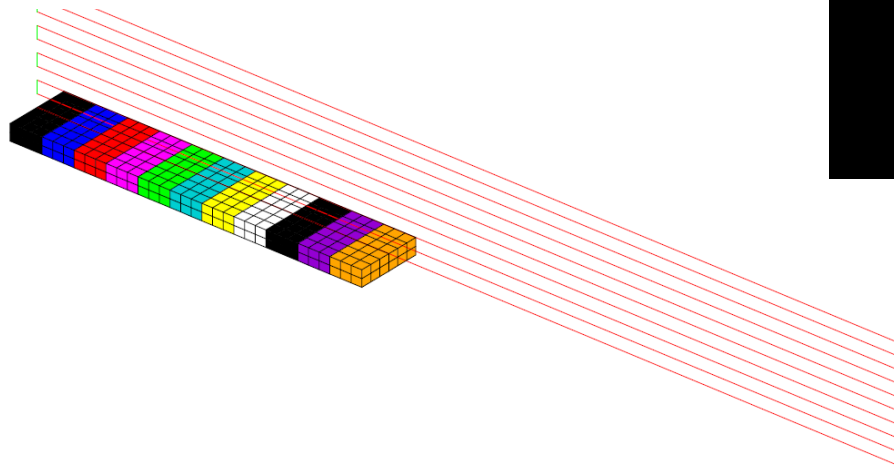
```

$ * opti donn 5 ;
$ opti donn 3 ;
$ * opti donn 3 ;
$ *
$ * * Maillage du Mur :
$ * tab2      = waam tso1 mail pas xpl 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** :

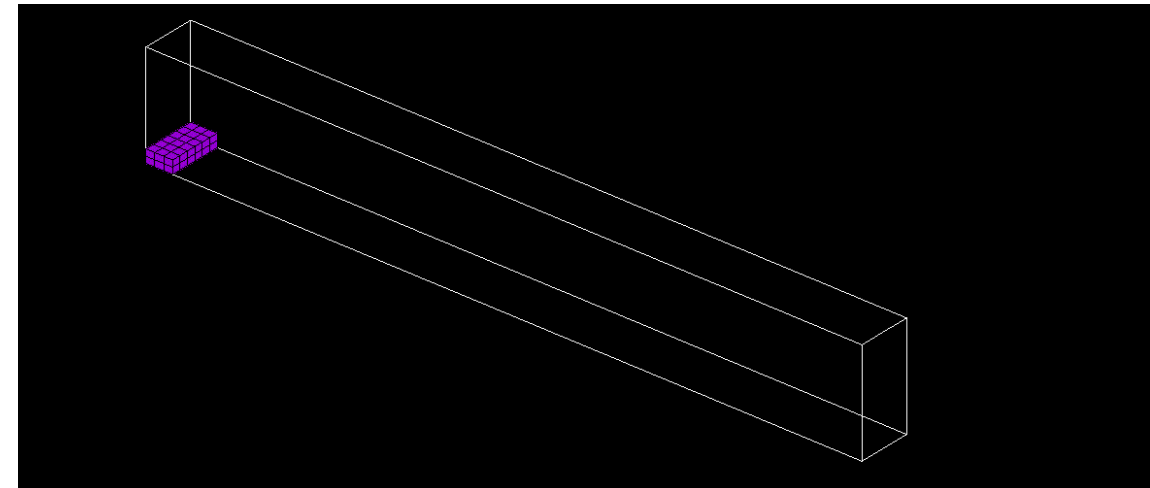
Meshing the manufacturing sequence – Call to **WAAM** procedure

```
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 : $q(\vec{x}) = q_0 e^{\left(-2 \frac{(x-x_{P1})^2 + (y-y_{P1})^2 + (z-z_{P1})^2}{RG1^2}\right)}$

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 mail1 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 TMOD1 ; → defines a MODE CHARGEMENT that describes the time evolution of the model

CGMAT1 = **CHAR** **MATE** TTPS1 TMAT1 ; → idem for material characteristics

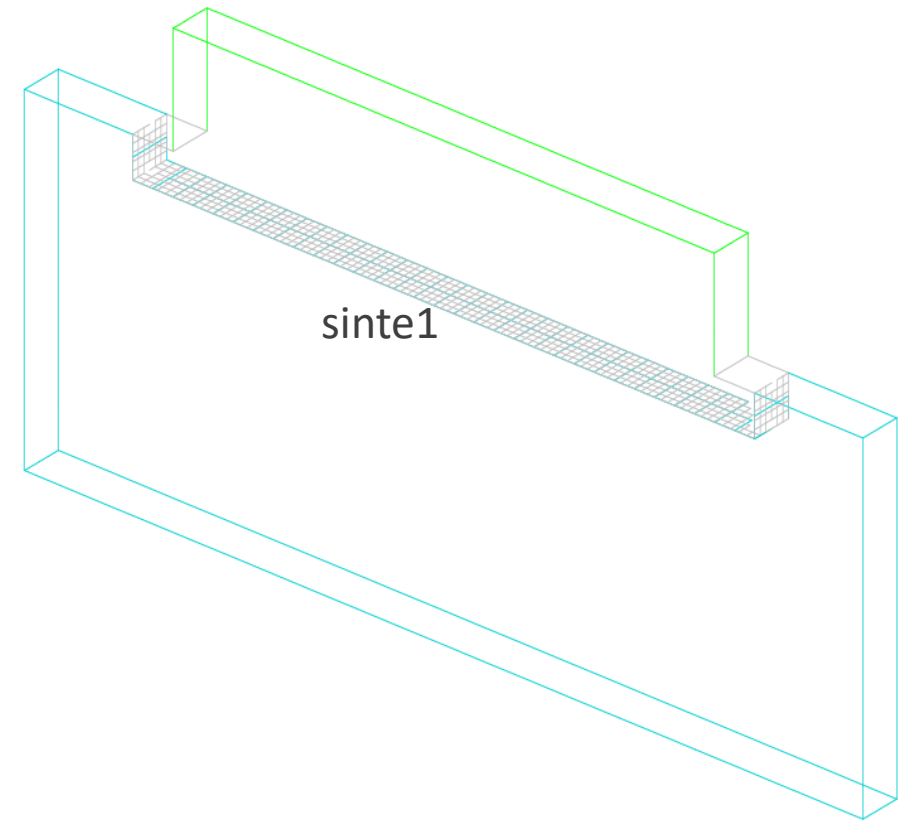
MOD(t1) = **TIRE** **CGMOD1** **MODE** t1 ; → supplies the model MOD(t1) to use at time t1 (idem with **CGMAT1**)

Model and material characteristics sequencing with TABLE objects

```

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

```

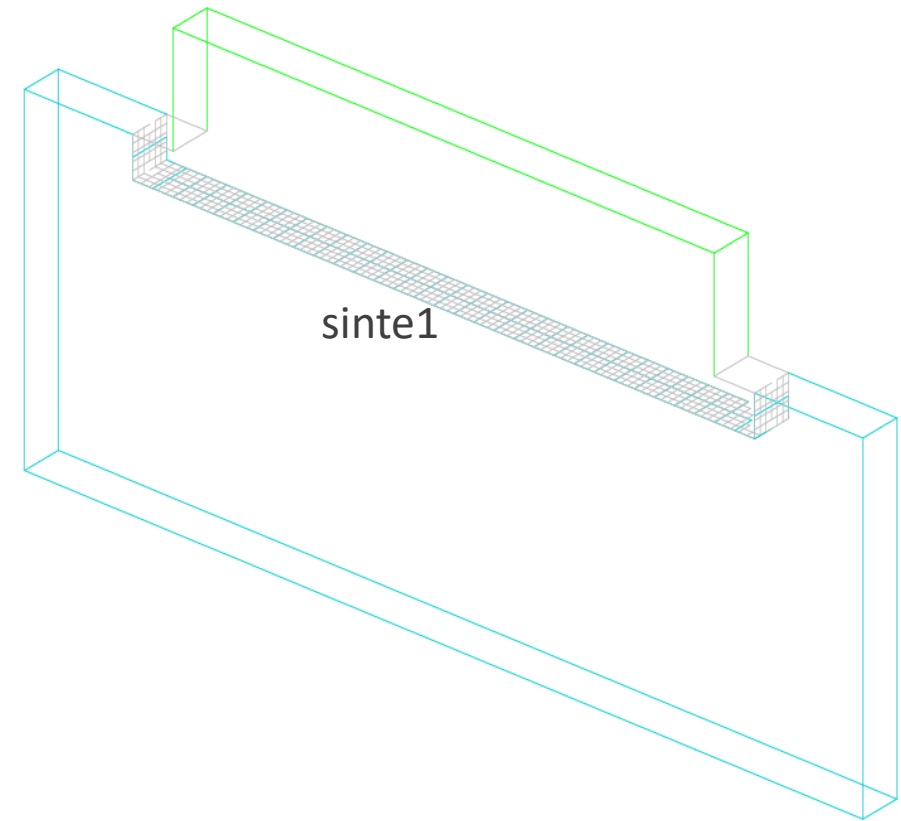


File **waam1_formation.dgibi** : model and material characteristics sequencing with LISTOBJE

```

304 opti donn 5 ;
305
306 * Evolution des modeles et caracteristiques :
307 ttps1 = tab2.evolution_maillage.temps ;
308 tmail = tab2.evolution_maillage.maillage ;
309 nb1 = dime tmail ;
310 ltps1 = prog ;
311 lmod1 = enum ;
312 lmod2 = enum ;
313 lmod3 = enum ;
314 lmat1 = enum ;
315 lmat2 = enum ;
316 lmat3 = enum ;
317 repe b1 nb1 ;
318 tps1 = ttps1 . (&b1 - 1) ;
319 ltps1 = ltps1 et tps1 ;
320 geoi1 = tmail . (&b1 - 1) ;
321 geoi1 = geoi1 et sup0 ;
322 modi1 = redu mod1 geoi1 ;
323 mati1 = redu mat1 modi1 ;
324 lmod1 = lmod1 et modi1 ;
325 lmat1 = lmat1 et mati1 ;
326 sconv1 = (enve geoi1) diff sinte1 ;
327 modi2 = mode sconv1 thermique convection ;
328 mati2 = mate modi2 'H' h1 'TC' Tel ;
329 lmod2 = lmod2 et modi2 ;
330 lmat2 = lmat2 et mati2 ;
331 modi3 = redu mod3 geoi1 ;
332 mati3 = redu mat3 modi3 ;
333 lmod3 = lmod3 et modi3 ;
334 lmat3 = lmat3 et mati3 ;
335 -fin b1 ;
336
337 * Chargements MODE / MATE :
338 cgmod1 = char mode ltps1 lmod1 ;
339 cgmod2 = char mode ltps1 lmod2 ;
340 cgmod3 = char mode ltps1 lmod3 ;
341 cgmod0 = cgmod1 et cgmod2 et cgmod3 ;
342
343 cgmat1 = char mate ltps1 lmat1 ;
344 cgmat2 = char mate ltps1 lmat2 ;
345 cgmat3 = char mate ltps1 lmat3 ;
346 cgmat0 = cgmat1 et cgmat2 et cgmat3 ;
347
348 opti donn 5 ;

```

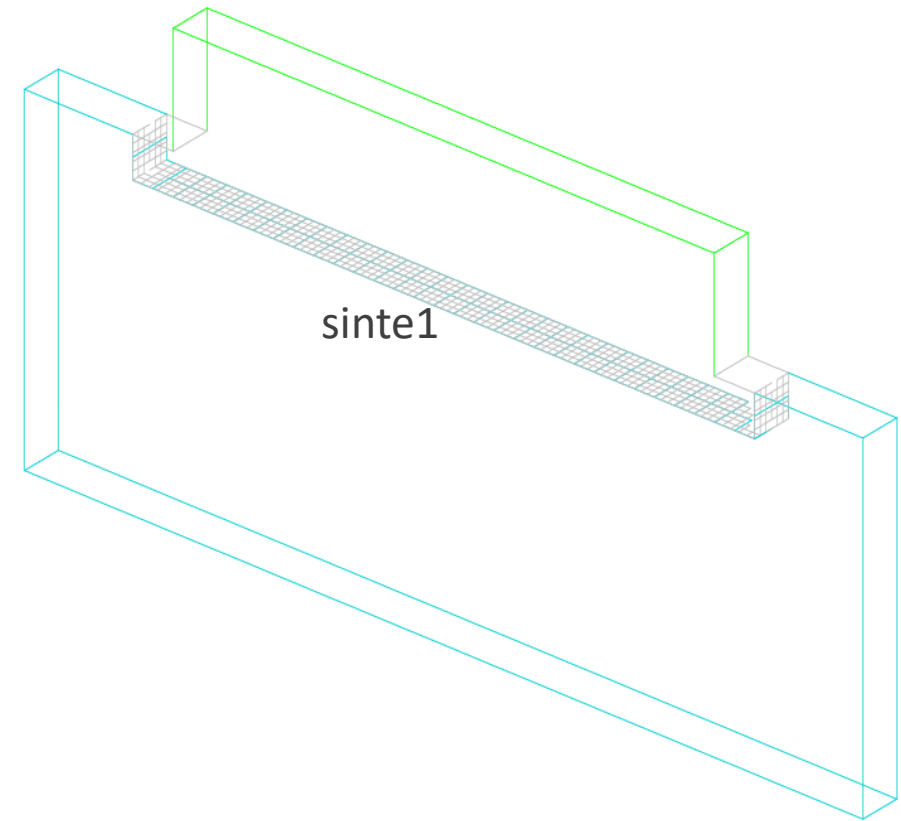


Model and material characteristics sequencing with LISTOBJE and vectorization

```

301 * Evolution des modeles et caracteristiques :
302 ttps1 = tab2.evolution_maillage.temps ;
303 tmail = tab2.evolution_maillage.maillage ;
304 nb1 = dime tmail ;
305 ltps1 = prog tabl ttps1 ;
306 lgeo1 = enum tabl tmail ;
307
308 * Vectorisation des operations sur les listes d'objets :
309 * Listes de maillages :
310 lgeo0 = enum nb1 * sup0 ;
311 lsur0 = enum nb1 * sinte1 ;
312 opti para vrai ;
313 lgeo1 = lgeo1 et lgeo0 ;
314 lsurl = enve lgeo1 ;
315 lsurl = lsurl diff lsur0 ;
316 opti para faux ;
317
318 * Listes de modèles :
319 opti para vrai ;
320 lmod1 = redu mod1 lgeo1 ;
321 lmod2 = mode lsurl thermique convection ;
322 lmod3 = redu mod3 lgeo1 ;
323 opti para faux ;
324
325 * LListes de caractéristiques :
326 opti para vrai ;
327 lmat1 = redu mat1 lmod1 ;
328 lmat2 = mate lmod2 'H' h1 'TC' Te1 ;
329 lmat3 = redu mat3 lmod3 ;
330 opti para faux ;
331
332 * Chargements MODE / MATE :
333 cgmod1 = char mode ltps1 lmod1 ;
334 cgmod2 = char mode ltps1 lmod2 ;
335 cgmod3 = char mode ltps1 lmod3 ;
336 cgmod0 = cgmod1 et cgmod2 et cgmod3 ;
337
338 cgmat1 = char mate ltps1 lmat1 ;
339 cgmat2 = char mate ltps1 lmat2 ;
340 cgmat3 = char mate ltps1 lmat3 ;
341 cgmat0 = cgmat1 et cgmat2 et cgmat3 ;

```



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 ;
$ *
$ * * Evolution des modeles et caracteristiques :
$ * ttps1 = tab2.evolution_maillage.temps ;
$ * tmai1 = tab2.evolution_maillage.maillage ;
$ * nb1 = dime tmai1 ;
$ * ltps1 = prog ;
$ * lmod1 = enum ;
$ * lmod2 = enum ;
$ * lmod3 = enum ;
$ * lmat1 = enum ;
$ * lmat2 = enum ;
$ * lmat3 = enum ;
$ * repe b1 nb1 ;
$ * tps1 = ttps1 . (&b1 - 1) ;
$ * ltps1 = ltps1 et tps1 ;
$ * geoi1 = tmai1 . (&b1 - 1) ;
$ * geoi1 = geoi1 et sup0 ;
$ * modi1 = redu mod1 geoi1 ;
$ * mati1 = redu mat1 modi1 ;
$ * lmod1 = lmod1 et modi1 ;
$ * lmat1 = lmat1 et mati1 ;
$ * sconv1 = (enve geoi1) diff sinte1 ;
$ * modi2 = mode sconv1 thermique convection ;
$ * mati2 = mate modi2 'H' h1 'TC' Te1 ;
$ * lmod2 = lmod2 et modi2 ;
$ * lmat2 = lmat2 et mati2 ;
$ * modi3 = redu mod3 geoi1 ;
$ * mati3 = redu mat3 modi3 ;
$ * lmod3 = lmod3 et modi3 ;
$ * lmat3 = lmat3 et mati3 ;
$ * fin b1 ;
menage automatique 4 apres MODE gain: 55693338 actifs 38860320 mots 16060 segments
$ *
$ * * Chargements MODE / MATE :
$ * cgm0d1 = char mode ltps1 lmod1 ;
$ * cgm0d2 = char mode ltps1 lmod2 ;
$ * cgm0d3 = char mode ltps1 lmod3 ;
$ * cgm0d0 = cgm0d1 et cgm0d2 et cgm0d3 ;
$ *
$ * cgm0t1 = char mate ltps1 lmat1 ;
$ * cgm0t2 = char mate ltps1 lmat2 ;
$ * cgm0t3 = char mate ltps1 lmat3 ;
$ * cgm0t0 = cgm0t1 et cgm0t2 et cgm0t3 ;
$ *
$ * opti donn 5 ;

```

Continuation of **waam1_formation.dgibi**

Type:

opti donn 3 ;

Program continues,
then stops again on:

OPTI DONN 5 ;

```
$ * cgm1 = char mate ltps1 lmat1 ;
$ * cgm2 = char mate ltps1 lmat2 ;
$ * cgm3 = char mate ltps1 lmat3 ;
$ * cgm0 = cgm1 et cgm2 et cgm3 ;
$ *
$ * opti donn 5 ;
$ opti donn 3 ;
$ * opti donn 3 ;
$ *
$ * * Temps calculés :
$ * ltca0 = tab2.temps_calculés ;
$ * si icomplet ;
$ *   ltca1 = ltca0 ;
$ * sino ;
$ *   ltca1 = ltca0 extr (lect 1 pas 1 21) ;
$ * fins ;
$ *
$ * * Rendement effectif de la source :
$ * eta0 = rendsour cgmod3 cgm3 ltca1 moye ;
$ *
$ * si ig1 ;
$ *   eveta0 = rendsour cgmod3 cgm3 ltca1 ;
$ *   mot1 = chai format '(F6.3)' 'Rendement de la source de chaleur en fonction du temp. Moy. =' eta0 ;
$ *   eveta0 = eveta0 coul oran ;
$ *   dess eveta0 titr mot1 ;
$ * fins ;
$ *
$ * 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 . MODELE       = CGMOD1 ;
TPAS1 . CARACTERISTIQUES = CGMAT1 ;
...
```

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

```
341 cgmat0 = cgmat1 et cgmat2 et cgmat3 ;
342
343 opti donn 5 ;
344
345 * Temps calculés :
346 ltca0 = tab2.temps_calculés ;
347 si icomplet ;
348 ltca1 = ltca0 ;
349 sino ;
350 ltca1 = ltca0 extr (lect 1 pas 1 21) ;
351 fins ;
352
353 * Rendement effectif de la source :
354 eta0 = rendsour cgmod3 cgmat3 ltca1 moye ;
355
356 si ig1 ;
357 eveta0 = rendsour cgmod3 cgmat3 ltca1 ;
358 mot1 = chai format '(F6.3)' 'Rendement de la source de chaleur en fonction du temp. Moy. =' eta0 ;
359 eveta0 = eveta0 coul oran ;
360 dess eveta0 titr mot1 ;
361 fins ;
362
363 opti donn 5 ;
364
365 *----- Resolution PASAPAS -----*
366
367 * Table PASAPAS :
368 tab1 = table ;
369 tab1.modele = cgmod0 ;
370 tab1.caracteristiques = cgmat0 ;
371 tab1.blocages_thermiques = clt1 et clt2 ;
372 tab1.temps_calculés = ltca1 ;
373
374 opti donn 5 ;
375
```

Continuation of **waam1_formation.dgibi**

Type:

opti donn 3 ;

Program continues,
then stops again on:

OPTI DONN 5 ;

```
$ * si ig1 ;
$ *   eveta0   = rendsour cgmod3 cgmat3 ltca1 ;
$ *   mot1     = chai format '(F6.3)' 'Rendement de la source de chaleur en fonction du temp. Moy. =' eta0 ;
$ *   eveta0   = eveta0 coul oran ;
$ *   dess eveta0 titr mot1 ;
$ * fins ;
$ *
$ * opti donn 5 ;
$ opti donn 3 ;
$ * opti donn 3 ;
$ *
$ * *----- Resolution PASAPAS -----*
$ *
$ * * Table PASAPAS :
$ * tab1                = table ;
$ * tab1.modele         = cgmod0 ;
$ * tab1.caracteristiques = cgmat0 ;
$ * tab1.blocages_thermiques = clt1 et clt2 ;
$ * tab1.temps_calcules  = ltca1 ;
$ *
$ * opti donn 5 ;
$
```

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 FICHIER 24
TAILLE DES COMPOSANTES 8

```

```

NIVEAU D'ERREUR 0 DIMENSION 3 DENSITE 0.00000E+00
LECTURE DE 2233 OBJETS MAILLAGE
LECTURE DE 2723 OBJETS CHPOINT
LECTURE DE 7 OBJETS RIGIDITE
LECTURE DE 31 OBJETS TABLE
LECTURE DE 25 OBJETS IMATRI
LECTURE DE 56 OBJETS LISTREEL
LECTURE DE 10 OBJETS CHARGEME
LECTURE DE 26 OBJETS EVOLUTIO
LECTURE DE 2 OBJETS LOGIQUE
LECTURE DE 1234 OBJETS FLOTTANT
LECTURE DE 8 OBJETS ENTIER
LECTURE DE 438 OBJETS MOT
LECTURE DE 4 OBJETS LISTMOTS
LECTURE DE 17168 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 2780 OBJETS IELVAL
LECTURE DE 10 OBJETS LISTOBJE
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) :20 min19 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

```
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
```

waam1.dgibi

```
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:

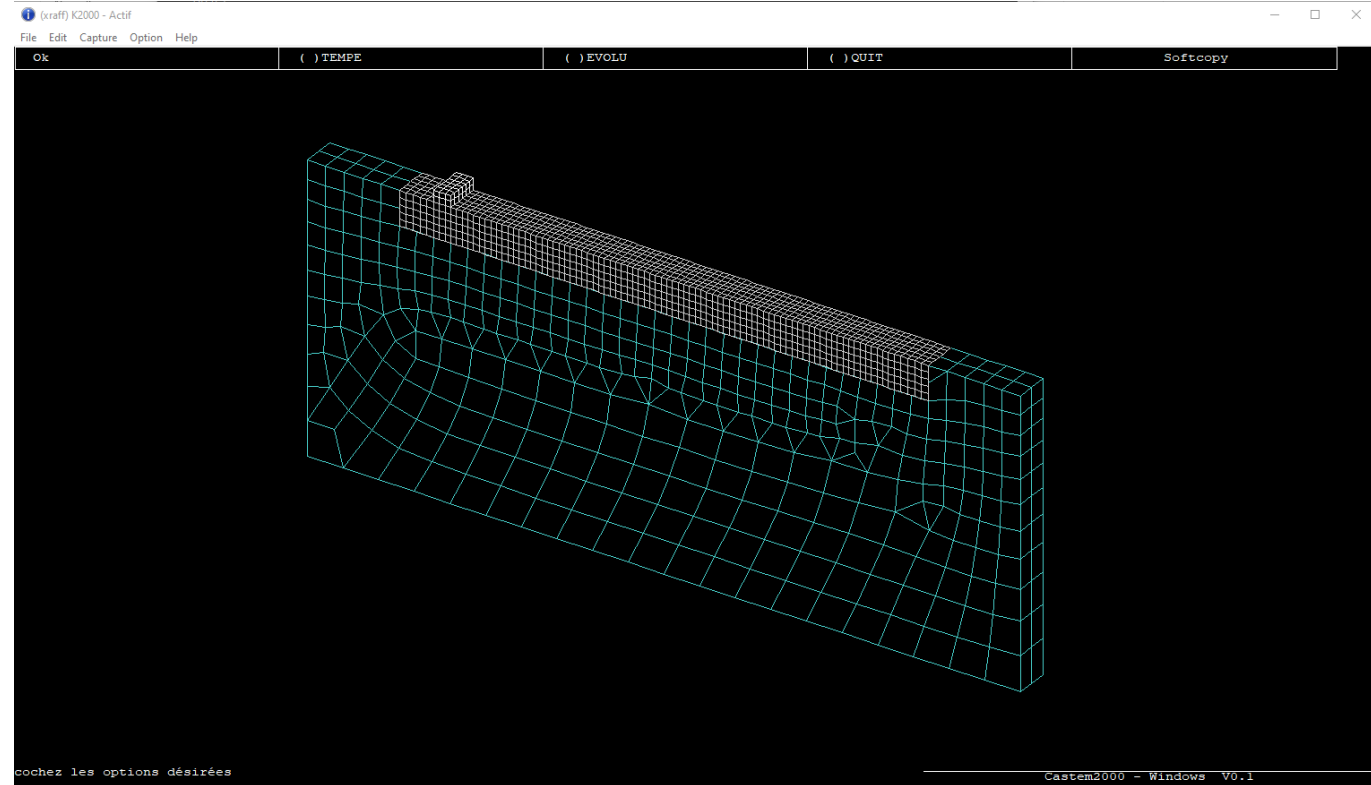
Lx1 = (aret sup0) elem comp P1 P4 ;

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

Type:

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_calculés = 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:

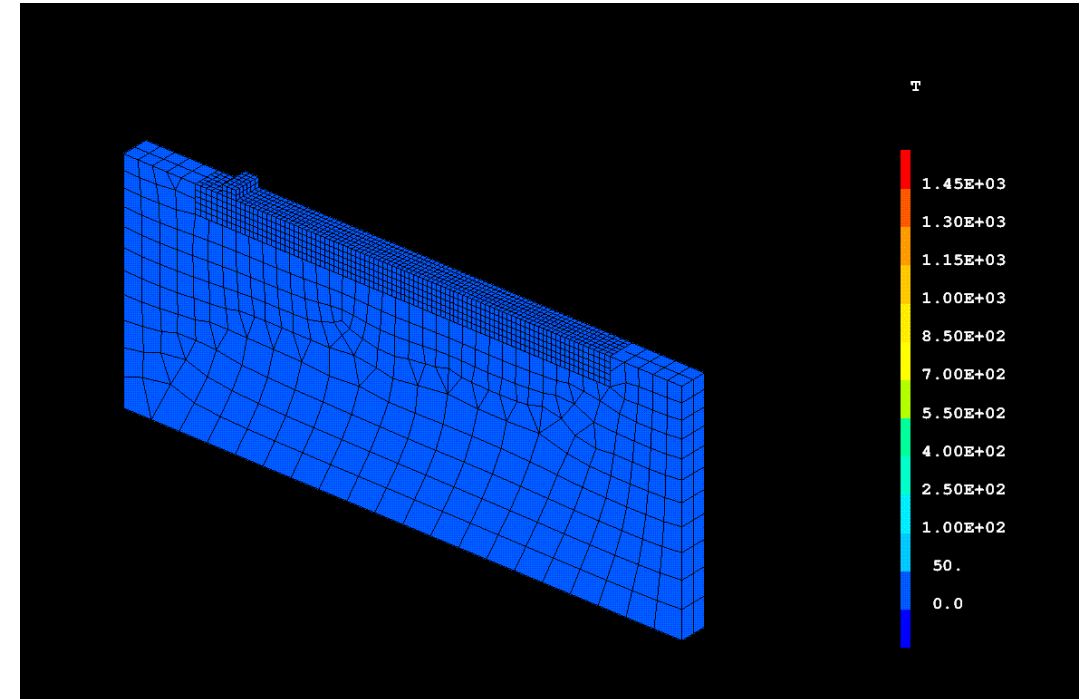
`ps2gif -d 10 Temperature_Waam1_Anim.ps`

After 1 or 2 minutes, you get:

`Temperature_Waam1_Anim.gif`

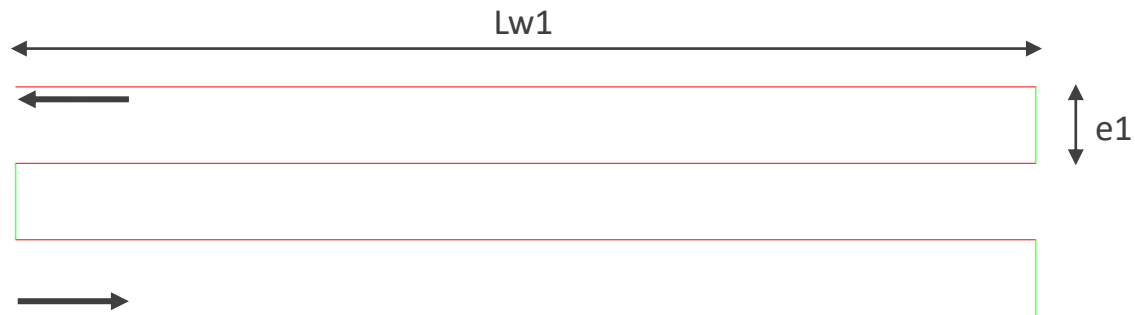
To display it with Firefox, type:

`firefox Temperature_Waam1_Anim.gif`



Exo1.dgibi: manufacturing a wall

- 1) Run the file [exo1.dgibi](#) and use the procedure [SOUDAGE](#) 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.

WAAM2.DGIBI

Start of the file **waam2_formation.dgibi**

In this training course, we only compute the “mechanical part” of waam2.dgibi.

So, let us restore the thermal analysis (waam1.dgibi) and pursue.

Type:

castem25 waam2_formation.dgibi

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

NIVEAU DU FICHIER 24
TAILLE DES COMPOSANTES 8

NIVEAU D'ERREUR 0 DIMENSION 3 DENSITE 0.00000E+00
LECTURE DE 2233 OBJETS MAILLAGE
LECTURE DE 2723 OBJETS CHPOINT
LECTURE DE 7 OBJETS RIGIDITE
LECTURE DE 31 OBJETS TABLE
LECTURE DE 25 OBJETS IMATRI
LECTURE DE 56 OBJETS LISTREEL
LECTURE DE 10 OBJETS CHARGEME
LECTURE DE 26 OBJETS EVOLUTIO
LECTURE DE 2 OBJETS LOGIQUE
LECTURE DE 1234 OBJETS FLOTTANT
LECTURE DE 8 OBJETS ENTIER
LECTURE DE 438 OBJETS MOT
LECTURE DE 4 OBJETS LISTMOTS
LECTURE DE 17168 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 2780 OBJETS IELVAL
LECTURE DE 10 OBJETS LISTOBJE
FIN DE LECTURE DU LABEL :
LABEL_AUTOMATIQUE_1

Fin normale de la restitution
$ *
$ * opti donn 5 ;
menage automatique 4 apres REST gain: 84954 actifs 0 mots 0 segments
$
```

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 mail1) 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 mail1) 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 the 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 LIST of OBJECTs

```

63  *----- Modele / Caracteristique -----*
64
65  * Mecanique :
66  | ym1      = t316L.'YOUN' ;
67  | nu1      = 0.3 ;
68  | alph1    = t316L.'ALPH' ;
69  | ecro1    = t316L.'ECRO' ;
70  | mod4     = mode mail1 mecanique elastique plastique isotrope fusion bbar cons 316L ;
71  | mat4     = mate  mod4 youn ym1 nu nu1 alph alph1 ecro ecro1 tref tinil talp tinil tfus Tfus1 ;
72  |
73  | opti donn 5 ;

```

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 bbar cons 316L ;
$ * mat4     = mate  mod4 youn ym1 nu nu1 alph alph1 ecro ecro1 tref tini1 talp tini1 tfus Tfus1 ;
$ *
$ * opti donn 5 ;
```

Mechanical model and material characteristics time sequencing

```
72
73  opti donn 5 ;
74
75  * Conversion Table de maillages en Listobje :
76  lgeo1    = enum table tmail ;
77
78  * Ajout du maillage de la tole support a chaque element de lgeo1 en parallele :
79  lgeo0    = enum (dime lgeo1)*sup0 ;
80  opti para vrai ;
81  lgeo1    = lgeo0 et lgeo1 ;
82  opti para faux ;
83
84  * Evolution des modeles et caracteristiques :
85  opti para vrai ;
86  lmod4    = redu mod4 lgeo1 ;
87  lmat4    = redu mat4 lmod4 ;
88  opti para faux ;
89
90  * Chargements MODE / MATE :
91  cgmod4   = char mode ltps1 lmod4 ;
92  cgmat4   = char mate ltps1 lmat4 ;
93
94  opti donn 5 ;
95
```

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

Type:

Opti donn 3 ;

```
$ * opti donn 5 ;
$ opti donn 3 ;
$ * opti donn 3 ;
$ *
$ * * Conversion Table de maillages en Listobje :
$ * lgeo1      = enum table tmai1 ;
$ *
$ * * Ajout du maillage de la tole support a chaque element de lgeo1 en parallele :
$ * lgeo0      = enum (dime lgeo1)*sup0 ;
$ * opti para vrai ;
$ * lgeo1      = lgeo0 et lgeo1 ;
$ * opti para faux ;
$ *
$ * * Evolution des modeles et caracteristiques :
$ * opti para vrai ;
$ * lmod4      = redu mod4 lgeo1 ;
$ * lmat4      = redu mat4 lmod4 ;
$ * opti para faux ;
$ *
$ * * Chargements MODE / MATE :
$ * cgmod4     = char mode ltps1 lmod4 ;
$ * cgmat4     = char mate ltps1 lmat4 ;
$ *
$ * opti donn 5 ;
```

Thermal loading and PASAPAS input table definition

```

96  *----- Resolution Mecanique PASAPAS -----*
97
98  * Chargement thermique :
99  cgt1      = char 'T' (tab1.temps) (tab1.temperatures) ;
100
101  * Chargement TAPP (uniquement si modele de type chargement).
102  * temperature apport de matiere a chaque pas d'apport pour calcul def. thermique initiale :
103  cgt2      = char 'TAPP' (tab1.temps) (tab1.temperatures_apport) ;
104
105  * Definition des temps sauvegardes :
106  ltca2     = tab2.temps_calcules ;
107  ntca2     = dime ltca2 ;
108  ltsg2     = ltca2 extr (lect 50 pas 50 (ntca2 / 50 * 50)) ;
109  si (non (dans ltsg2 (maxi ltca2))) ;
110  ltsg2     = ltsg2 et (maxi ltca2) ;
111  fins ;
112
113  * Table PASAPAS :
114  tab2      = table ;
115  tab2.modele      = cgmod4 ;
116  tab2.caracteristiques = cgmat4 ;
117  tab2.chargement   = cgt1 et cgt2 ;
118  tab2.blocages_mecaniques = clu1 et clu2 ;
119  tab2.temps_calcules   = tab1.temps_calcules ;
120  tab2.temps_sauvegardes = ltsg2 ;
121  *tab2.processeurs     = mot comportement ;
122
123  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) ;
$ *
$ * * Chargement TAPP (uniquement si modele de type chargement).
$ * * temperature apport de matiere a chaque pas d'apport pour calcul def. thermique initiale :
$ * cgt2      = char 'TAPP' (tab1.temps) (tab1.temperatures_apport) ;
$ *
$ * * Definition des temps sauvegardes :
$ * ltca2     = tab2.temps_calcules ;
$ * ntca2     = dime ltca2 ;
$ * ltsg2     = ltca2 extr (lect 50 pas 50 (ntca2 / 50 * 50)) ;
$ * si (non (dans ltsg2 (maxi ltca2))) ;
$ *   ltsg2   = ltsg2 et (maxi ltca2) ;
$ * fins ;
$ *
$ * * Table PASAPAS :
$ * tab2              = table ;
$ * tab2.modele       = cgmod4 ;
$ * tab2.caracteristiques = cgmat4 ;
$ * tab2.chargement    = cgt1 et cgt2 ;
$ * tab2.blocages_mecaniques = clu1 et clu2 ;
$ * tab2.temps_calcules = tab1.temps_calcules ;
$ * tab2.temps_sauvegardes = ltsg2 ;
$ * *tab2.processeurs   = mot comportement ;
$ *
$ *
$ * 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 sur 8 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 ;

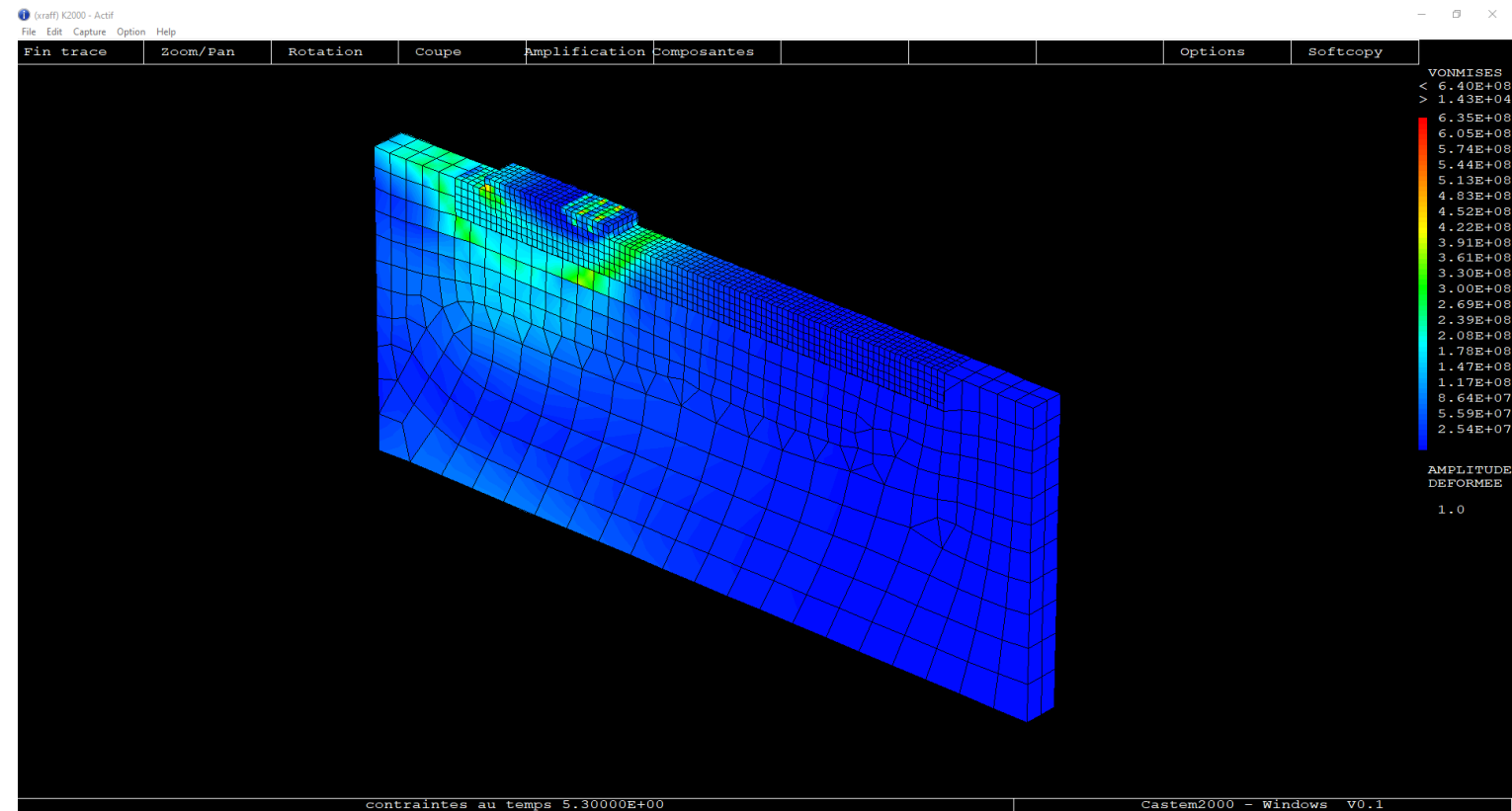
(stress field visualization)

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 1. ;

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  liso1  = prog 25. pas 25. 350. ;
147  mbox1  = boite murl ;
148  repe b1 (dime ltps1) ;
149    i1    = &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    maili1 = modil extr mail ;
157    defoil = defo maili1 depil 1. sigil modil ;
158    mot1   = chai format '(F6.1)' 'Contrainte de von Mises (MPa) au temps (s) :' (tab2.temps.i1) ;
159    trac (1 -1.2 1) defoil liso1 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:

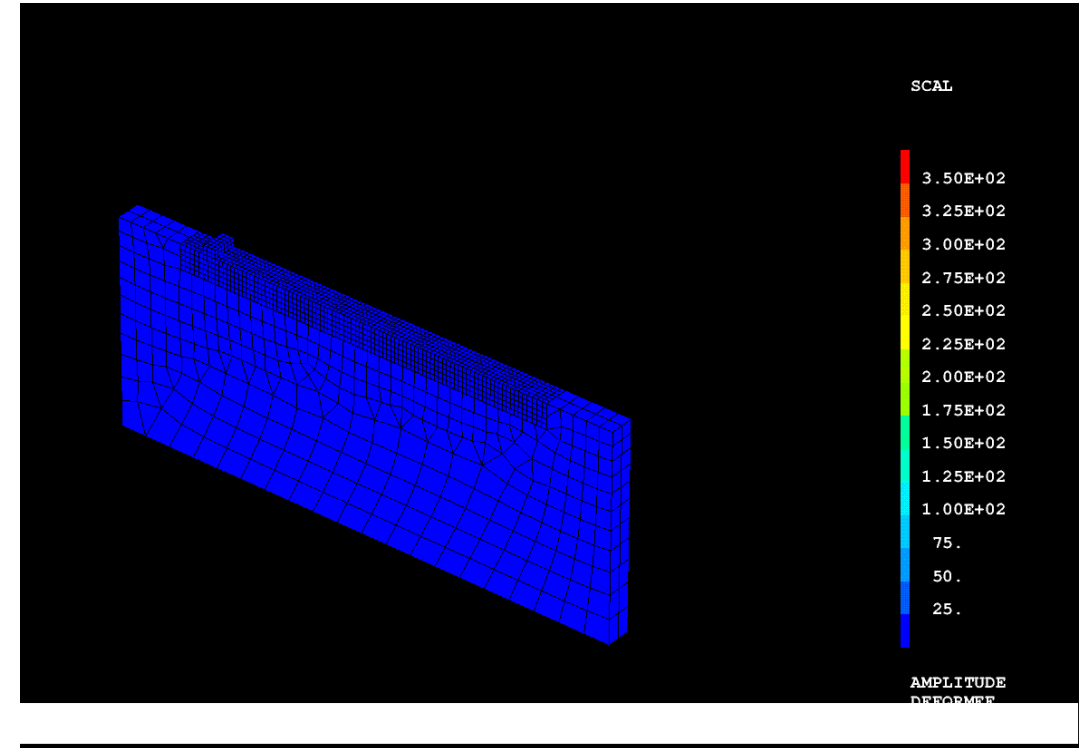
ps2gif -d 10 Contrainte_Waam2_Anim.ps

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

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 “in house” version.

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

Cast3M web site is a window on the “in house” version.

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 \(cea.fr\)](#)

SOUDAGE procedure

Definition of the **welding surface orientation** (mandatory)

Example with the current version of waam1.dgibi

Definition of **EVENT** → possibility to note the upcoming of external events during the manufacturing (ex. : fan start)

```
171.  
172. * table SOUDAGE :  
173. tso1                                = tabl ;  
174. tso1.vitesse_de_soudage             = Vs1 ;  
175. tso1.puissance_de_soudage           = Qtot2 ;  
176. tso1.orientation_soudure            = (0 0 1) ;  
177. tso1.diametre_de_fil                = dfil1 ;  
178. tso1.vitesse_de_fil                 = vfil2 ;  
179. tso1.point_de_depart                 = (0 e1s2 dz1) ;  
180. tso1.largeur_de_passe                = e1 ;
```

MAIL option → to sequence the mesh along a trajectory (see SOUDAGE man page, waam4.dgibi)

Gaussian heat source model

Key word: **ISOTROPE** → **SPHERIQUE**

Key word: **ISOTROPE_TRANSVERSE** → **ELLIPTIQUE**

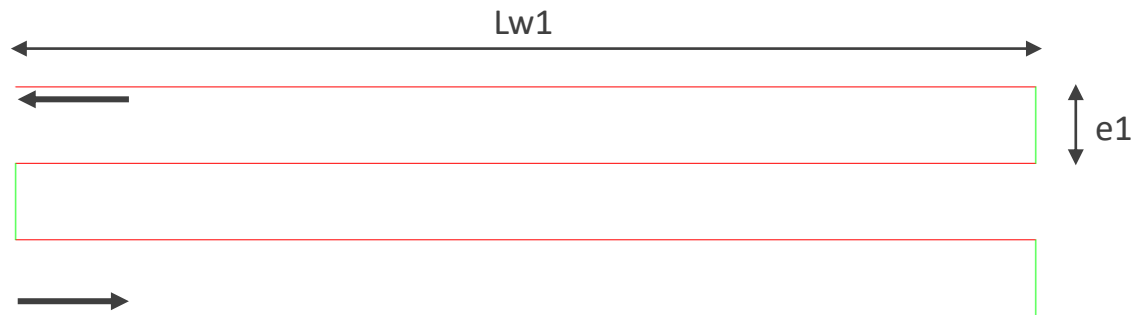
More examples

Dgibi files : waam0... waam5, soudage4... soudage7, fusion, fusion2

Exercises

Exo1.dgibi: manufacturing a wall

- 1) Run the file [exo1.dgibi](#) and use the procedure [SOUDAGE](#) 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 (VOLU 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

