



PSA PEUGEOT CITROËN

Centre Technique de la Garenne-Colombes

Intégration de l'historique du procédé de soudage dans les calculs de tenue

31 mars 2011, Congrès SNS France
Ngadia Taha NIANE – DCTC/CMEG/INM/MAHC
Philippe BRISTIEL – DCTC/CIMB/INCV/USPO
Nikolaz GARSOT – ALTER SOLUTIONS

Sommaire

Introduction

Simulation transitoire du soudage

Filière de calcul Sysweld

Conclusions & Perspectives

Introduction

La problématique

Les procédés de fabrication génèrent :

- ⇒ Des **déformations** (distorsions) → défauts géométriques
- ⇒ Des **contraintes résiduelles** → problèmes possibles de tenue mécanique. Ces contraintes résiduelles, de compression, sont toutefois le but recherché dans le cas des traitements thermiques et thermochimiques, du galetage ou du grenaillage.
- ⇒ Des **transformations métallurgiques** (hétérogènes) → problèmes possibles d'usure (dureté), de tenue (Re/Rm)...

Contraintes résiduelles et distorsions proviennent des déformations plastiques hétérogènes générées par le procédé (gradients thermiques, gradients métallurgiques, efforts externes...) ainsi que des différences de volume des phases métallurgiques

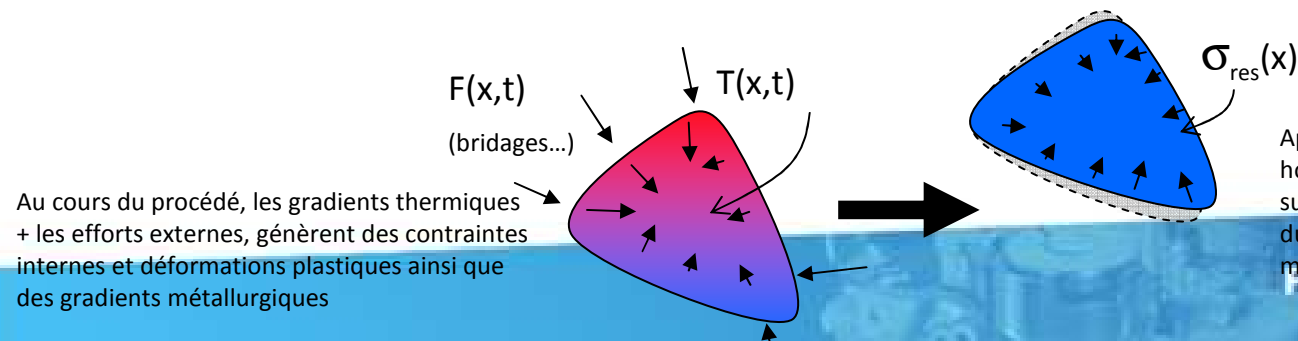
Objectifs

Aide à la mise au point des procédés

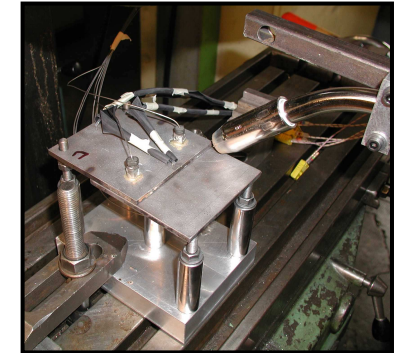
- Réduction des **coûts** et **délais** (moins d'essais)
- Simulation de la métallurgie et des distorsions liées au procédé

Prise en compte des procédés dans les calculs de tenue

- Amélioration de la **qualité**
- Simulation de la métallurgie et des **contraintes résiduelles** engendrées par les procédés



Soudage à clin



Les transformations métallurgiques jouent un rôle important sur les résultats du procédé

Soudage en T



Après le procédé (retour à une température homogène et suppression des efforts externes) il subsiste des contraintes internes (dites résiduelles) dues aux déformations plastiques et gradients métallurgiques

PSA PEUGEOT CITROËN

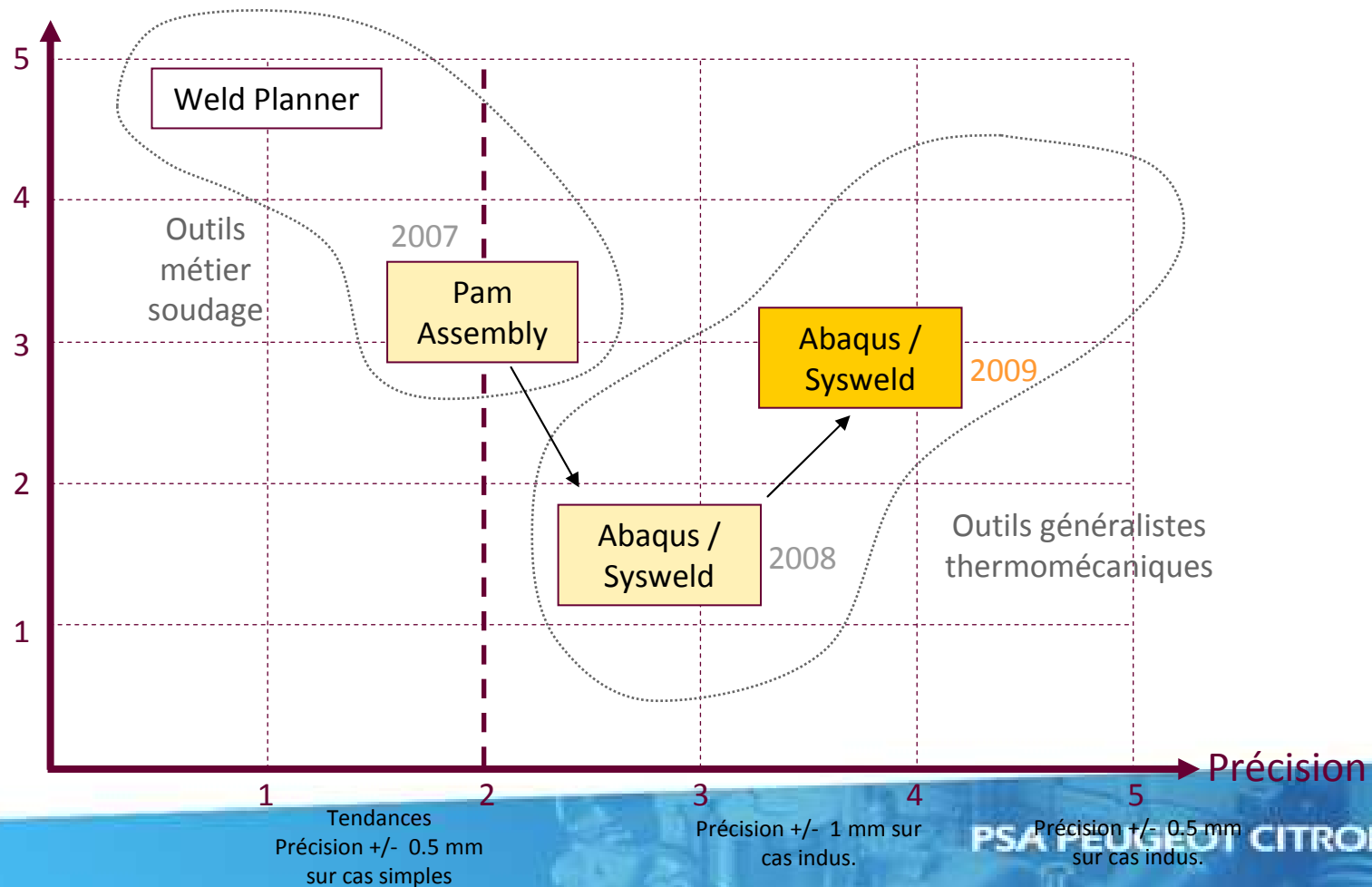
Introduction

Simulation du soudage

Méthodologie de calcul adoptée : modélisation globale avec Sysweld

⇒ Depuis 2010, poursuite des travaux sur SYSWELD exclusivement

Facilité de
mise en
œuvre



Introduction

Prise en compte des phénomènes métallurgiques

Quelques rappels de métallurgie des aciers

L'**acier** est un polycristal, mélange de fer, carbone et autres éléments d'alliage, qui peut se présenter sous la forme de différentes **phases solides** (ou constituants) : ferrite, perlite, bainite, austénite, martensite, martensite revenue...

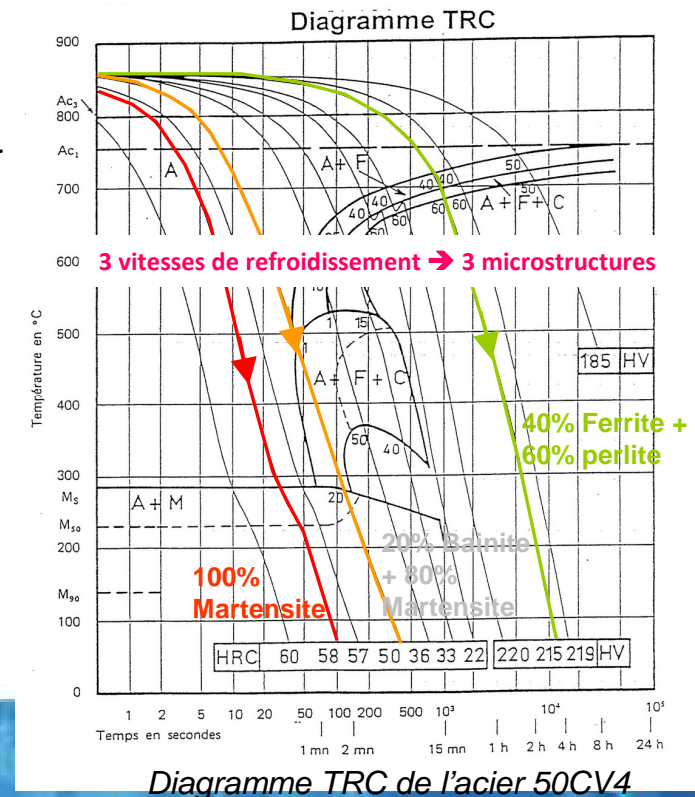
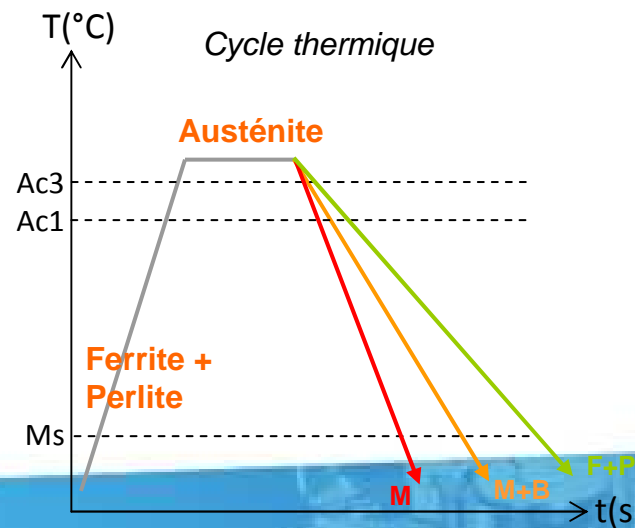
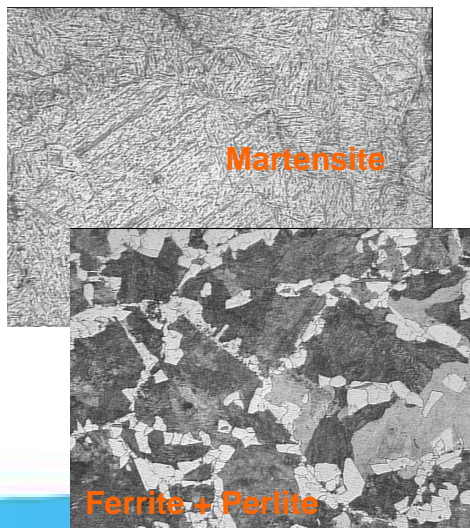
La **microstructure métallurgique** de l'acier est définie par le pourcentage de chacune de ces phases (somme des phases = 100%) et par la taille, la forme et la répartition des **grains** de ces phases.

Cette microstructure métallurgique n'est pas figée. Elle dépend notamment de l'histoire du matériau et du chargement thermique de la pièce, donc des procédés de fabrication utilisés.

Toutes les propriétés physiques de l'acier dépendent de la microstructure métallurgique

Lors d'un chargement thermique (traitement thermique, soudage...), la microstructure métallurgique évolue. Les résultats mécaniques (propriétés mécaniques finales, duretés, contraintes et déformations résiduelles) dépendent donc de ce chargement et du comportement métallurgique et mécanique de l'acier.

Exemples de microstructures



Introduction

Prise en compte des phénomènes métallurgiques

Prise en compte de l'influence de la microstructure métallurgique sur les propriétés physiques, **passé par la définition des propriétés de chaque phase métallurgique**

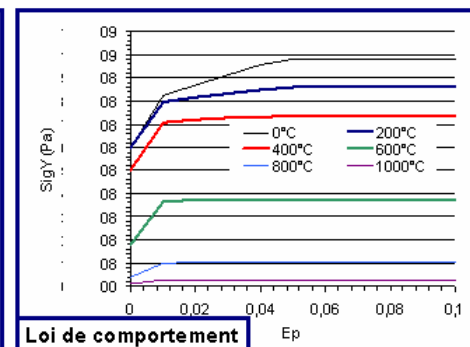
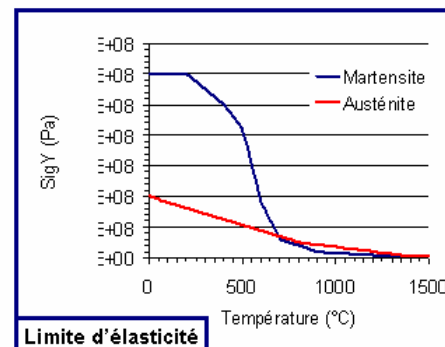
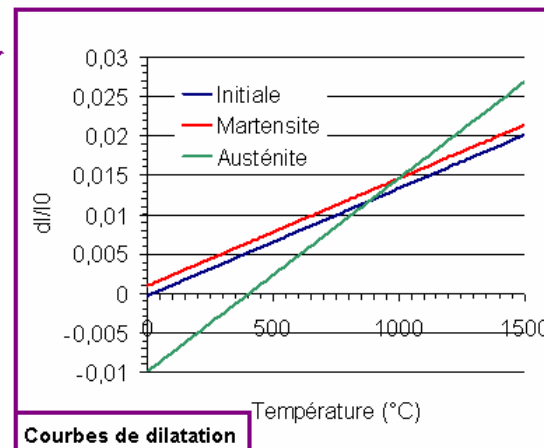
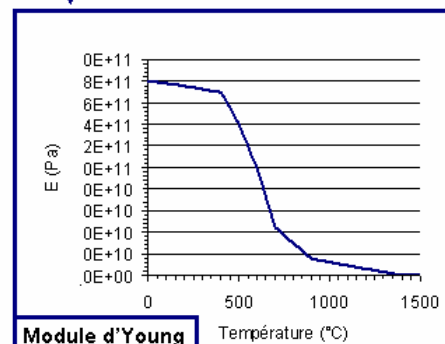
La propriété moyenne à l'échelle macroscopique est obtenue par une loi de mélange

Intégrer la métallurgie dans les simulations revient donc à intégrer de **nouvelles variables** (% phases, tailles de grain...) dont dépendent les propriétés physiques

*Exemple de données mécaniques
fonctions de la température et des
phases métallurgiques*

Traction à chaud

Dilatométrie

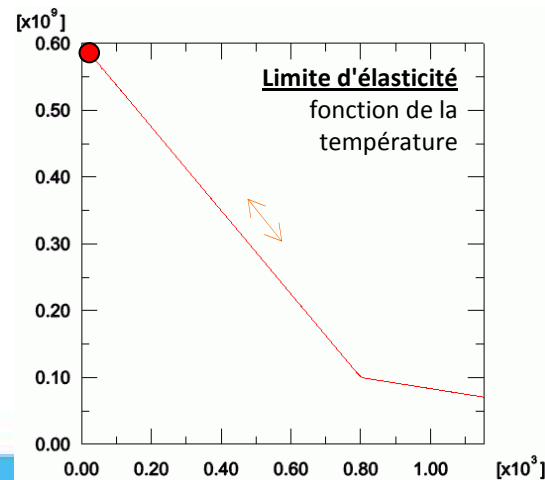
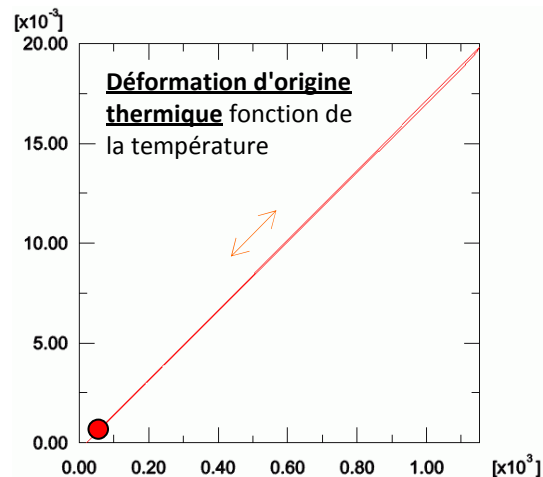


Introduction

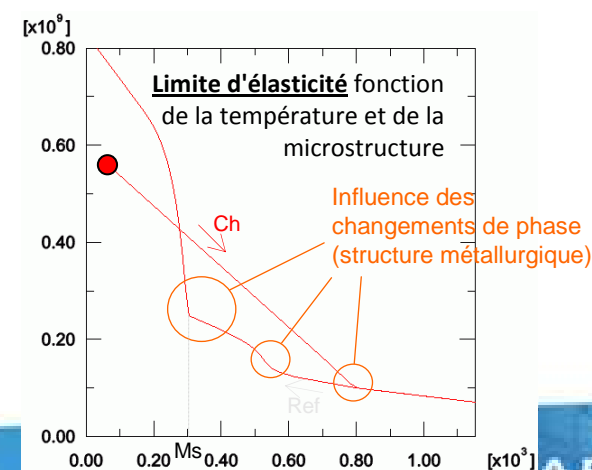
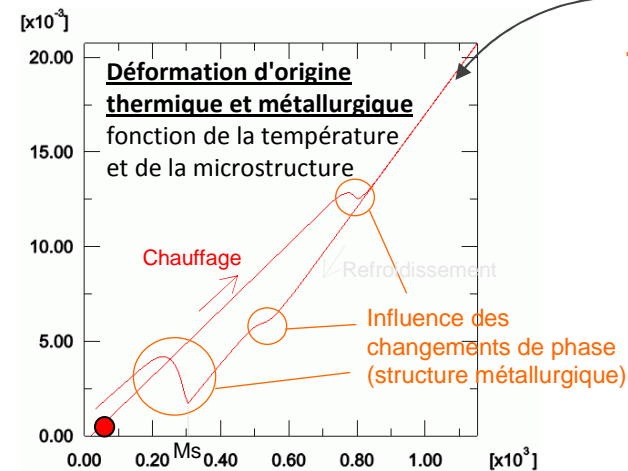
Prise en compte des phénomènes métallurgiques

Prise en compte des phénomènes métallurgiques

Sans métallurgie



Avec métallurgie



Courbe dilatométrique $dl/l_0=f(T)$

Pente = coefficient de dilatation

Variation de pente \rightarrow transformation métallurgique

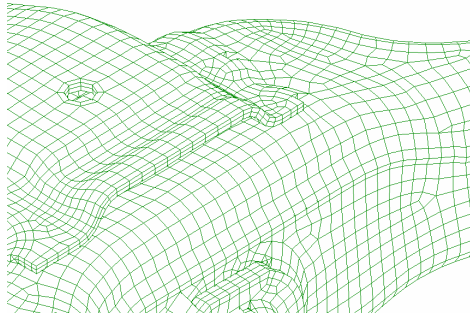
Fonction de l'histoire



Fonction du point !

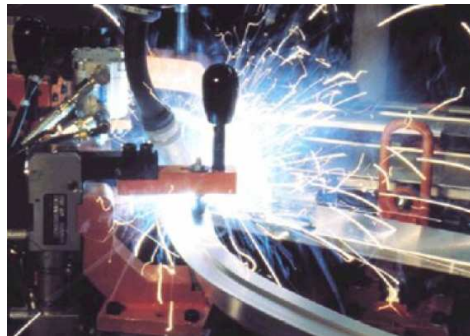
Simulation du soudage

Principe



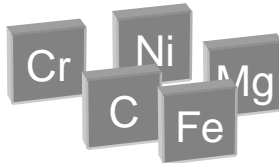
Maillage

- Pièces
- Cordons
- Trajectoires



Param. Procédé

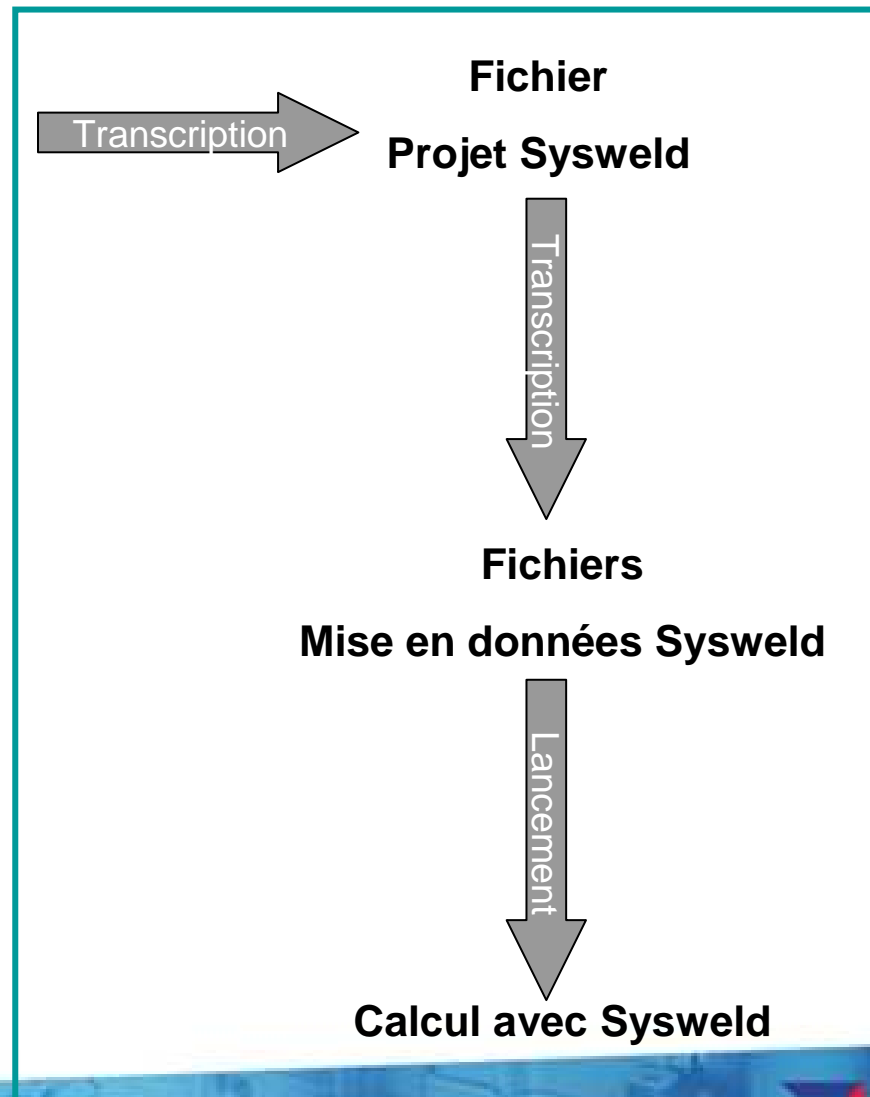
- Bridage
- Séquence
- Vitesses de dépose
- Conditions initiales



Prop. Matériaux

- Thermique
- Mécanique
- Métallurgique

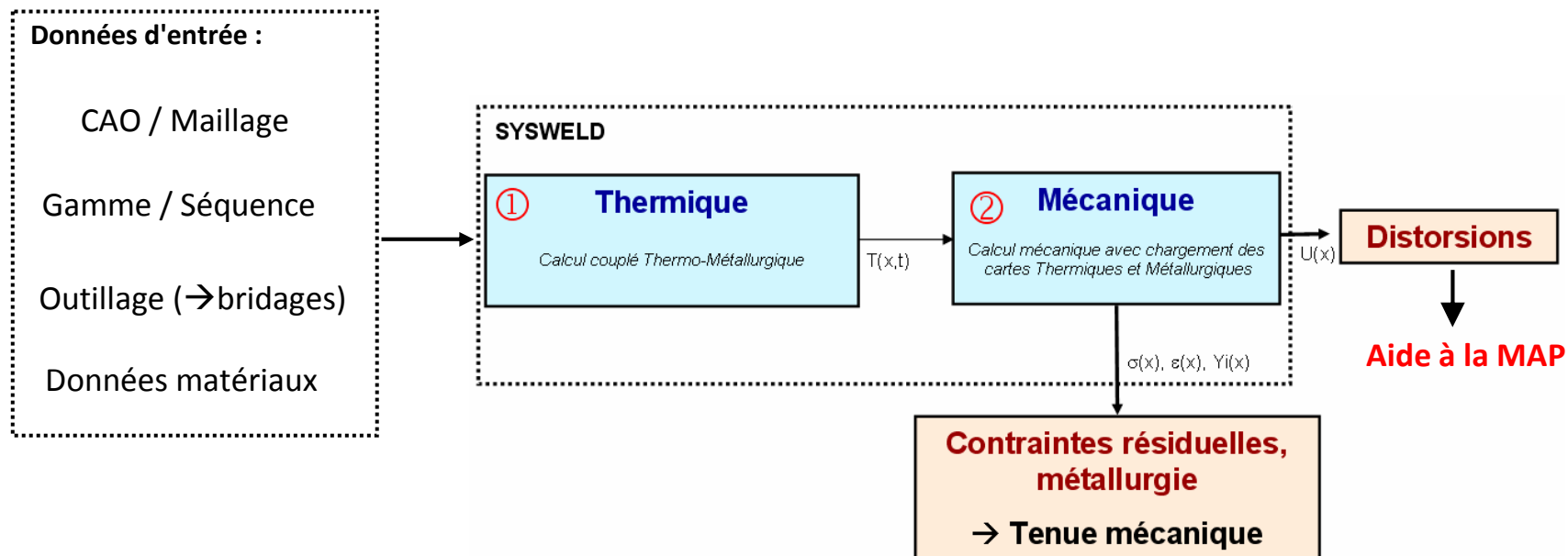
Automatisé



Simulation du soudage

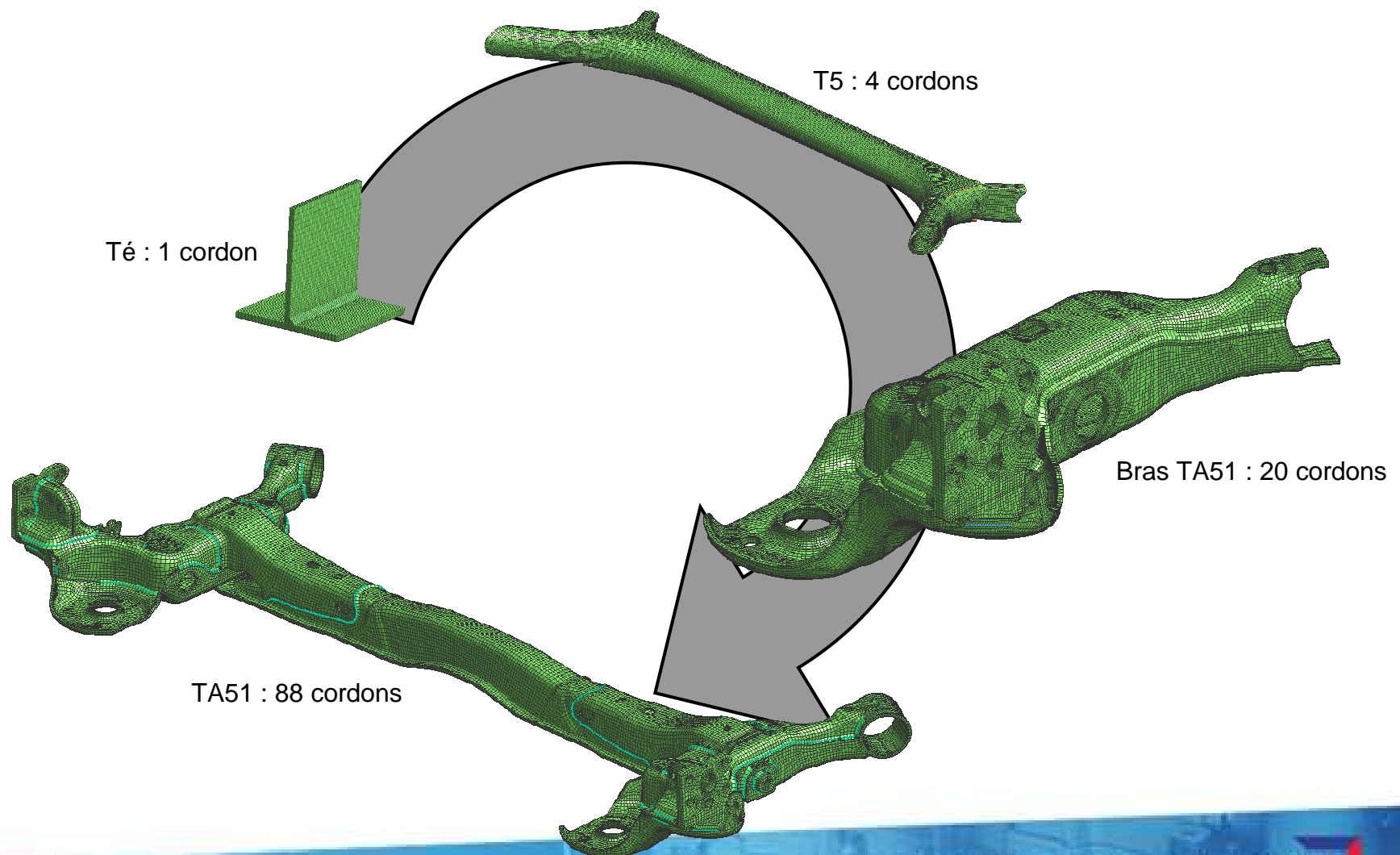
Méthodologies

- ⇒ Nouvelles Méthodologies (maillage, modélisation des sources...)
- ⇒ Simulation découpée en 2 étapes :
 - ⇒ ① Calcul couplé Thermo-Métallurgique,
 - ⇒ ② Calcul Mécanique avec chargement des cartes Thermiques et Métallurgiques précédemment calculées



Simulation transitoire du soudage

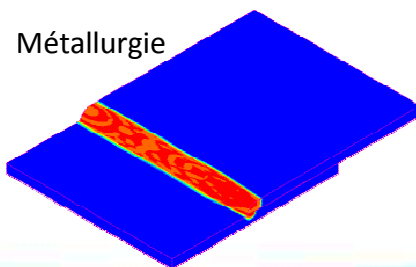
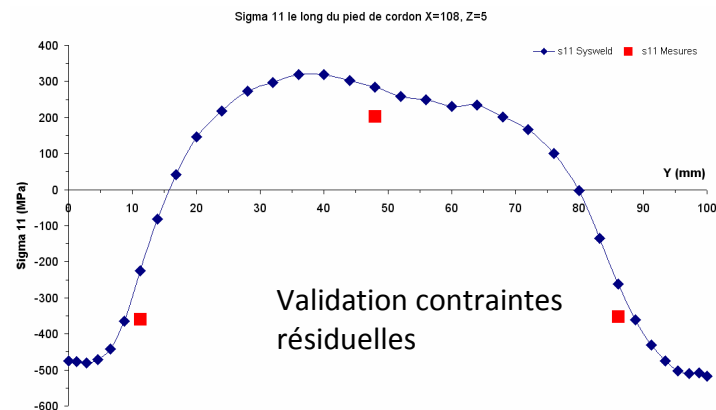
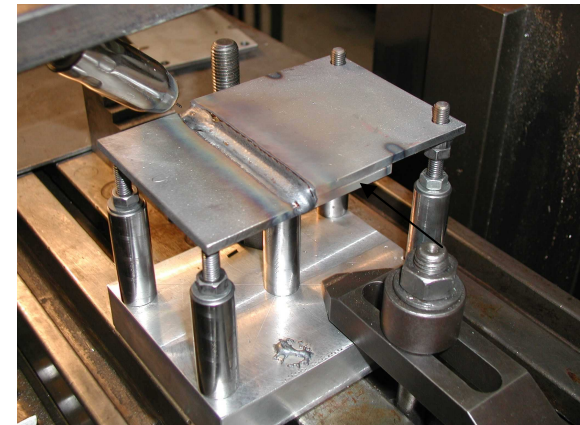
Faisabilité d'un cas industriel



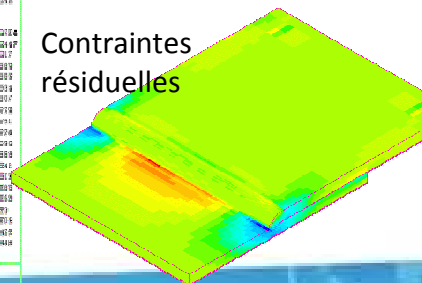
Simulation transitoire du soudage

Cas de validation

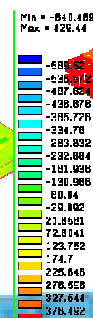
- ➔ Plaques à clin (PSA)
- ➔ 2 Plaques ép. 5 mm soudées à clin
- ➔ Matériau HE-445D
- ➔ Calculs réalisés sur maillage solide et mixte, avec Sysweld et Abaqus
- ➔ Bonne corrélation sur les distorsions (< 0.3 mm) et les C.R.



Contraintes résiduelles



Mesure : +2.15 mm
Simu. : +1.95 mm



Mesure : +1.85 mm
Simu. : +1.55 mm

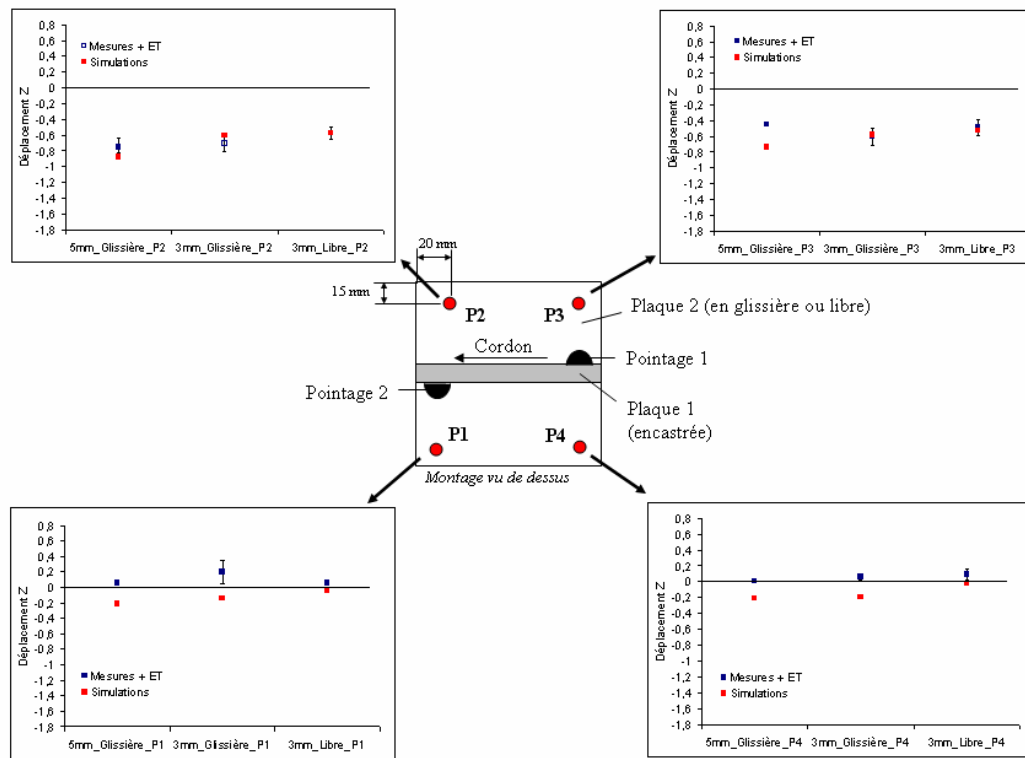
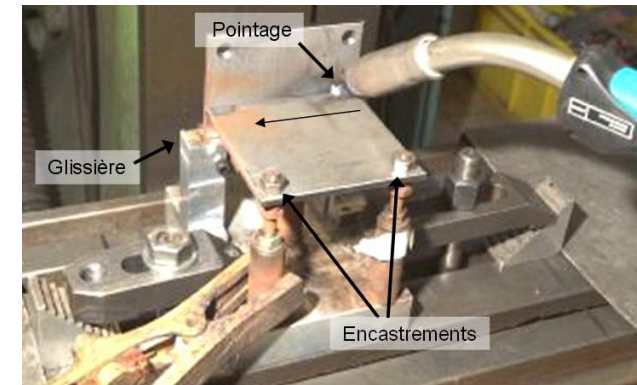
Distorsions

PSA PEUGEOT CITROËN

Simulation transitoire du soudage

Cas de validation

- Plaques en T (PSA)
- Matériau HR60
- 2 épaisseurs et 2 conditions de bridage
- Calculs réalisés sur maillage solide et mixte, avec Sysweld et Abaqus
- Bonne corrélation sur les distorsions (< 0.4 mm)

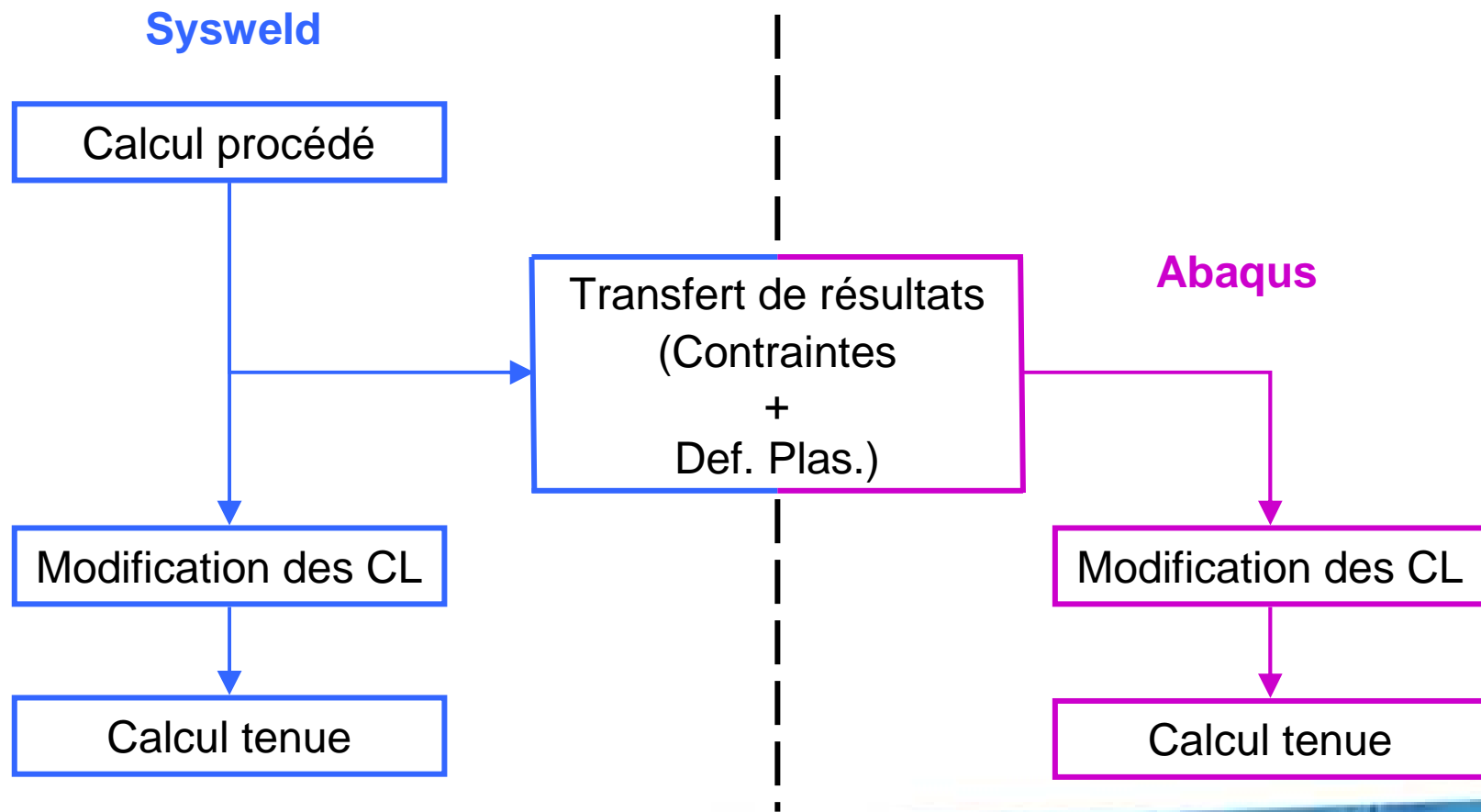


Déplacements suivant Z des 4 points de mesure pour les 3 configurations

Simulation transitoire du soudage

2 Chaines de calculs possibles

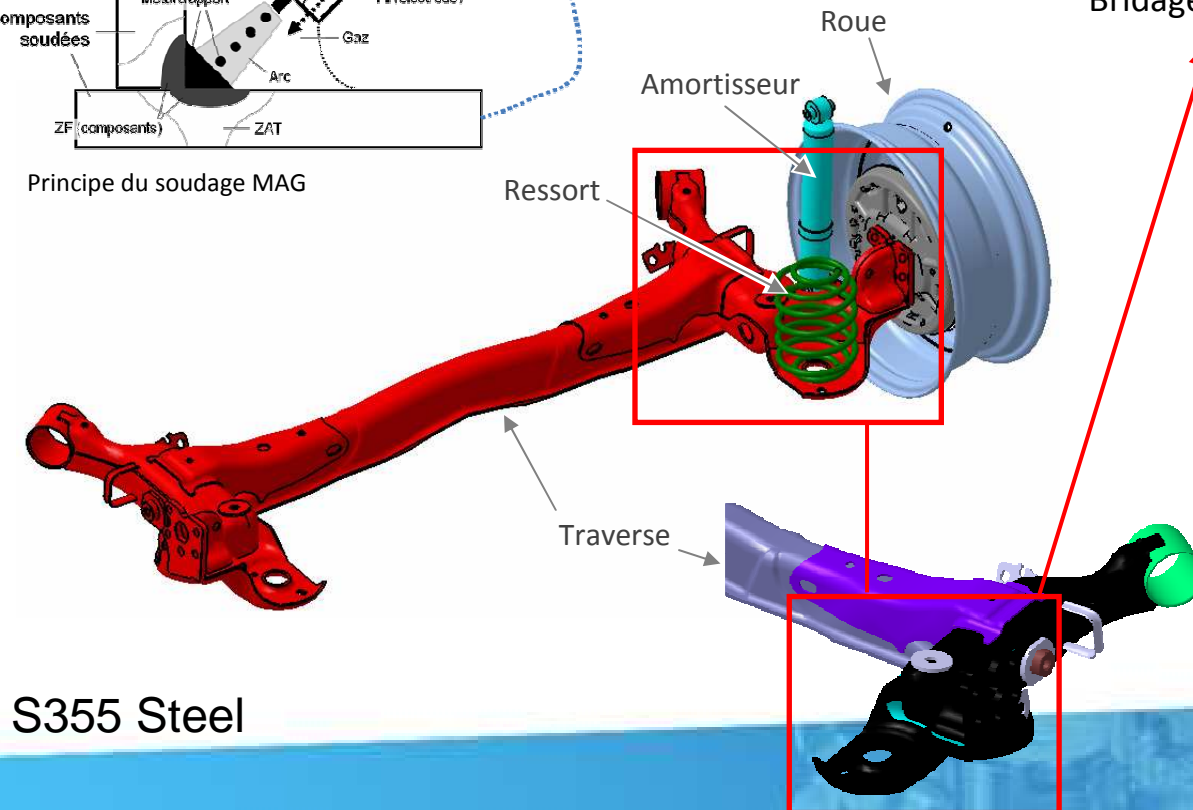
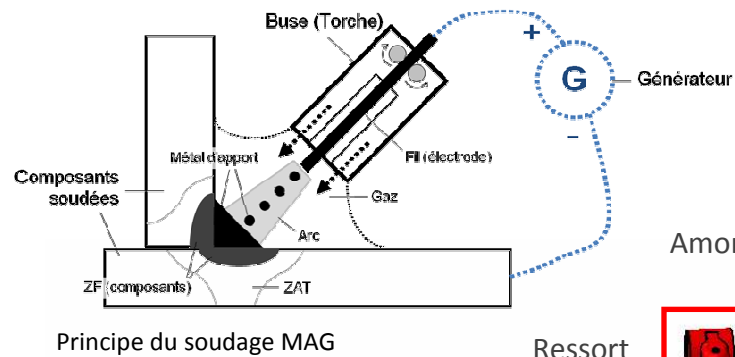
- Filière Sysweld
- Filière Sysweld + Abaqus



Simulation transitoire du soudage

Simulation du soudage

Exemple : Traverse arrière déformable
Assemblage de 20 pièces par soudage MAG
88 cordons de soudure (longueur totale 5 m)



Bridages



Soudage MAG

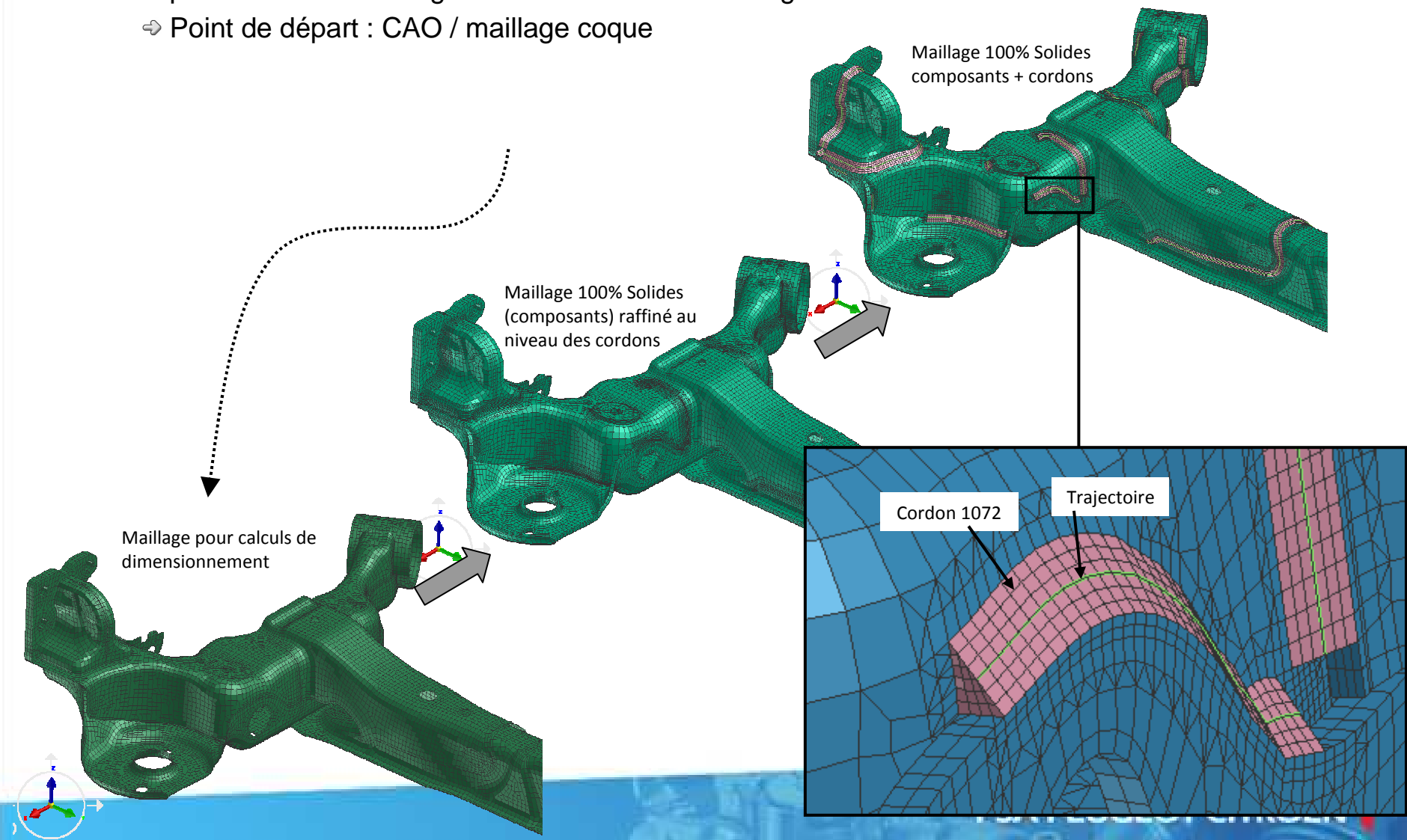
Cordons de soudure



Simulation transitoire du soudage

Nouveau maillage

- ⇒ préconisations maillage basées sur la méthodologie
- ⇒ Point de départ : CAO / maillage coque

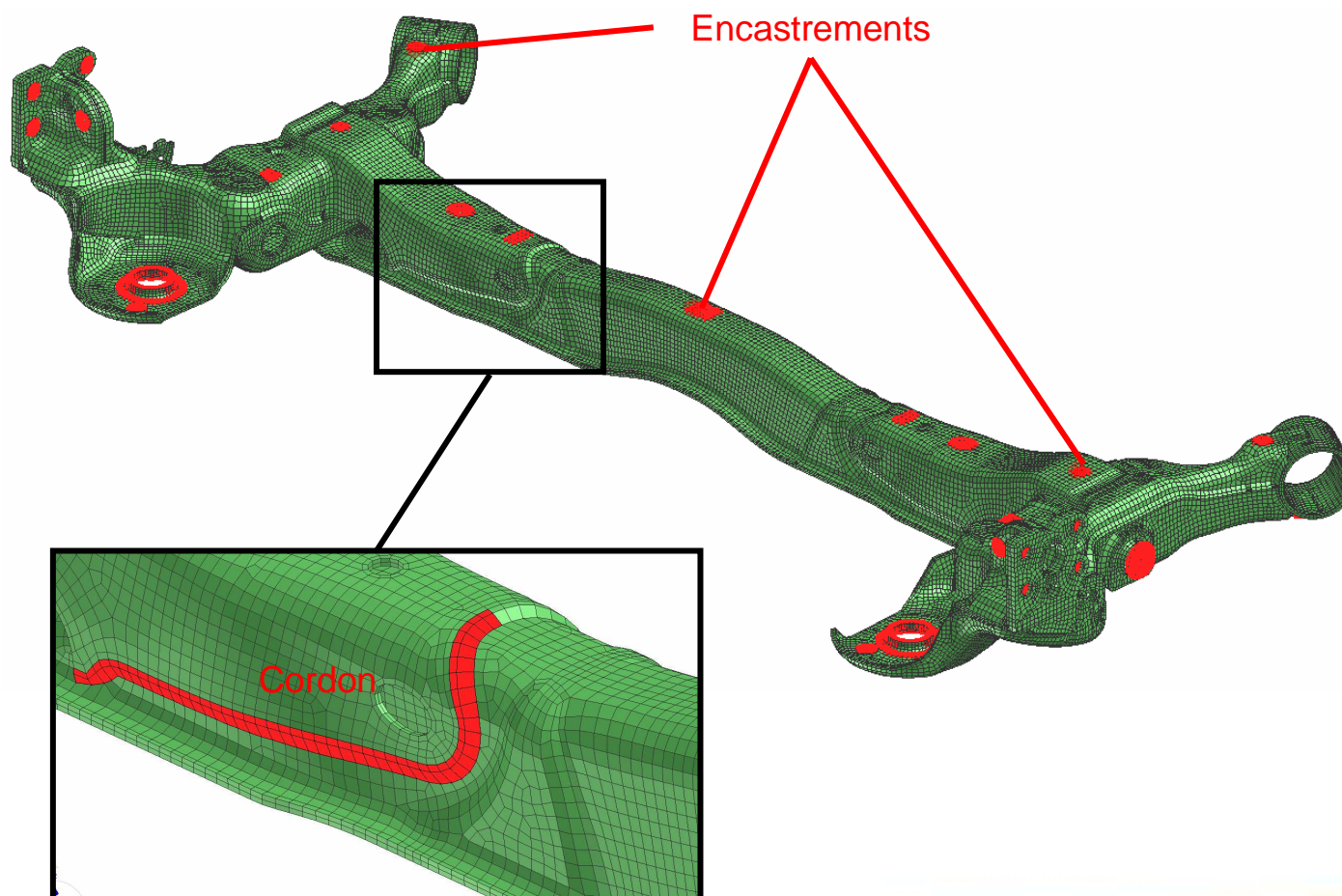


Filière de calcul Sysweld

Calcul procédé – soudage traverse A51

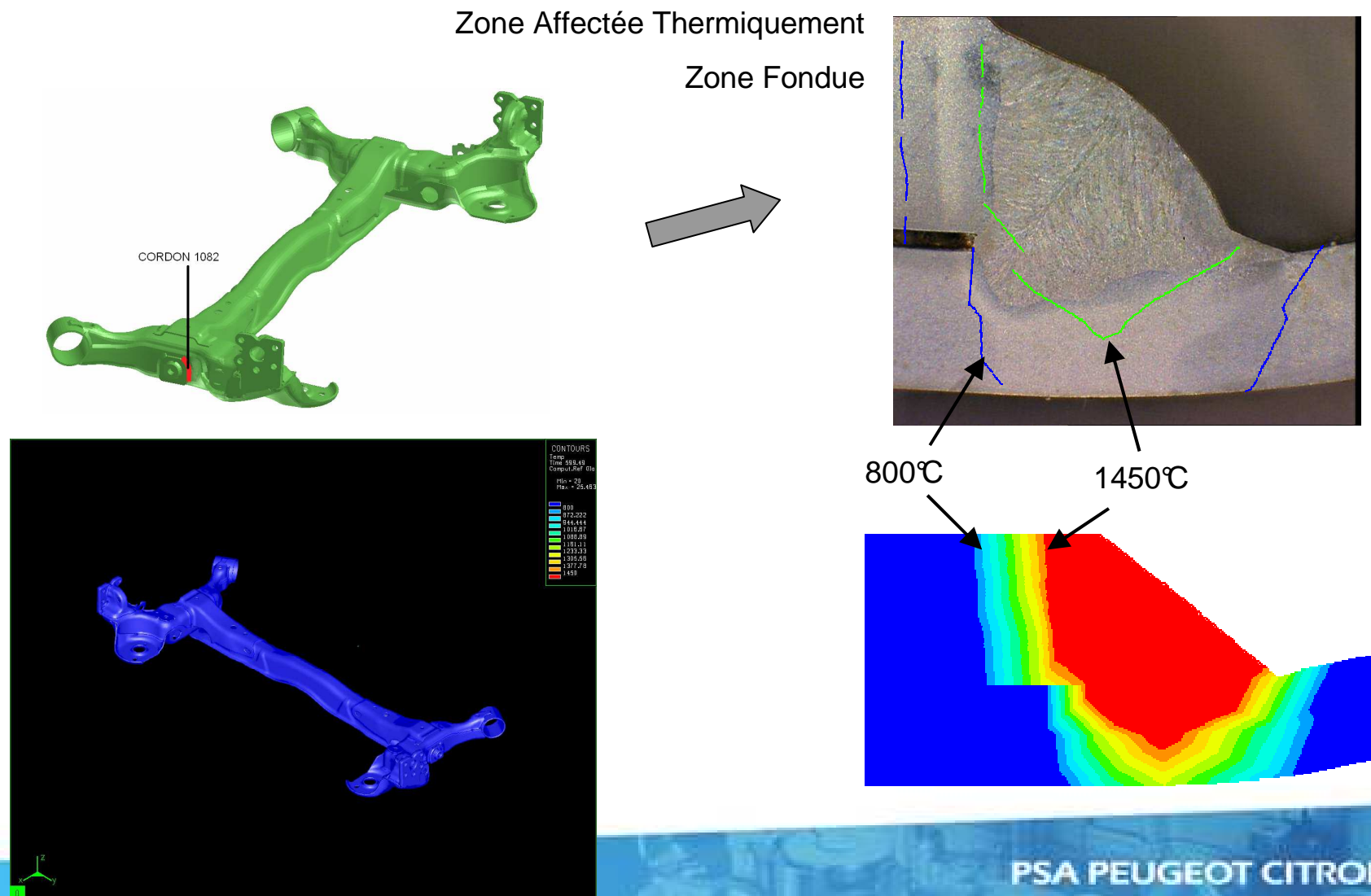
Nœuds =144290

Els (tétra. lin.)=193572



Filière de calcul Sysweld

Calcul procédé – soudage traverse A51



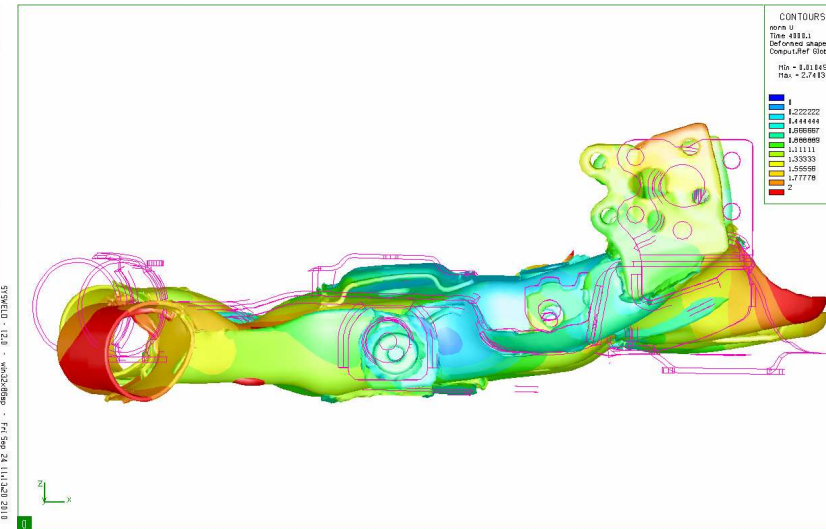
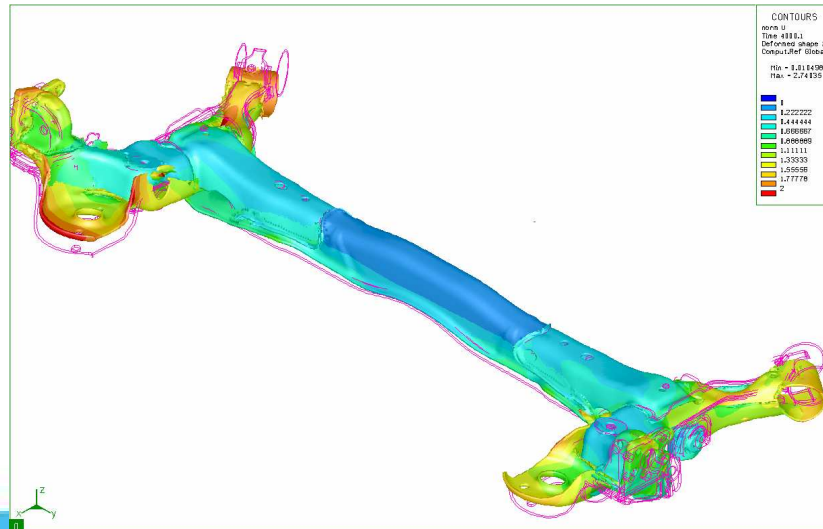
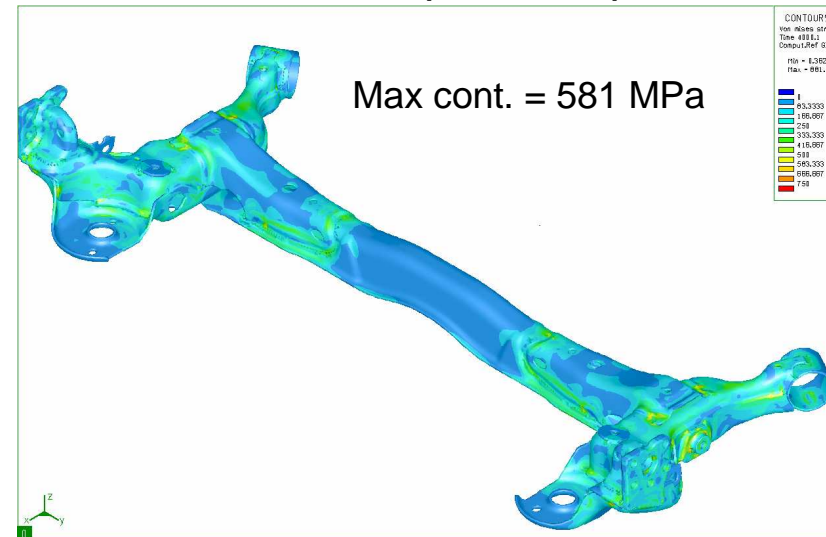
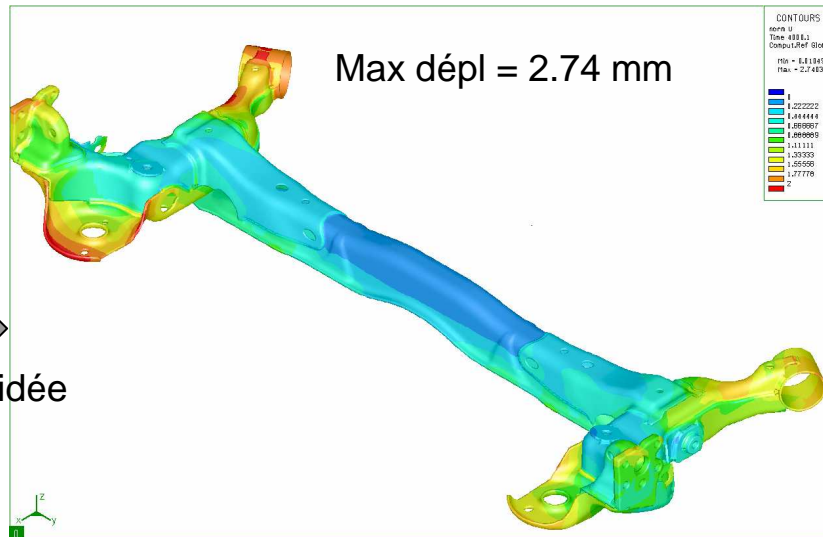
Filière de calcul Sysweld

Calcul procédé – Etat mécanique en fin de soudage

Déplacement

Contrainte (von Mises)

↓
Débridée



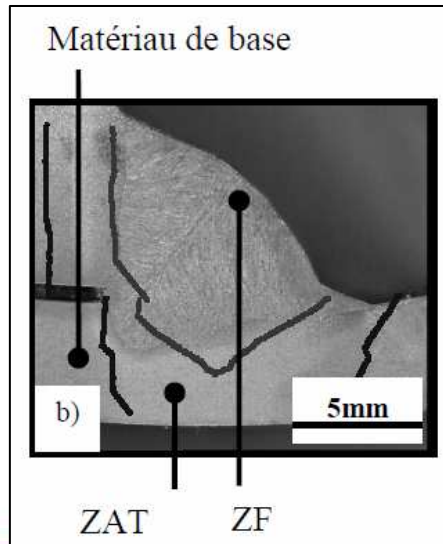
→ Contre carrossage de la plaque appui fusée

Filière de calcul Sysweld

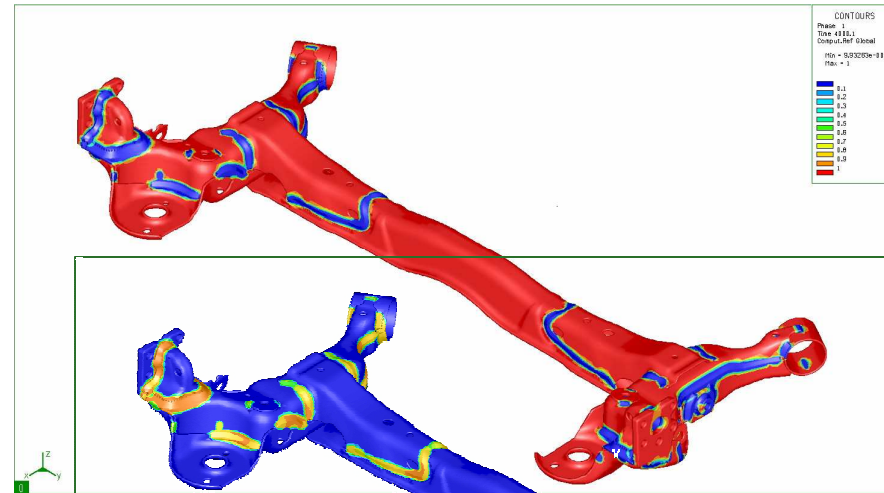
Résultats

→ Etat métallurgique en fin de soudage

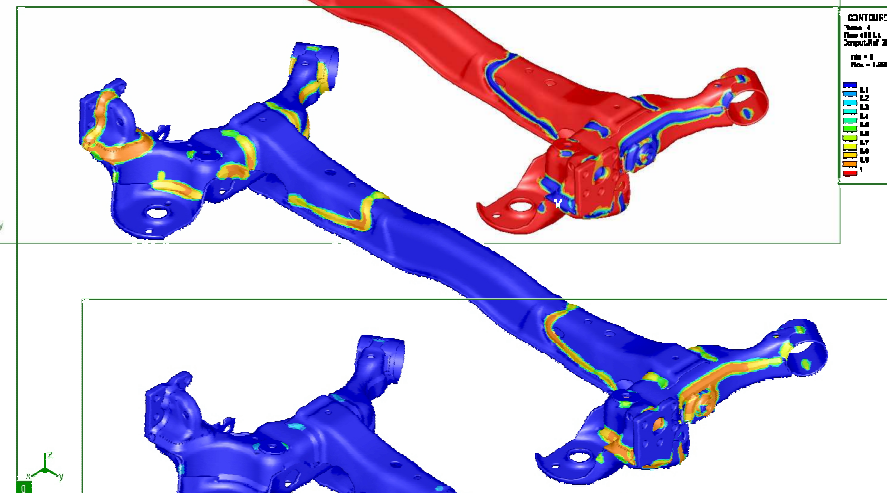
Comparaison ZAT et ZF
simu. / micrographie
(cordon 1082)



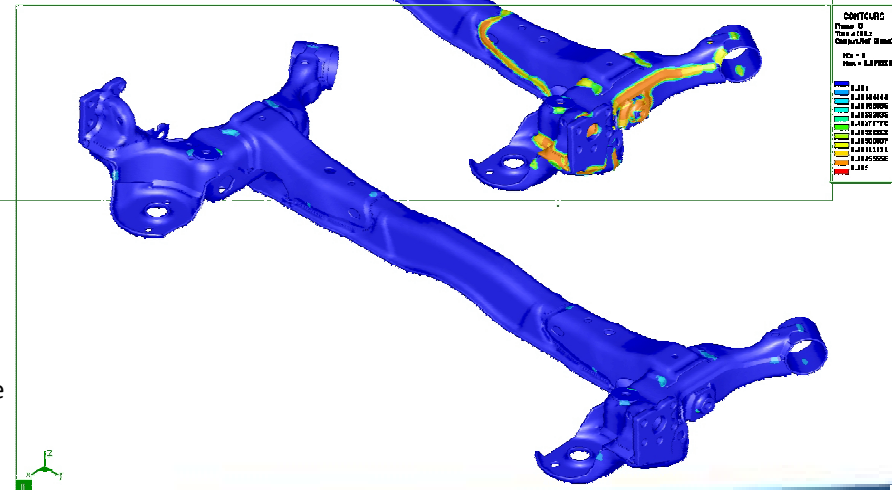
Microstructure initiale



Bainite



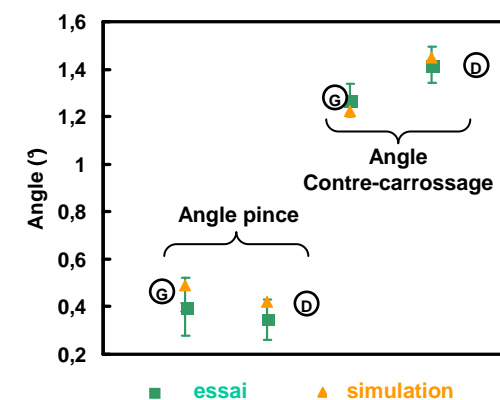
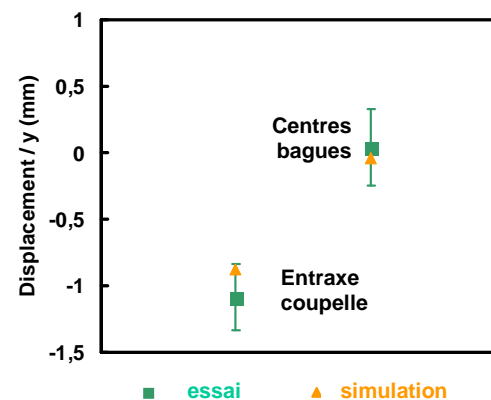
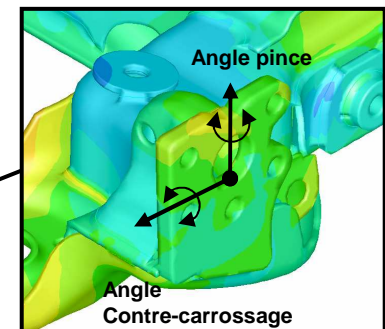
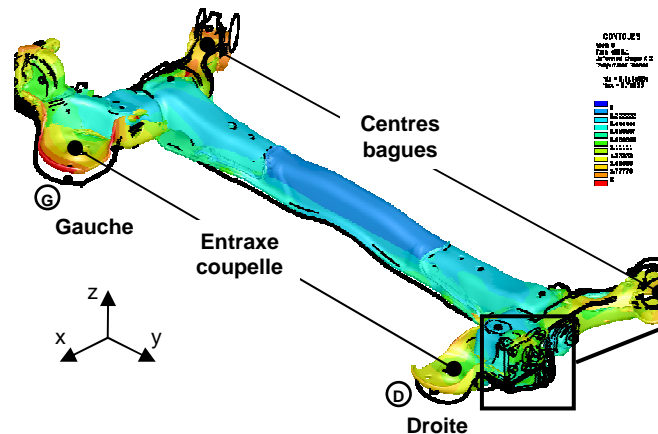
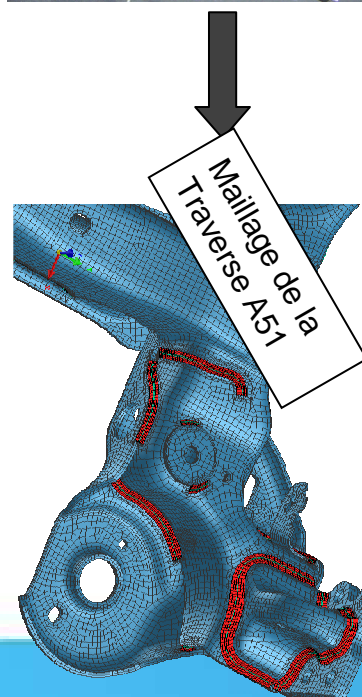
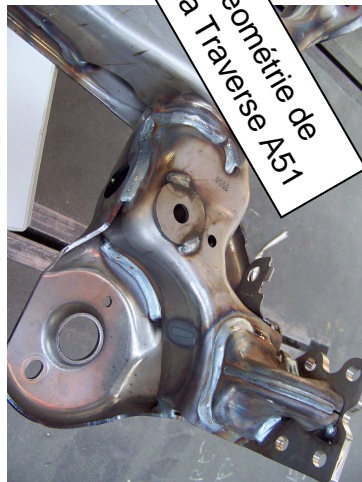
Martensite



Filière de calcul Sysweld

Calcul procédé – validation du soudage

Déplacement



Mesure des déplacements suivant la direction y :

- entre les coupelles gauche et droite
- entre les bagues

Mesure des angles des plaques appui fusée suivant les directions x et z

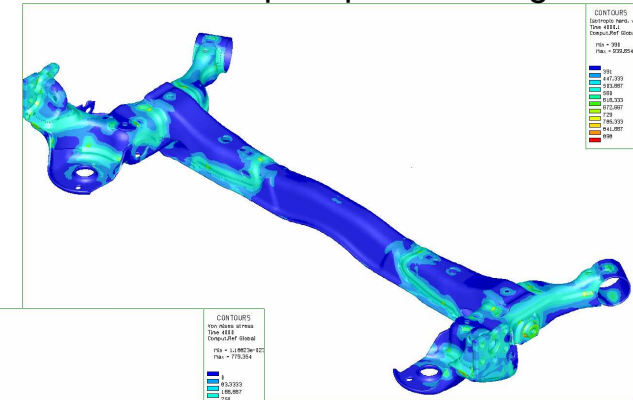
😊 Angle et déplacements corrélerent bien aux essais → validation de la simulation du procédés de soudage

Filière de calcul Sysweld

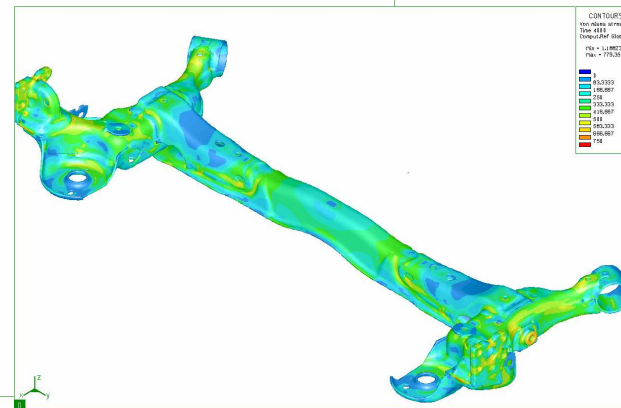
Calcul procédé – soudage traverse A51

Principaux résultats pour prise en compte dans calculs de tenue

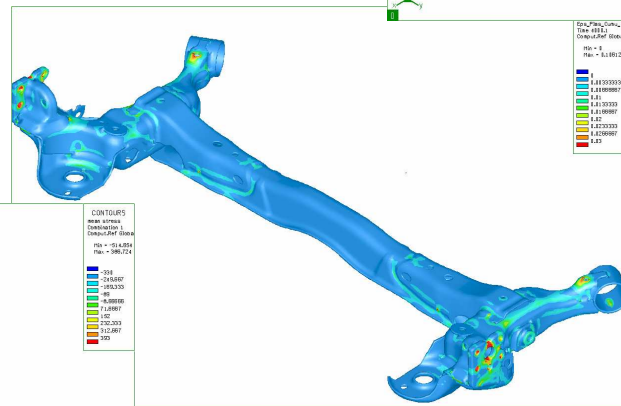
Limite élastique après soudage



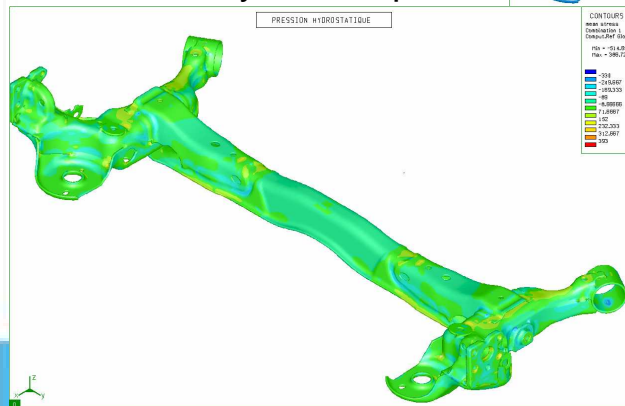
Contraintes résiduelles



Déformations plastiques

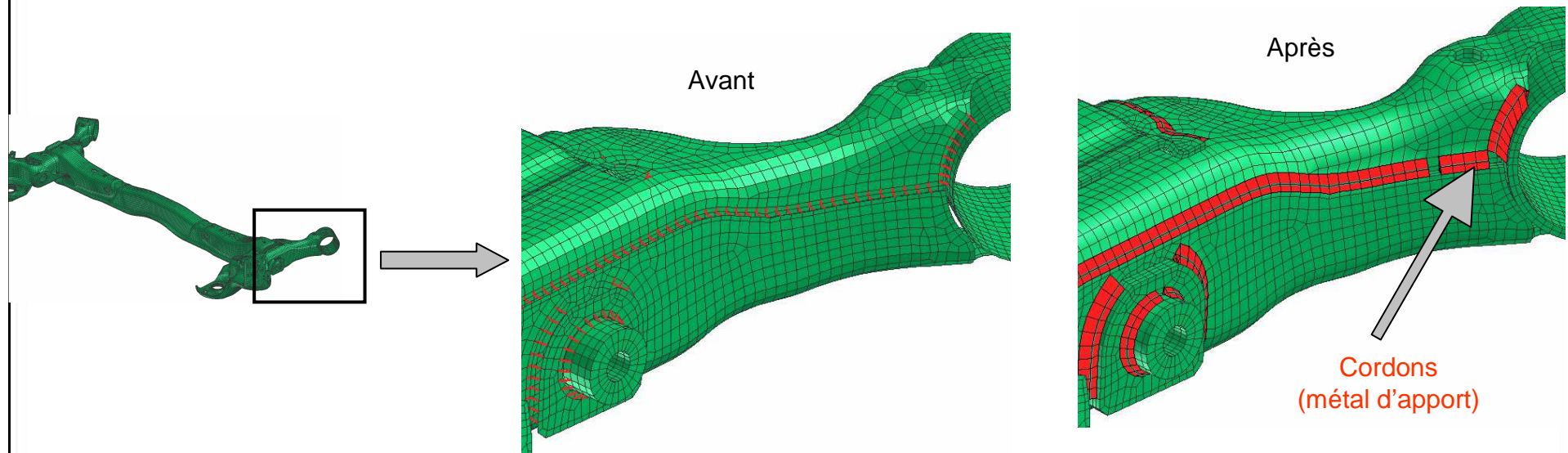


Pression Hydrostatique



Simulation transitoire du soudage

Méthodologies dimensionnement des Trains arrières automobiles

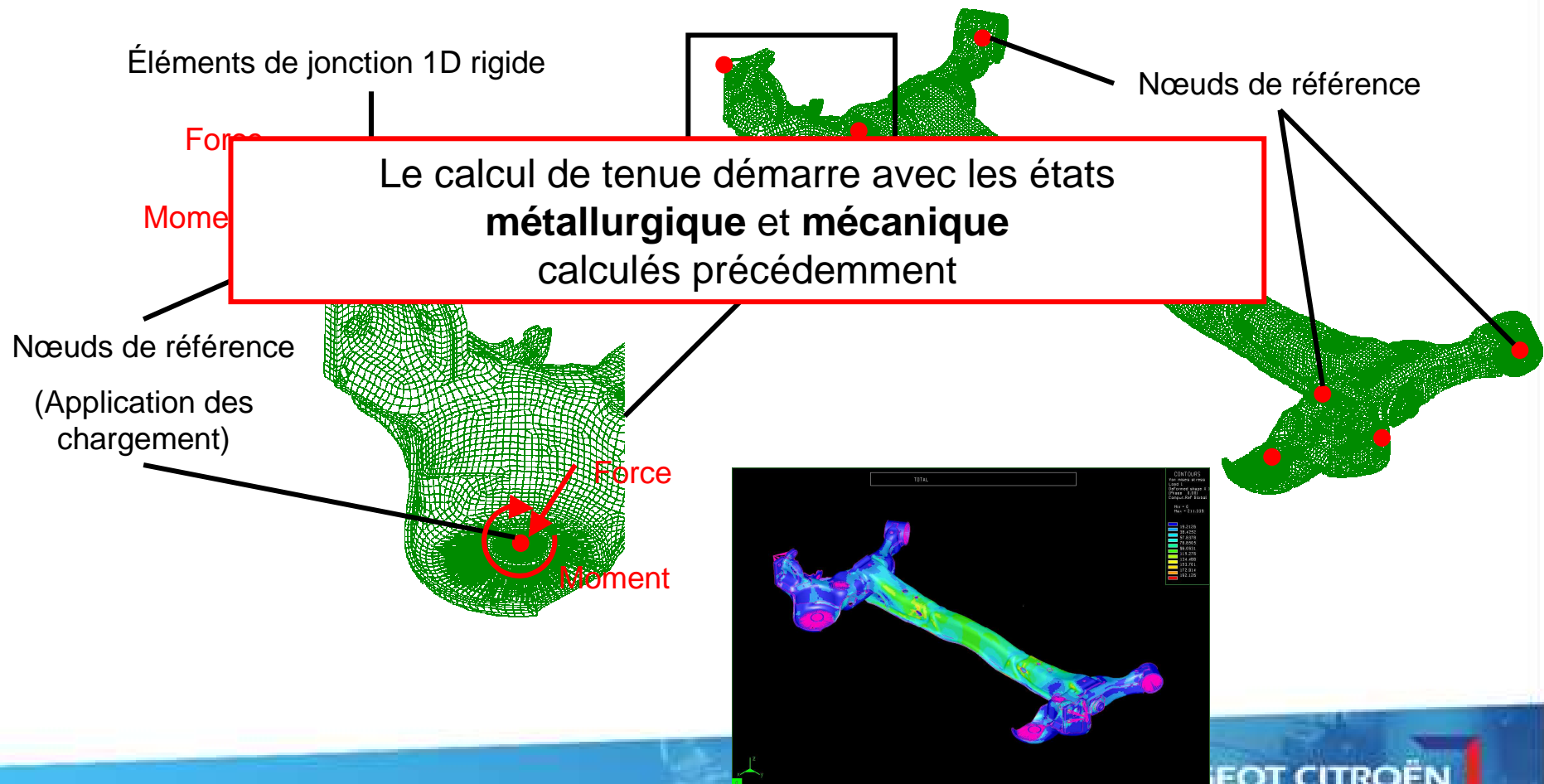


- 😊 Avant : cordons de soudure en poutres rigides
- 😊 Après : simulation du dépôt des cordons de soudure en géométrie 3D

Filière de calcul Sysweld

Calcul tenue – Poursuite du calcul

- ⇒ Modification du maillage (ajout d'éléments 1D rigide)
- ⇒ Application du chargement (forces+moments) sur les nœuds de références

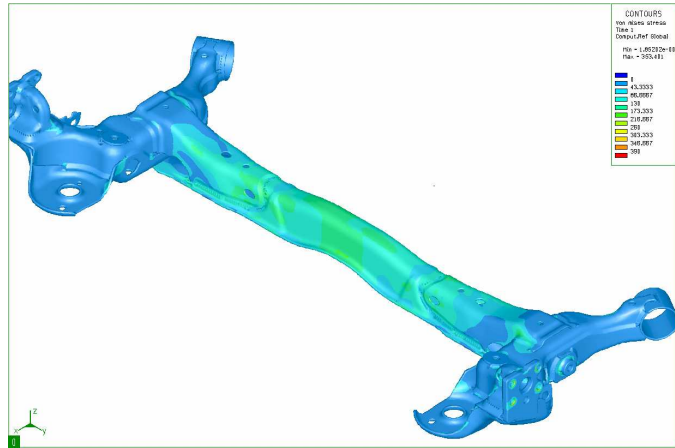
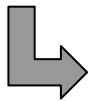


Filière de calcul Sysweld

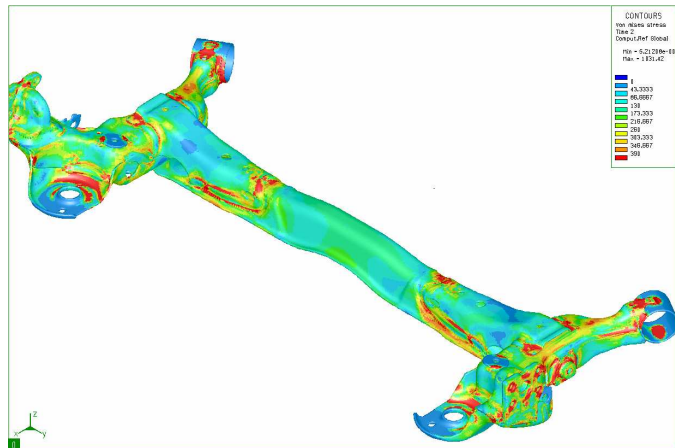
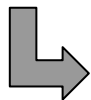
Calcul tenue en fatigue – Etat mécanique

Contrainte de Von Mises

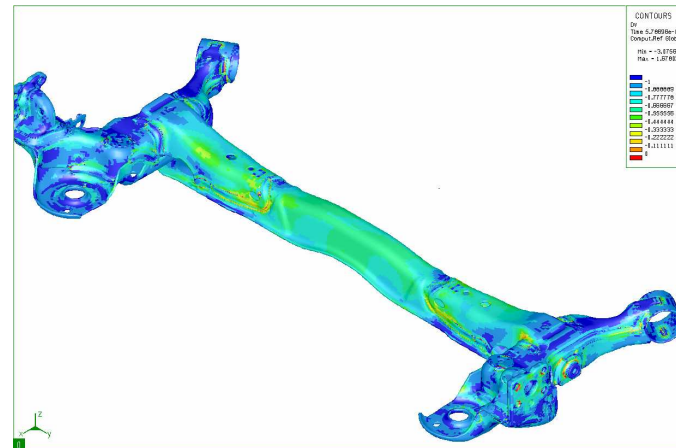
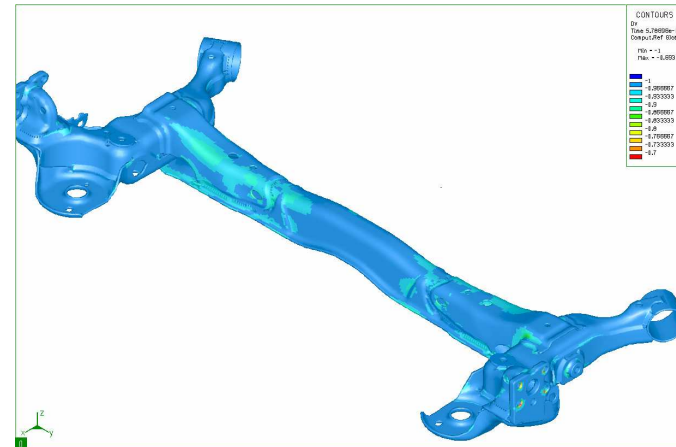
avant



après



Coefficient de Danger : critère Dang Van



☹ Avant : la pièce dimensionnée avec l'ancienne méthode a cassé

😊 Après : certaines zones de rupture observées ont été correctement prédites (à valider)

Conclusion et perspectives

Méthodologies OK

Bonne prédictivité de la simulation

- ⇒ Tendances OK
- ⇒ Précision de quelques dixièmes de mm sur cas industriel TA51

Mise en œuvre

- ⇒ Développement de méthodologies et d'outils pour pré-traitement
- ⇒ Evolution des capacités de calculs
 - ⇒ nouveau solveur SYSWELD DMP
 - ⇒ Nouveaux serveurs de calculs 24 processeurs

Travail en cours

- ⇒ Caractérisation des données matériau (JMatPro)
- ⇒ Intégration de la MAP en pré-traitement
- ⇒ Intégration du process d'emboutissage
- ⇒ Validation des résultats de fatigues

Remerciements : ESI GROUP