Simulation du soudage d'un carter de turbopompe forte pression

Loïc Debeugny[1], Arnaud François[2], Jean-Pierre Lefebvre[2], Alain Pyre[1]

13ème colloque modélisation et simulation numérique du soudage :
« Modélisation du soudage de grands composants », 26 mars 2015

[1] Groupe Safran, Snecma, Division Moteurs Spatiaux
[2] Cenaero

Activité réalisée avec la participation financière du CNES

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

/01/

Introduction et problématique

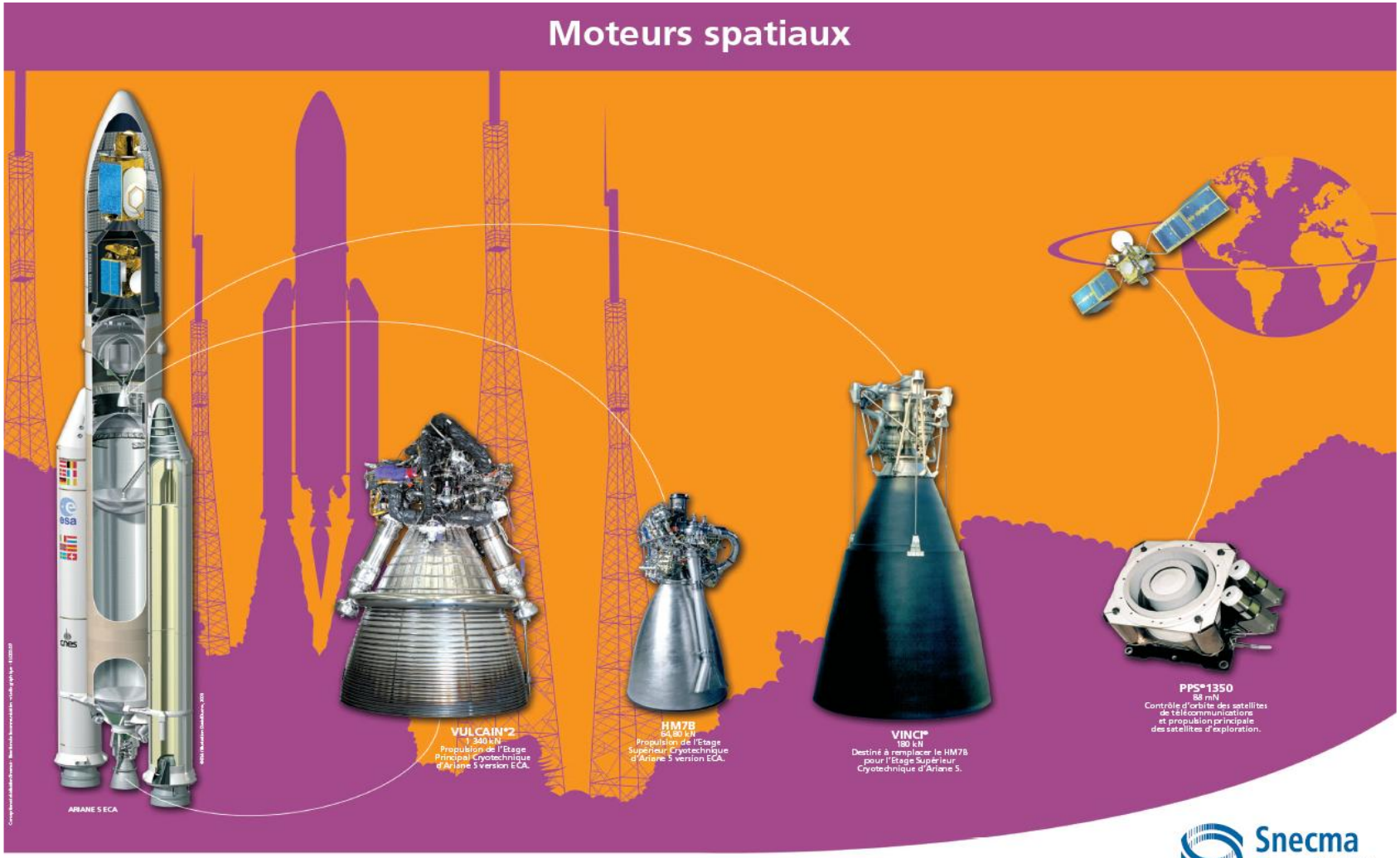
Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Cenaero

SAFRAN Snecma

INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

LES MOTEURS DE SNECMA-DMS



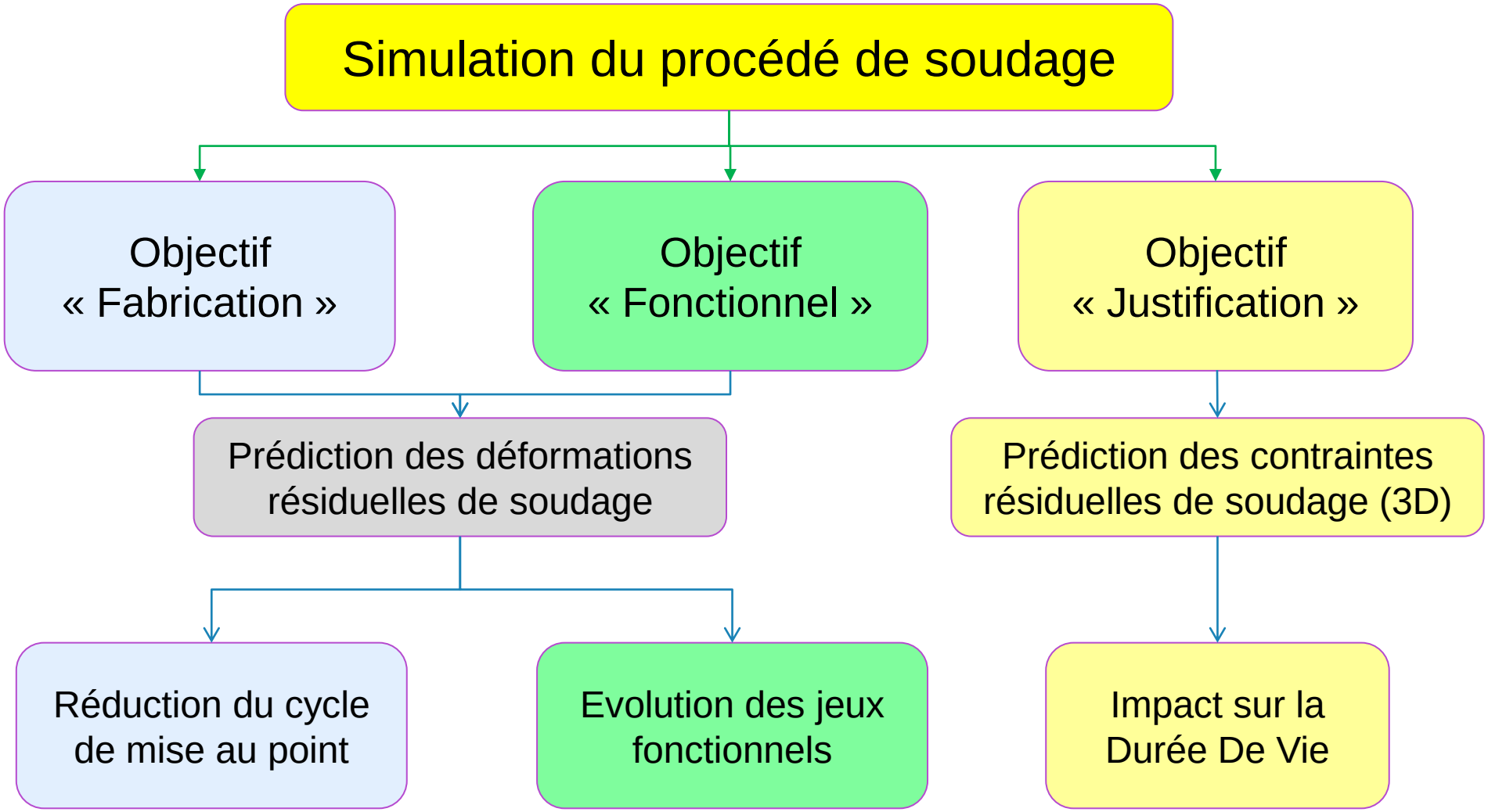
Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Cenaero

SAFRAN
Snecma

INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

OBJECTIFS DE LA SNS SUR MOTEURS FUSEES



[A. Pyre, 2014]

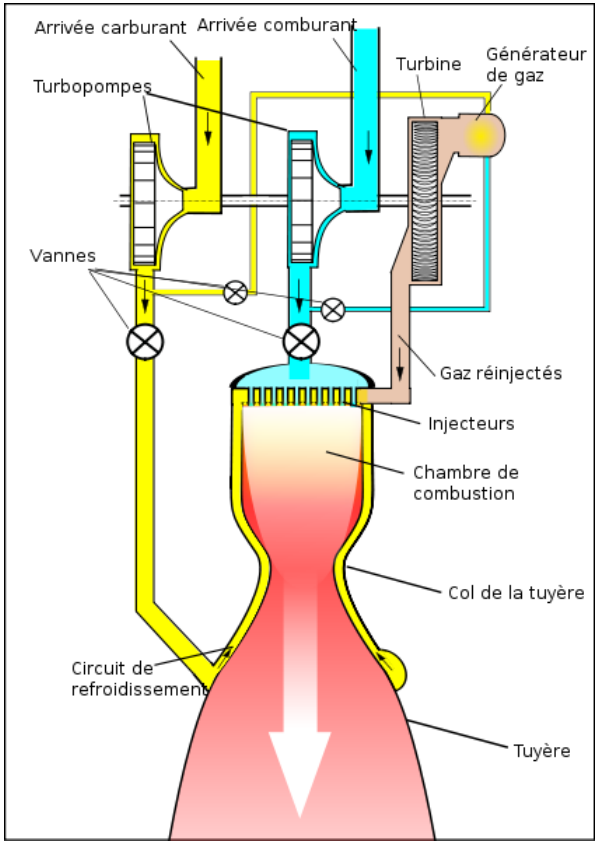
Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

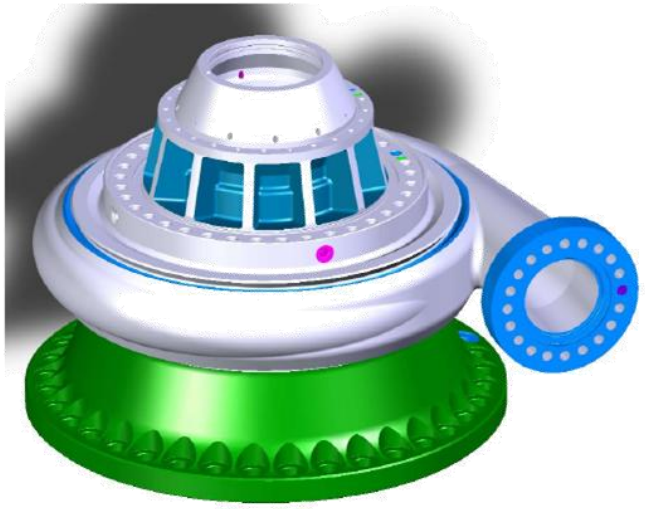
Cenaero SAFRAN Snecma

INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE
AVANT-PROJET DE TURBOPOMPE FORTE ÉPAISSEUR

➔ Développement d'une turbopompe forte épaisseur

- Pression sortie ~ 400 bars,
- Appui à la définition de la gamme de soudage,
- Réduction du risque et du temps de mise au point du procédé.





Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Cenaero SAFRAN Snecma

INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

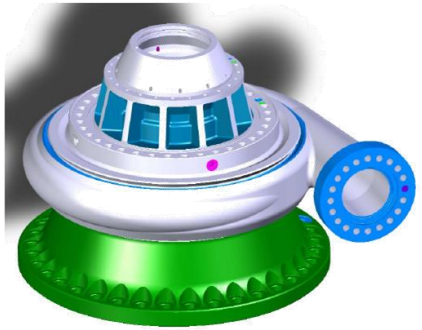
DESCRIPTION DE LA GAMME DE SOUDAGE CIBLE

Préchauffe des pièces → Soudage **TIG** de la volute et du moyeu → Opérations intermédiaires → Soudage **FE** de l'ensemble volute+moyeu sur la bride d'entrée → Opérations finales

2 cordons TIG

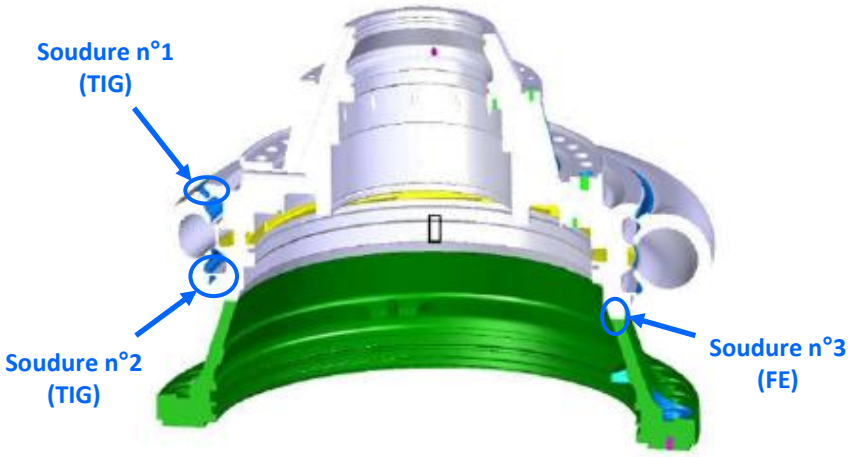
Passes TIG alternées entre S1 et S2

- Lissage du cordon S1
- Lissage du cordon S2
- 1ères passes sur le cordon S1
- 1ères passes sur le cordon S2
- Passes finales sur le cordon S1
- Passes finales sur le cordon S2
- Refroidissement



1 cordon FE

- Epinglage
- Soudage FE
- Refroidissement



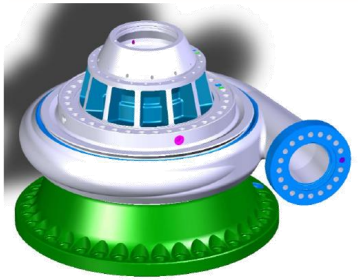
Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Cenaero SAFRAN Snecma

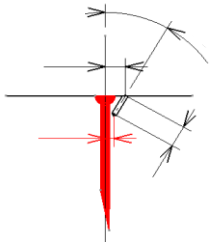
INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

DEMARCHE DE L'ETUDE

CIBLE

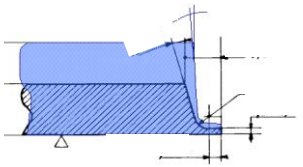


Soudage FE

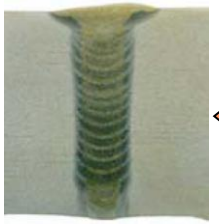


Soudage FE

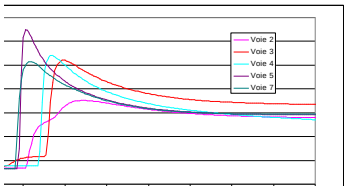
Soudage TIG

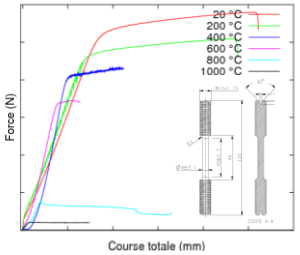


Soudage TIG auto



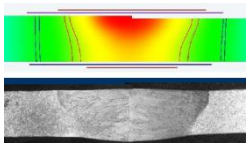
Mesure en cours de soudage



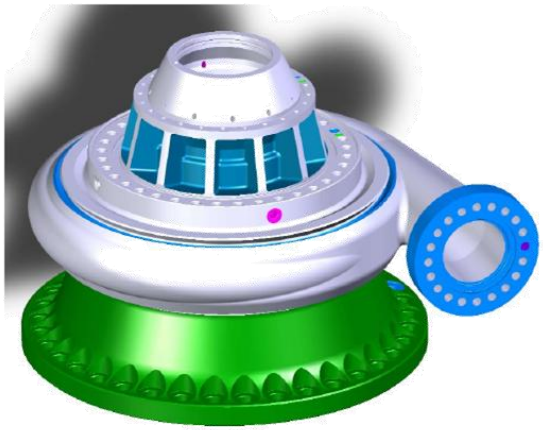


Identification des sources de chaleurs

Données matériaux



Modélisation de la gamme de soudage



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Cenaero

SAFRAN Snecma

/02/

Description du modèle

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

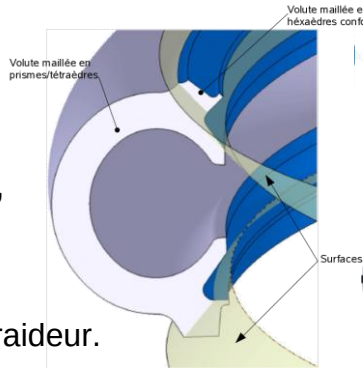
Cenaero SAFRAN Snecma

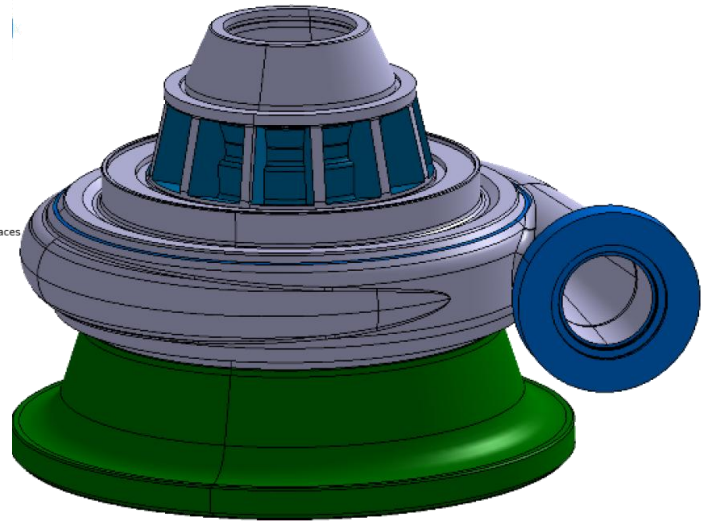
DESCRIPTION DU MODÈLE

MODÈLE CAO ET MAILLAGE

➔ Préparation de la CAO :

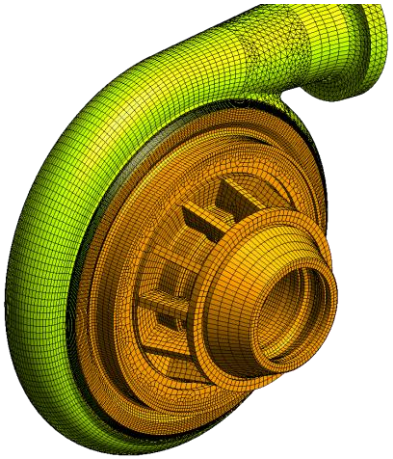
- Suppression des trous (loin des soudures),
- Simplification de la géométrie (loin des soudures),
- Suppression des congés et chanfreins,
- Modification des ailettes,
  - Modélisation volume plein avec abaissement de la raideur.

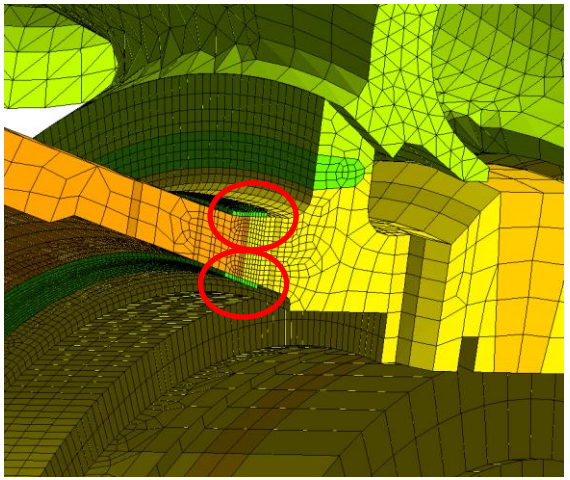




➔ Maillage

- Hexaèdres (principalement) + tétraèdres et prismes (localement)
  - Géométrie de la volute complexe et évolutive,
  - Découpe de la géométrie en deux zones Maillées distinctement,
  - Continuité de la matière modélisée par une condition de contact parfait,
- SNS soudures TIG :
  - Soudures des zones à activer,
  - Nœuds : 378 000,
  - Eléments : 449 000,
- SNS soudure FE :
  - Ajout d'une surépaisseur,
  - Nœuds : 316 000,
  - Eléments : 389 000.





Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

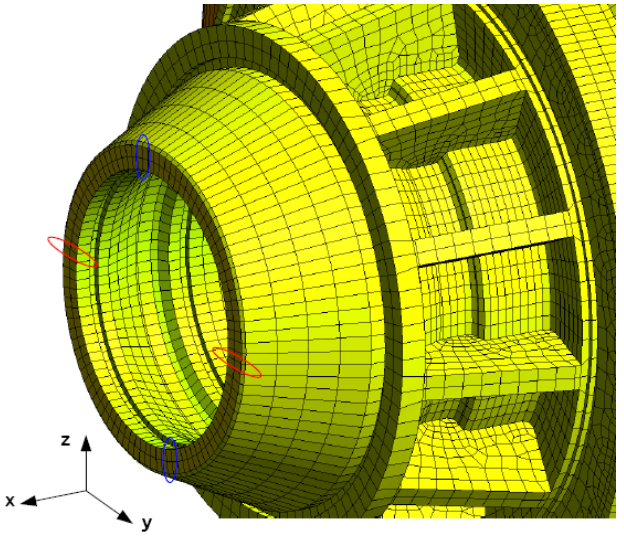
Cenaero SAFRAN Snecma

DESCRIPTION DU MODÈLE

CONDITIONS AUX LIMITES ET LOIS DE COMPORTEMENT

Fixation mécanique

- Face fixée selon X,
- Nœuds fixés selon Y et Z,



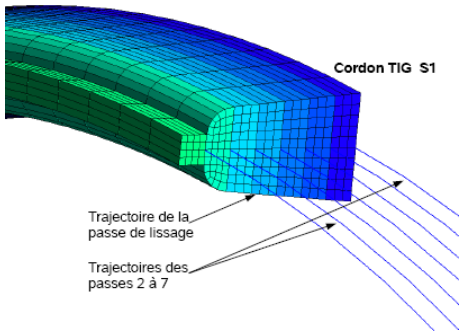
Convection sur les surfaces libres

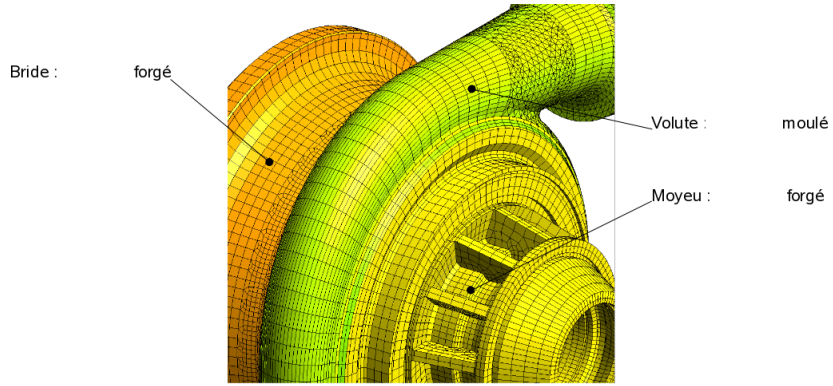
Matériaux

- Propriétés moyennées dans le cordon
- Loi de comportement mécanique : élasto-plastique de type Ludwik

$$\sigma = E : (\varepsilon - \varepsilon^{pl} - \varepsilon^{th}) \qquad \varepsilon^{th} = \alpha \Delta T \qquad f(\sigma, p) = \sigma_{eq} - \sigma_Y - Hp^N$$

Soudage TIG simulé avec une méthode d'activation d'éléments





Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

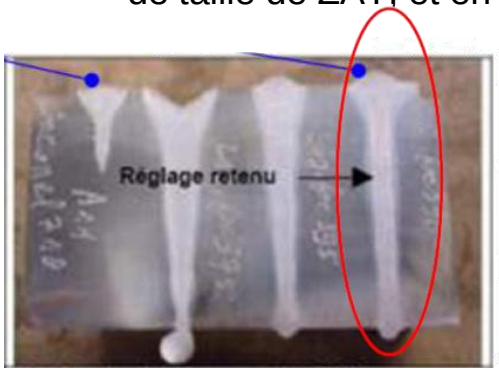
Cenaero

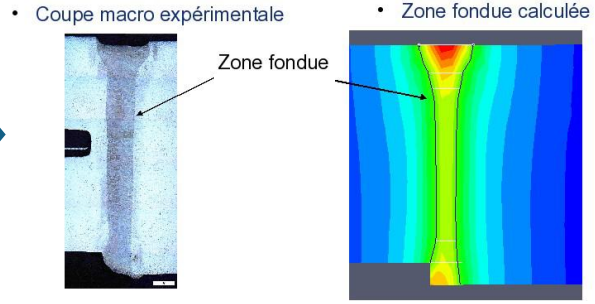
SAFRAN Snecma

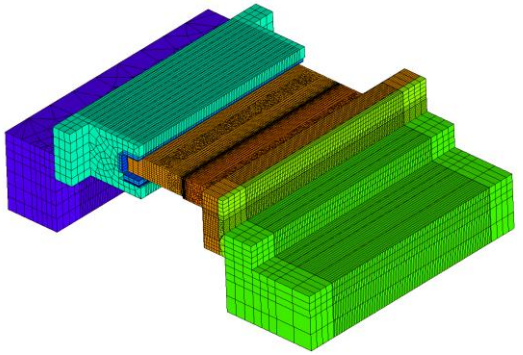
DESCRIPTION DU MODÈLE
SOURCES DE CHALEUR

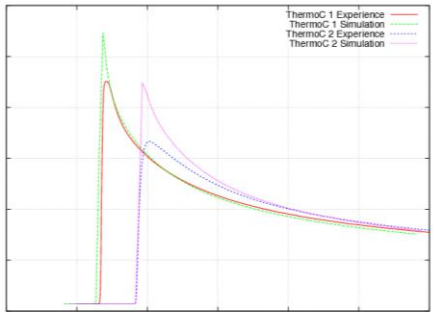
➔ Sources de chaleur FE :

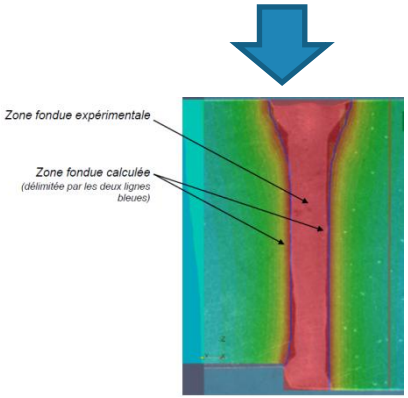
- Modélisation d'un essais sur plaques (même épaisseur, couple matériau/procédé, et paramètres de soudage),
- Optimisation (manuelle) des paramètres de la source de chaleur pour obtenir une réponse proche en matière de taille de ZAT, et en comparaison avec des mesures de TCs.

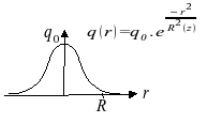


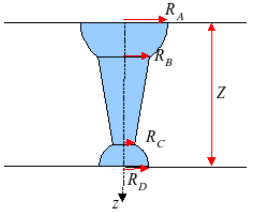




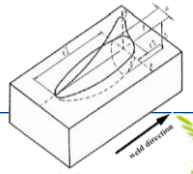








- Même démarche pour le soudage TIG (source double-ellipsoïde)

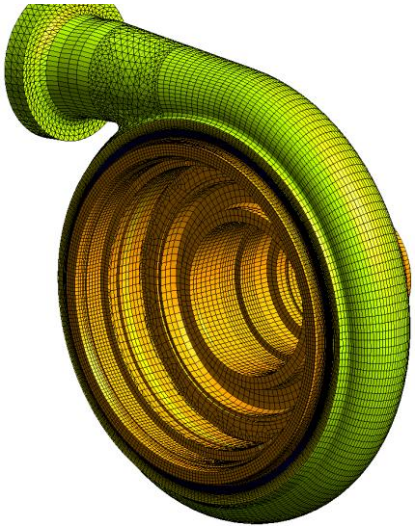


Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Cenaero

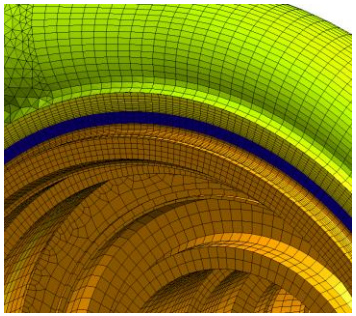
SAFRAN Snecma

DESCRIPTION DU MODÈLE
RÉSOLUTION NUMÉRIQUE

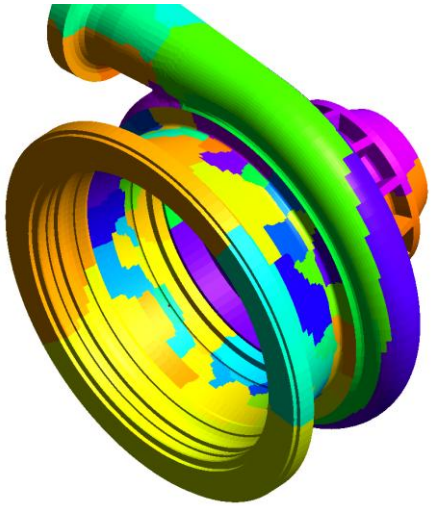


➔ **Temps de calcul nécessaire à la simulation des procédés de soudage :**

- Lié au nombre de passes de soudage
  - Supérieur à 10 pour le soudage TIG
  - Epinglage et soudage par FE
- Taille des modèles éléments finis dépendante des dimensions des sources de chaleur équivalentes



- Nombre de ddls : 1 130 000



➔ **Limitation des temps de calcul obtenue par**

- Parallélisation massive des calculs
- Ajustement fin des paramètres de résolution du problème mécanique
- Reprise de la simulation à la fin de chaque étape de soudage
- Temps total de calcul (soudage TIG) : ~ 60 000 h CPU (7 années en séquentielles)

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Cenaero

SAFRAN Snecma

/03/

Présentation des résultats

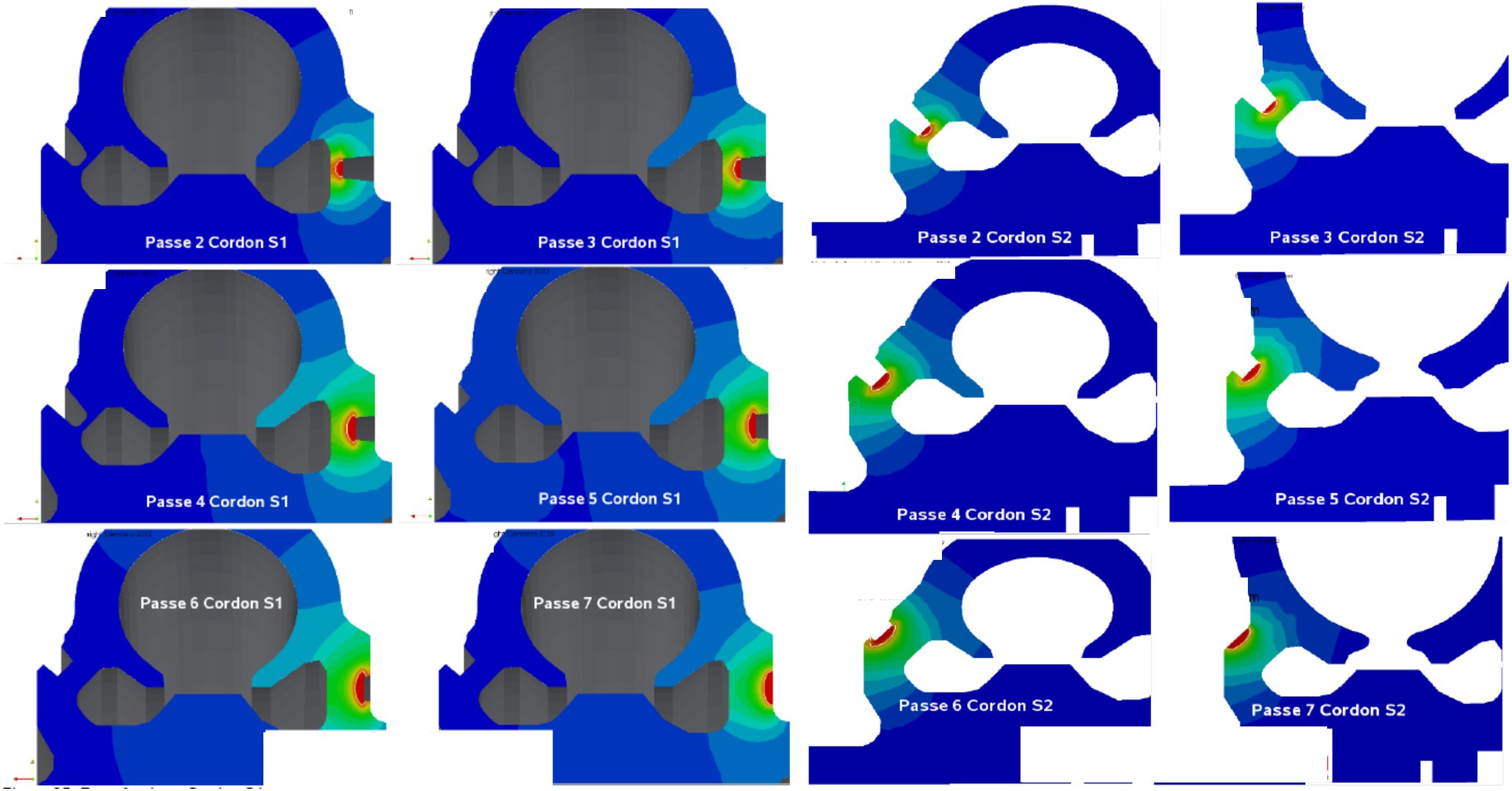
Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Cenaero

SAFRAN Snecma

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

TEMPÉRATURE EN COURS DE PROCÉDÉ



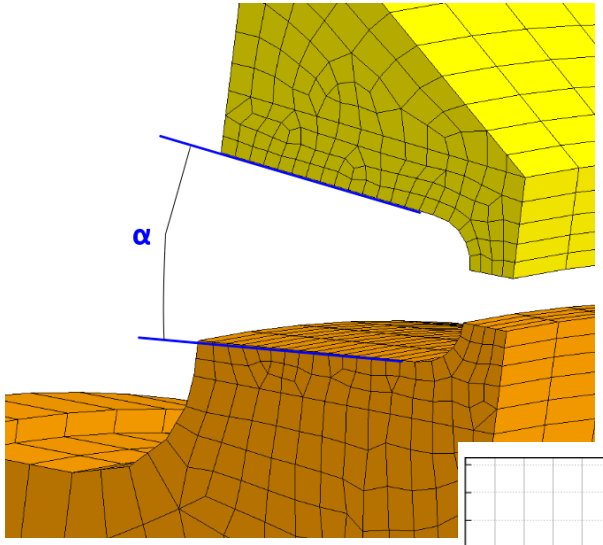
Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

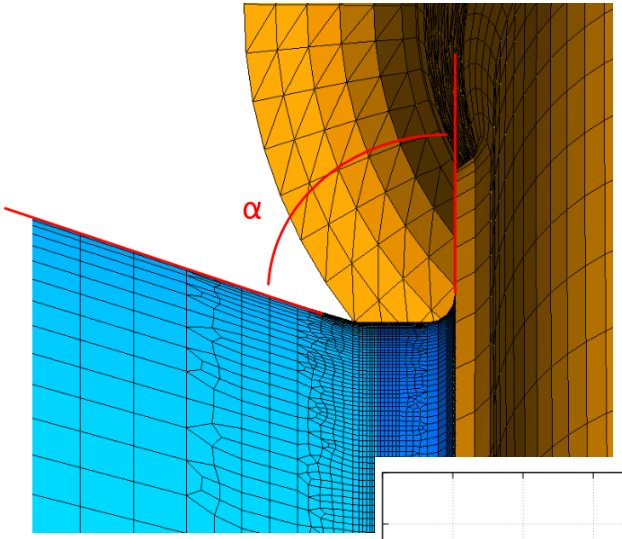
Cenaero

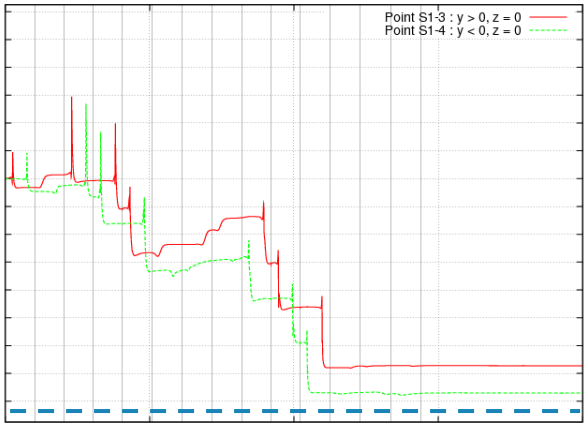
SAFRAN Snecma

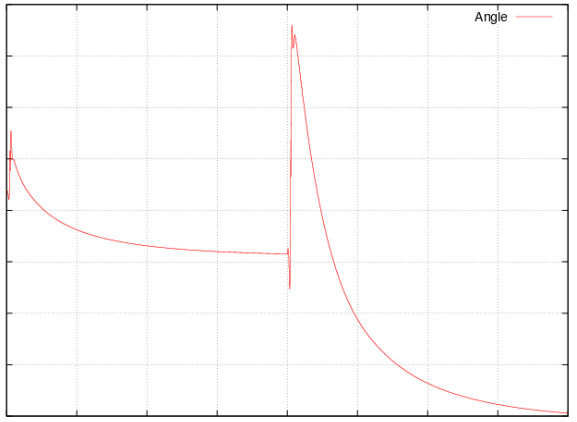
PRÉSENTATION DES RÉSULTATS
ESTIMATION DES DÉFORMATIONS EN COURS DE PROCÉDÉ

- **Anticipation des risques liés au procédé,**
- **Définition des outillages.**







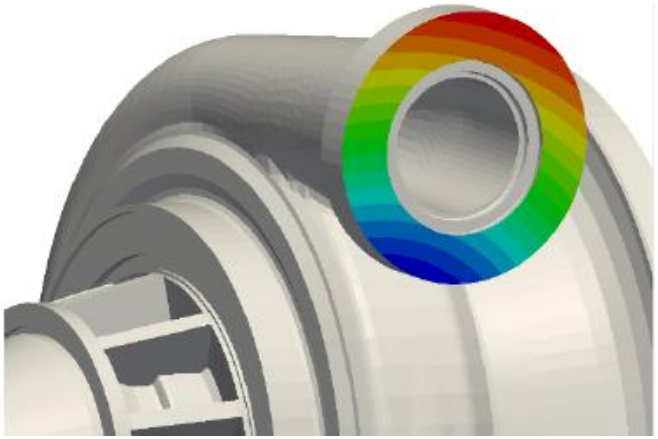


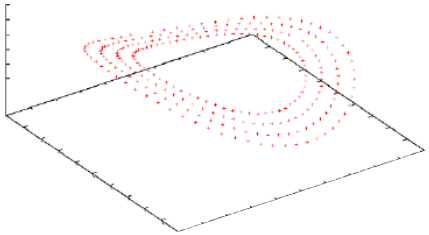
Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

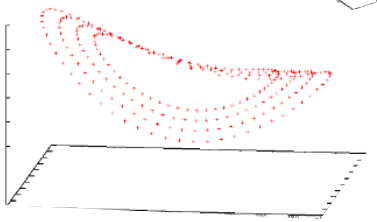
Cenaero SAFRAN Snecma

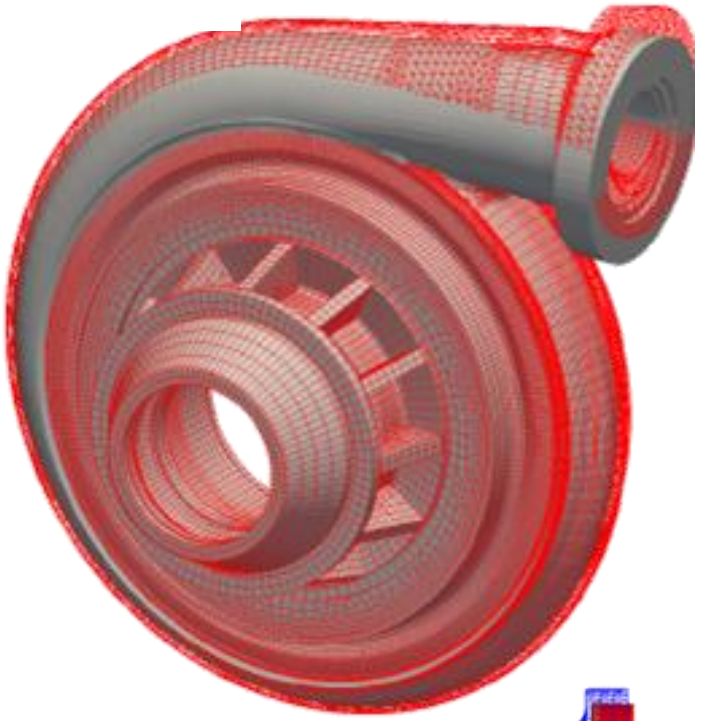
PRÉSENTATION DES RÉSULTATS
ESTIMATION DES DÉFORMATIONS RÉSIDUELLES

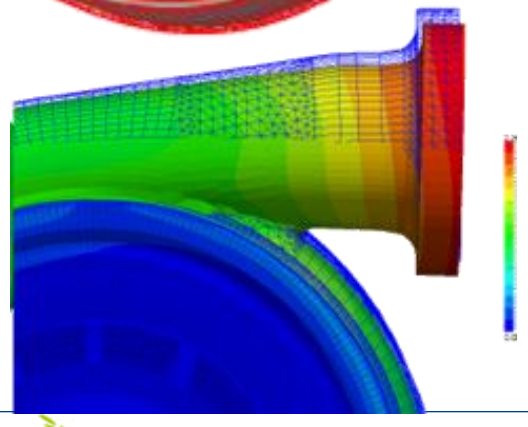
- **Définition des opérations post-usinage,**
- **Prédiction des surépaisseurs nécessaires.**











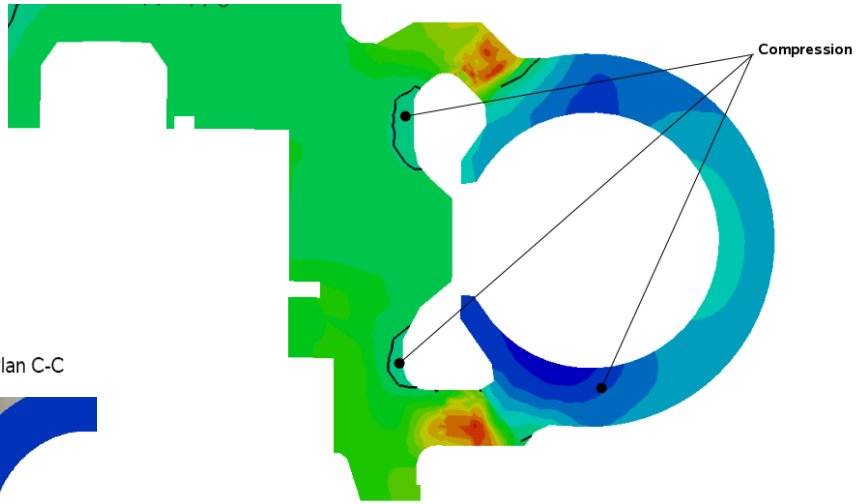
Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Cenaero

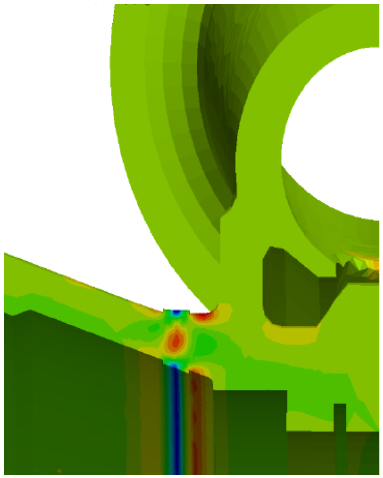
SAFRAN Snecma

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS
ESTIMATION DES CONTRAINTES RÉSIDUELLES

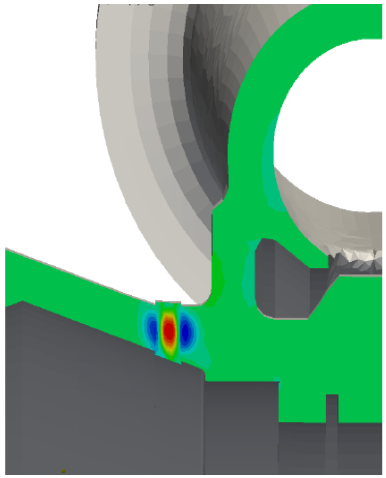
- **Estimation du niveau de contraintes résiduelles,**
- **Appui à la définition du TTh adapté.**



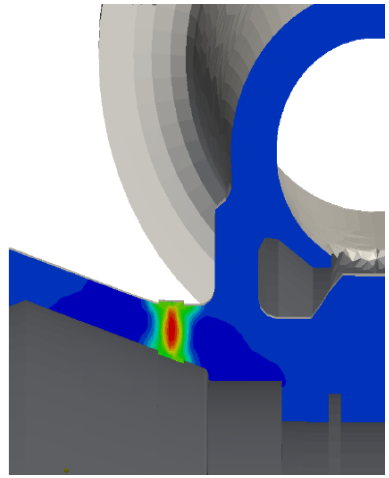
Contraintes axiales – Plan C-C

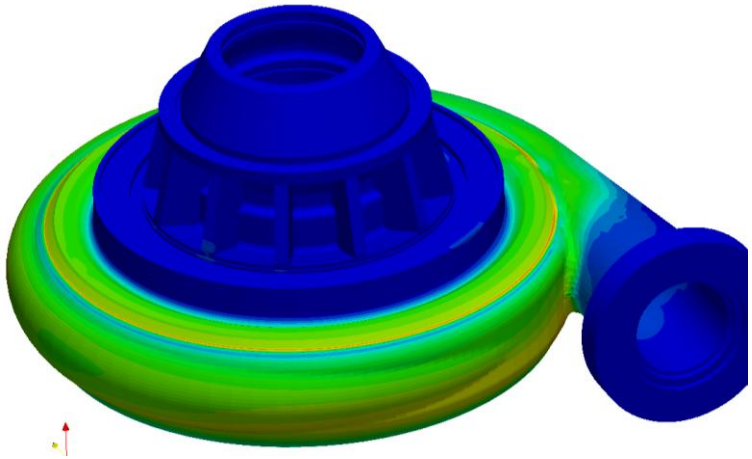


Contraintes radiales – Plan C-C



Contraintes tangentielles – Plan C-C





- **Animations des simulations**

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Cenaero SAFRAN Snecma

/04/

Conclusions

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

CONCLUSIONS ET APPORTS

- **Gestion de géométries complexes avec génération de maillages structurés dans les zones d'influence du(des) soudage(s)**

- **Modélisation d'une gamme d'assemblage complète et complexe**
  - y compris les phases de refroidissement.

- **Gestion de modèles de soudage de grandes tailles**
  - Possibilité de reprendre une simulation à la fin de chaque passe de soudage
  - Utilisation massive du parallélisme pour limiter le temps de restitution

- **Perspectives :**
  - Réduction du temps de simulation en vue de l'optimisation des gammes (nombre de passes, etc.).

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

CONCLUSIONS ET APPORTS

➔ Développement d'une TP forte pression

- Soudage de parois épaisses,
- Diminution du temps de mise au point et du risque lié à la mise au point.

➔ Prédiction de l'ordre de grandeur des déformations en cours de soudage et des déformations résiduelles

- Pour la gamme complète de soudage (soudures TIG multipasses et soudures FE),
- Réduction de risque procédé (prédiction de la refermeture du chanfrein pour le TIG),
- Réduction des opérations intermédiaires (TTh, usinage),
- Prédiction des surépaisseurs à prévoir sur les surfaces fonctionnelles.

➔ Estimation de l'ordre de grandeur et de la répartition des contraintes résiduelles

- Appui à la définition des opérations post-usinage (TTh),
- Prise en compte en dimensionnement (impact sur la durée de vie calculée).

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Cenaero SAFRAN Snecma

RÉFÉRENCES

[A. Pyre, 2014]

Alain Pyre, *Les enjeux de la simulation thermomécanique du procédé de soudage sur moteurs fusées*, Journée 3AF-CNES-ONERA (Thermomécanique des structures aéronautiques et spatiales), ENAC, Novembre 2014, Toulouse

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Cenaero

SAFRAN Snecma