

Les données matériaux pour la simulation numérique du soudage

14^{ème} colloque SNS - 17 Mars 2016

Sommaire

■ Rappels

- Objectifs de la SNS
- Méthodologie
- Importance de la métallurgie
- ZAT, ZF et distorsions
- Etude de sensibilité

■ Les données matériaux

- Propriétés métallurgiques
- Propriétés thermiques
- Propriétés mécaniques
- Exemple de campagne d'essais

■ Conclusion

Sommaire

■ Rappels

- Objectifs de la SNS
- Méthodologie
- Importance de la métallurgie
- ZAT, ZF et distorsions
- Etude de sensibilité

■ Les données matériaux

- Propriétés métallurgiques
- Propriétés thermiques
- Propriétés mécaniques
- Exemple de campagne d'essais

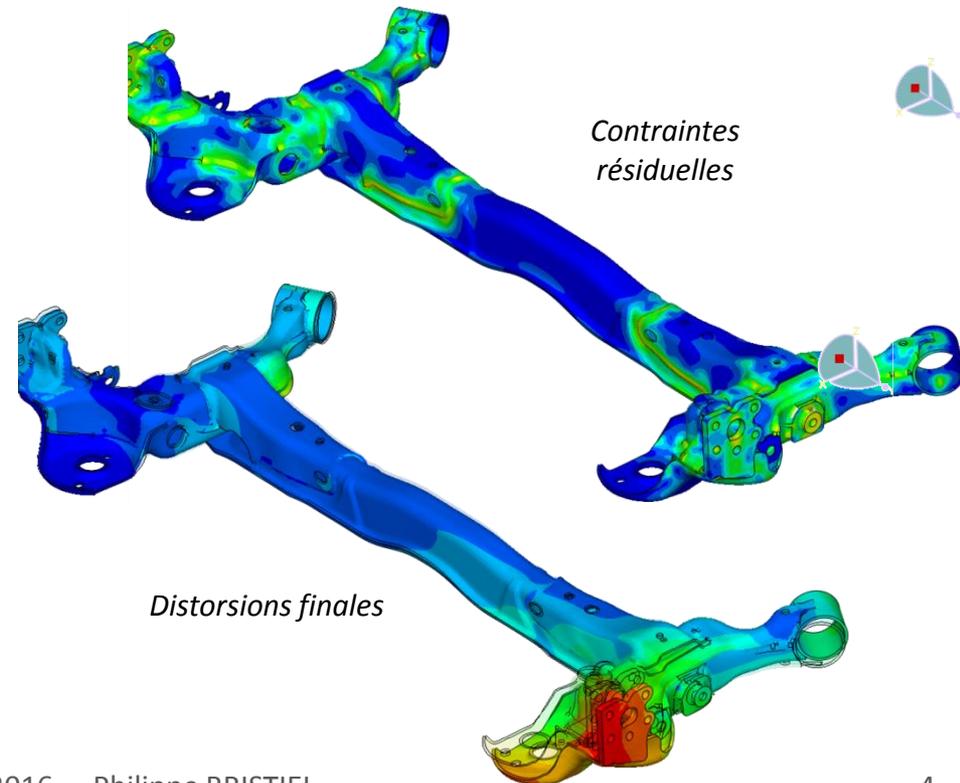
■ Conclusion

Rappels

■ Objectifs de la SNS

1. **Mise au point du procédé** : séquence de soudage, bridages, prédiction des défauts
→ Besoin de prédire les **distorsions**
2. Prise en compte du procédé en phase de dimensionnement des composants
→ Besoin de prédire les **contraintes résiduelles**

→ Choix d'une méthodologie de simulation offrant un bon compromis entre complexité de mise en œuvre et précision des résultats



Rappels

■ Méthodologie

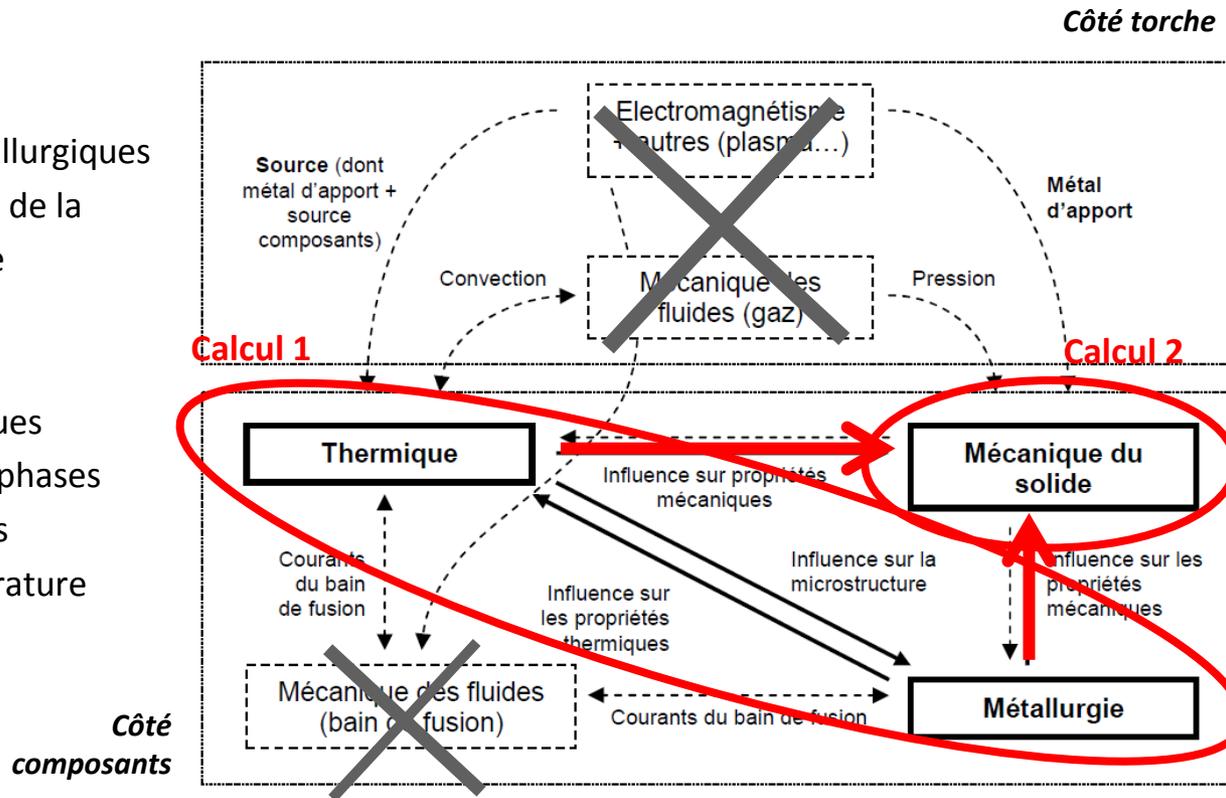
- Prise en compte uniquement des phénomènes présents au niveau des composants soudés
- Deux étapes :

1. Calcul thermique transitoire

- Source mobile
- Calcul des transformations métallurgiques
- Propriétés thermiques fonctions de la métallurgie et de la température

2. Calcul mécanique quasi-statique

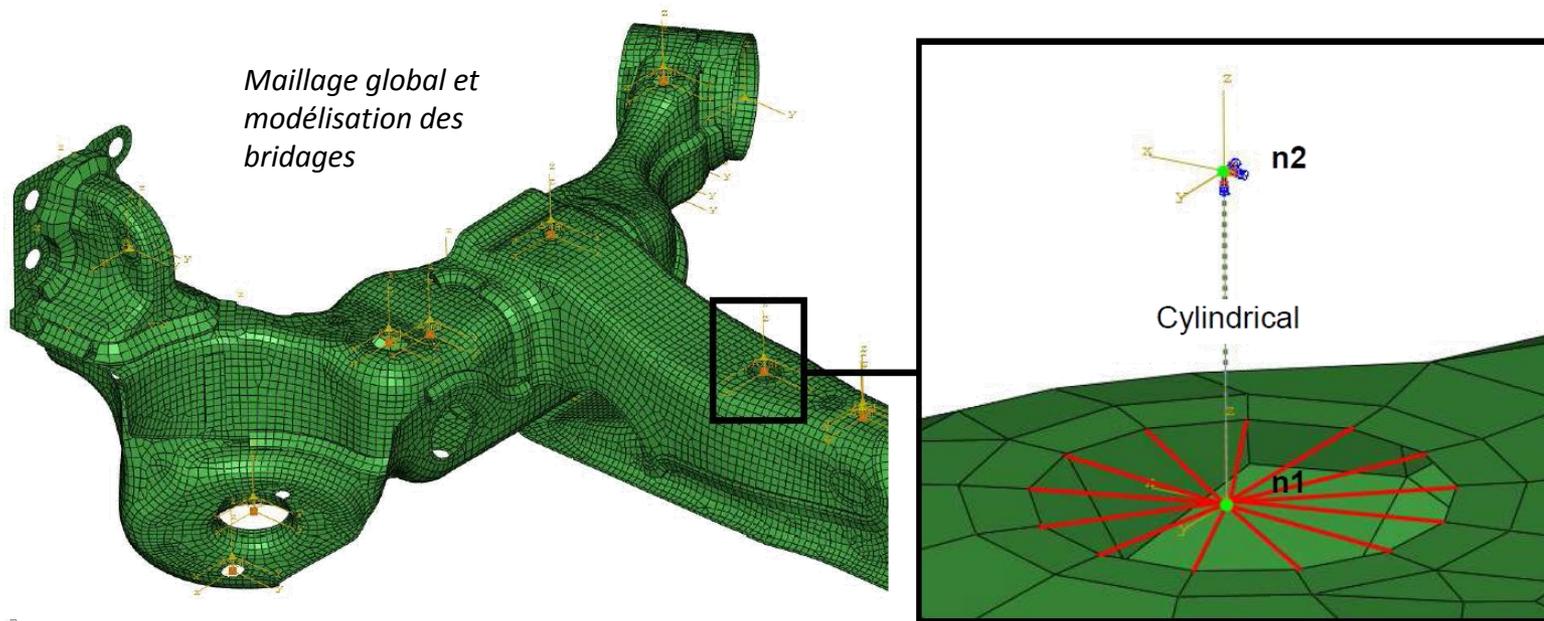
- Chargement des cartes thermiques
- Chargement des cartes de % de phases
- Propriétés mécaniques fonctions de la métallurgie et de la température



Rappels

■ Méthodologie

- Mise en œuvre possible avec :
 - Sysweld : gère les sources thermiques et la métallurgie de manière native
 - Abaqus : développements nécessaires pour gérer les sources thermiques et la métallurgie
- Maillage 100% éléments solides ou mixte solides-coques
- Modélisation « fine » des conditions de bridage des pièces assemblées



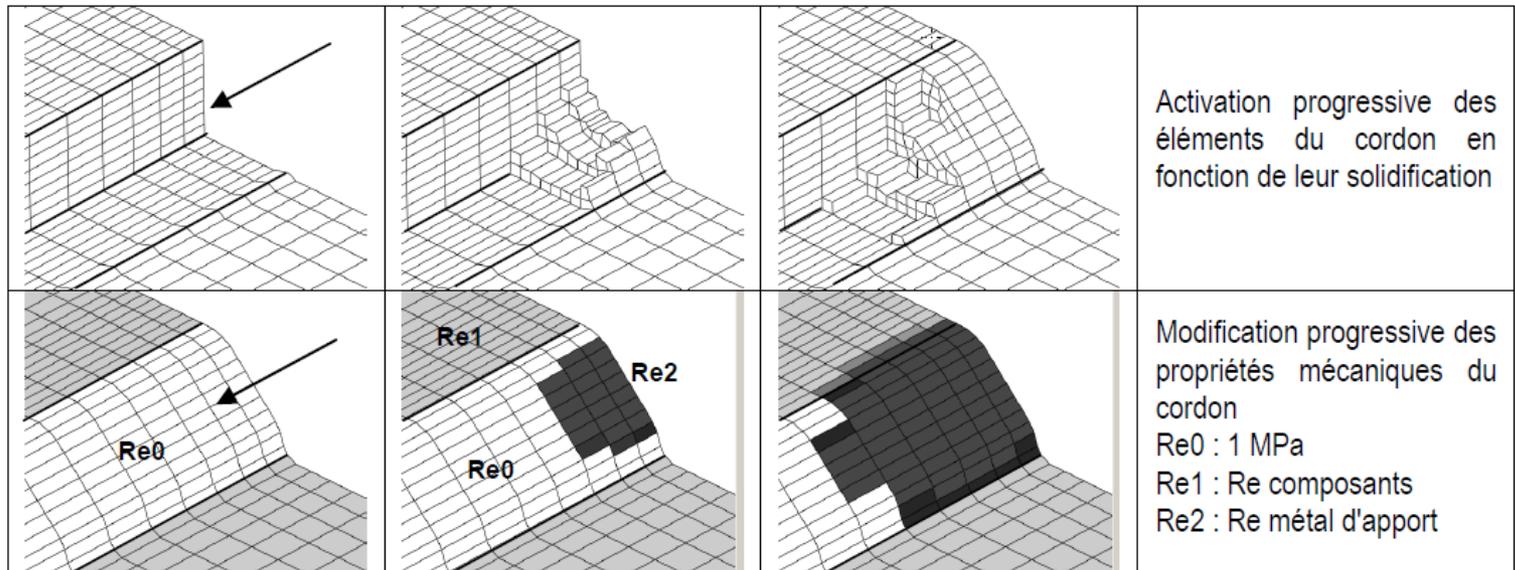
Rappels

■ Méthodologie

○ Modélisation des cordons :

- Maillage réglé dans le sens de dépose
- Deux techniques pour gérer l'apport de matière :
 - Activation progressive des éléments du cordon (indexé sur la thermique)
 - Modification progressive des propriétés des éléments du cordon

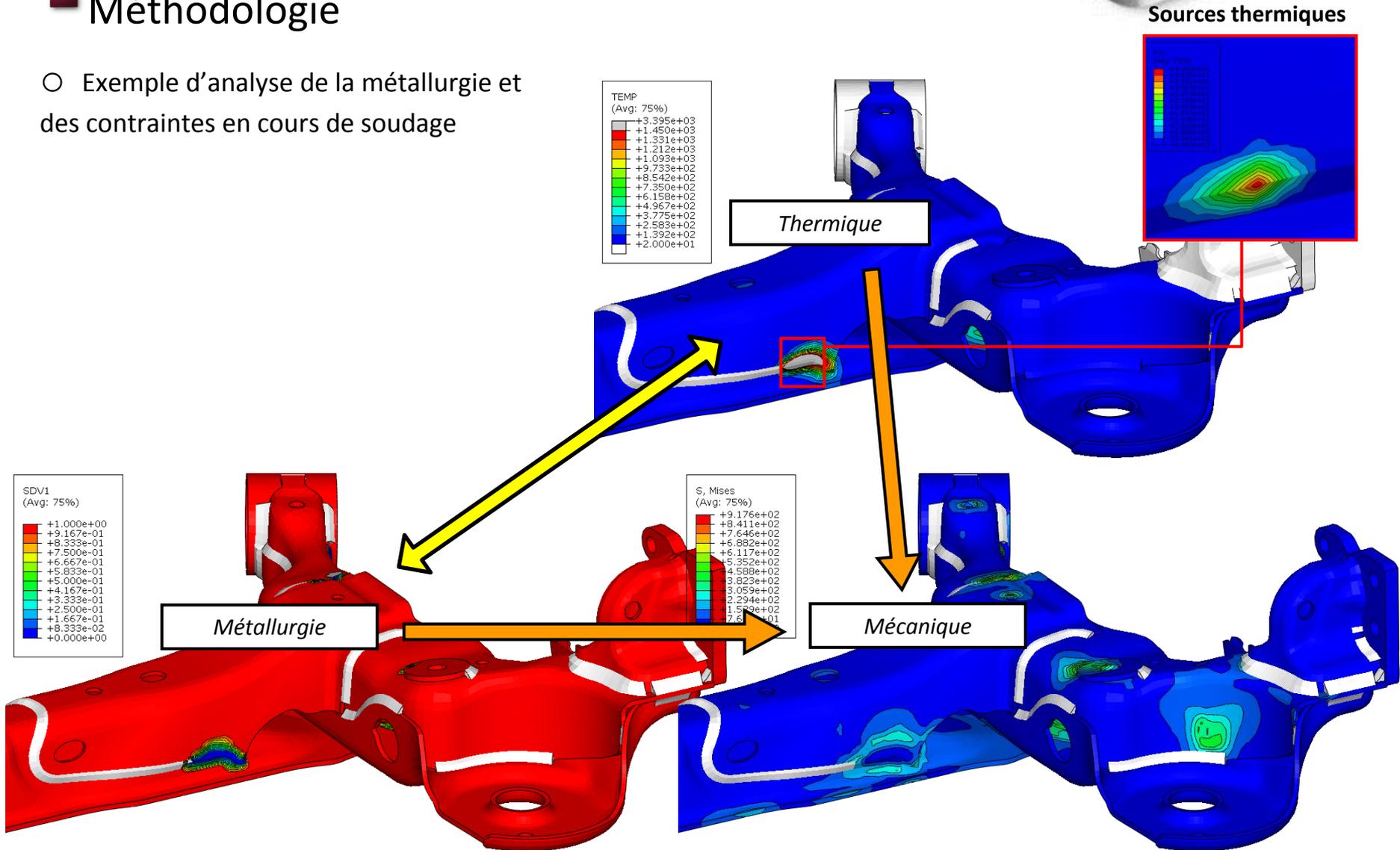
Maillage et modélisation de la dépose des cordons



Rappels

■ Méthodologie

- Exemple d'analyse de la métallurgie et des contraintes en cours de soudage



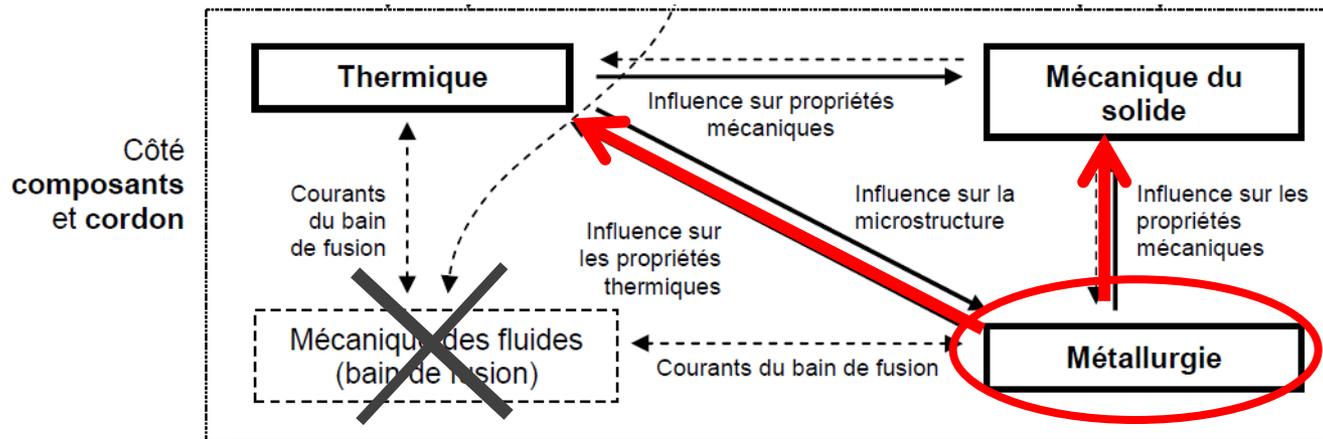
Rappels

■ Importance de la métallurgie

- La métallurgie est au cœur des phénomènes physiques modélisés :
 - La microstructure évolue en fonction de la thermique
 - Toutes les propriétés, thermiques et mécaniques, dépendent de la microstructure métallurgique

➔ Nécessité de simuler les transformations métallurgiques

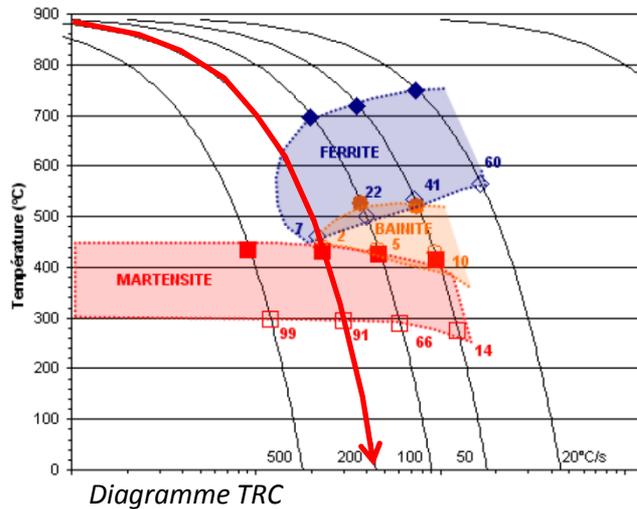
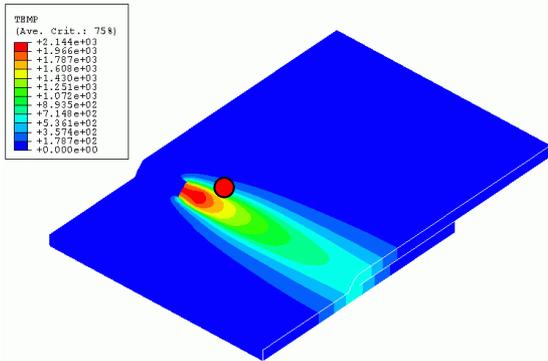
➔ Double dépendance des propriétés, à la température et à la microstructure (phases métallurgiques)



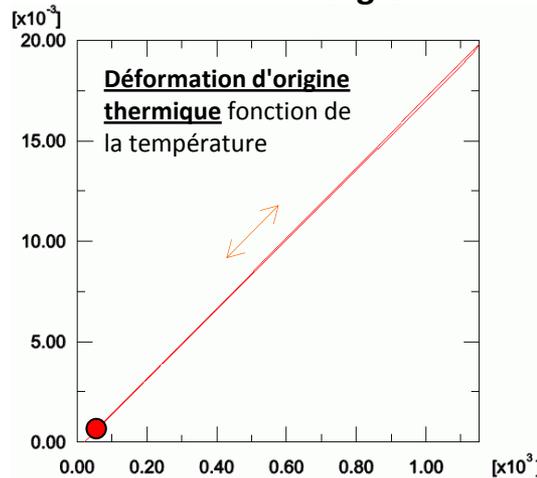
Rappels

■ Importance de la métallurgie

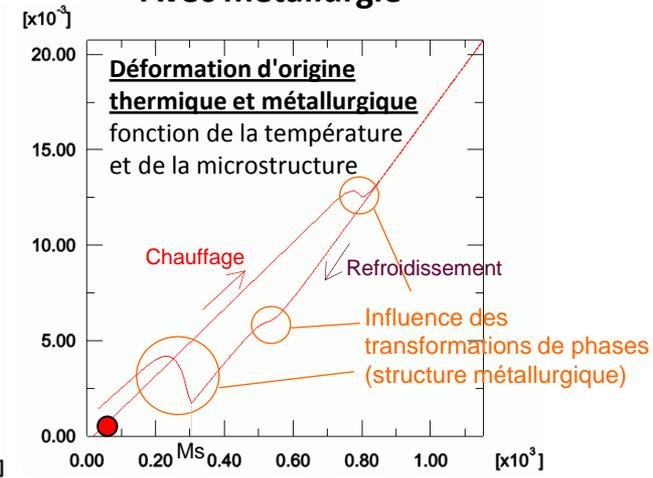
Comparaison Avec / Sans métallurgie



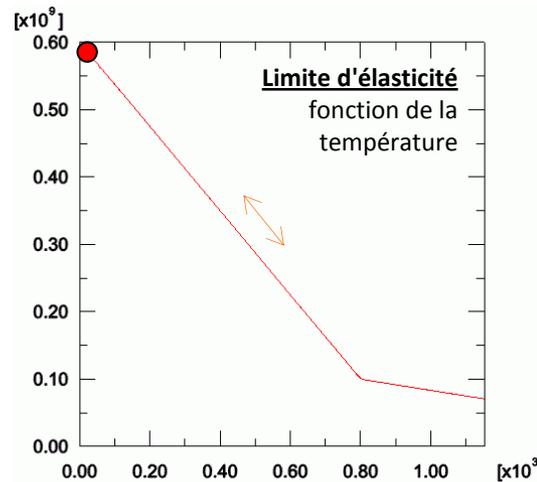
Sans métallurgie



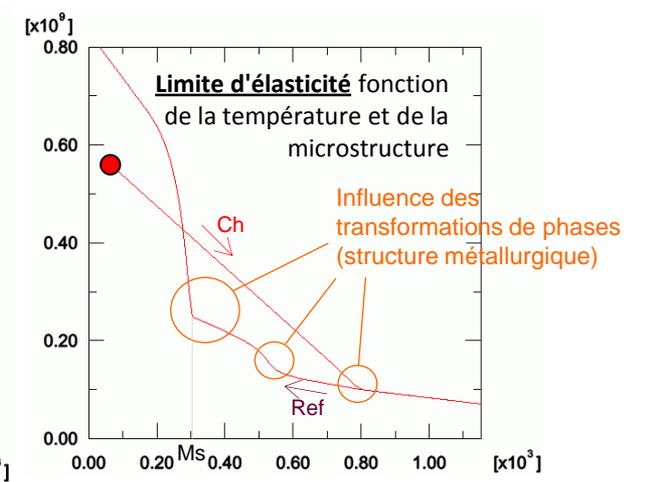
Avec métallurgie



Limite d'élasticité



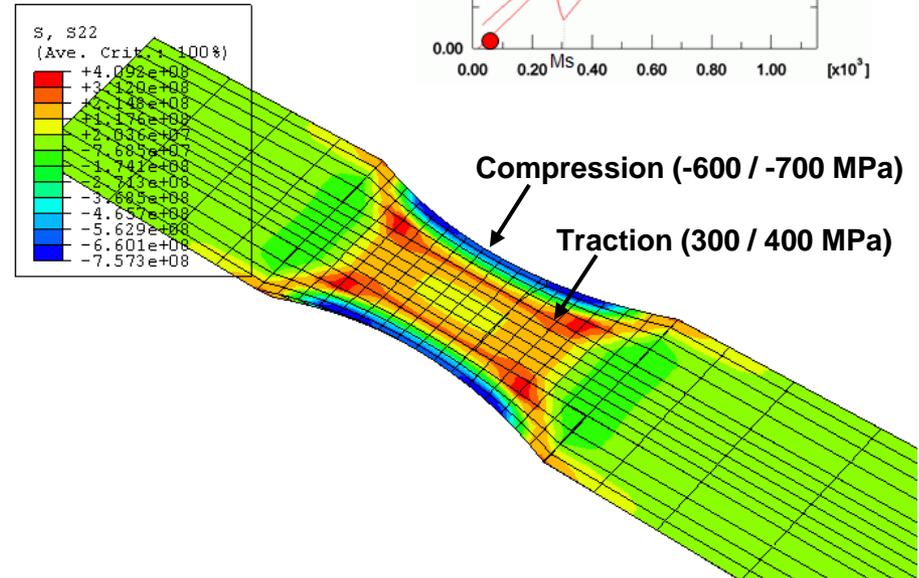
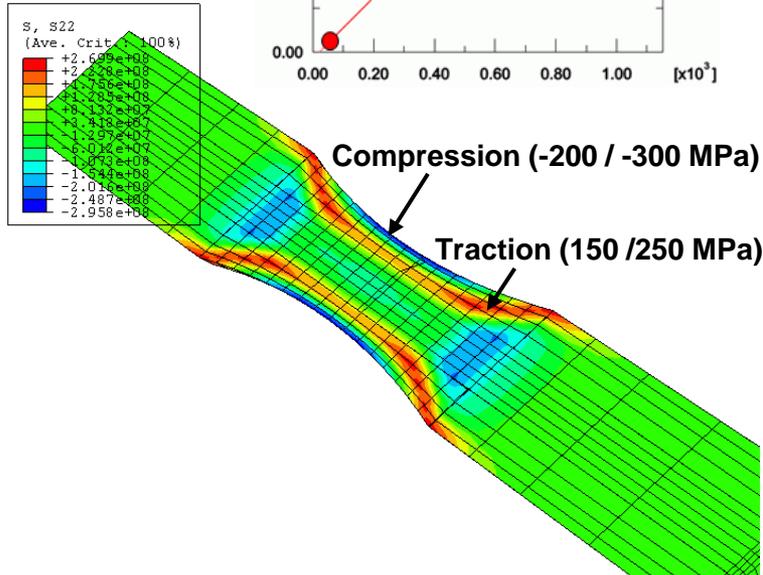
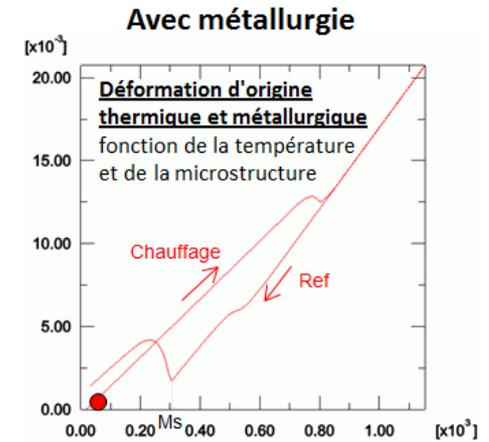
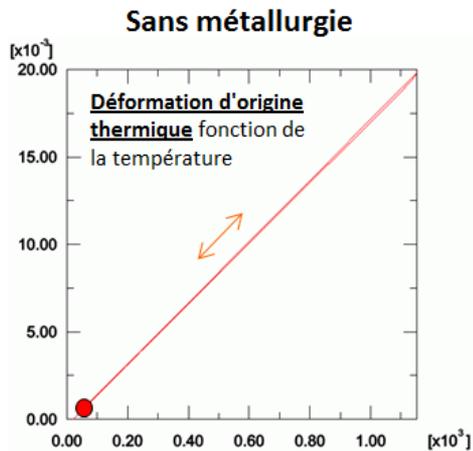
Limite d'élasticité



Rappels

■ Importance de la métallurgie

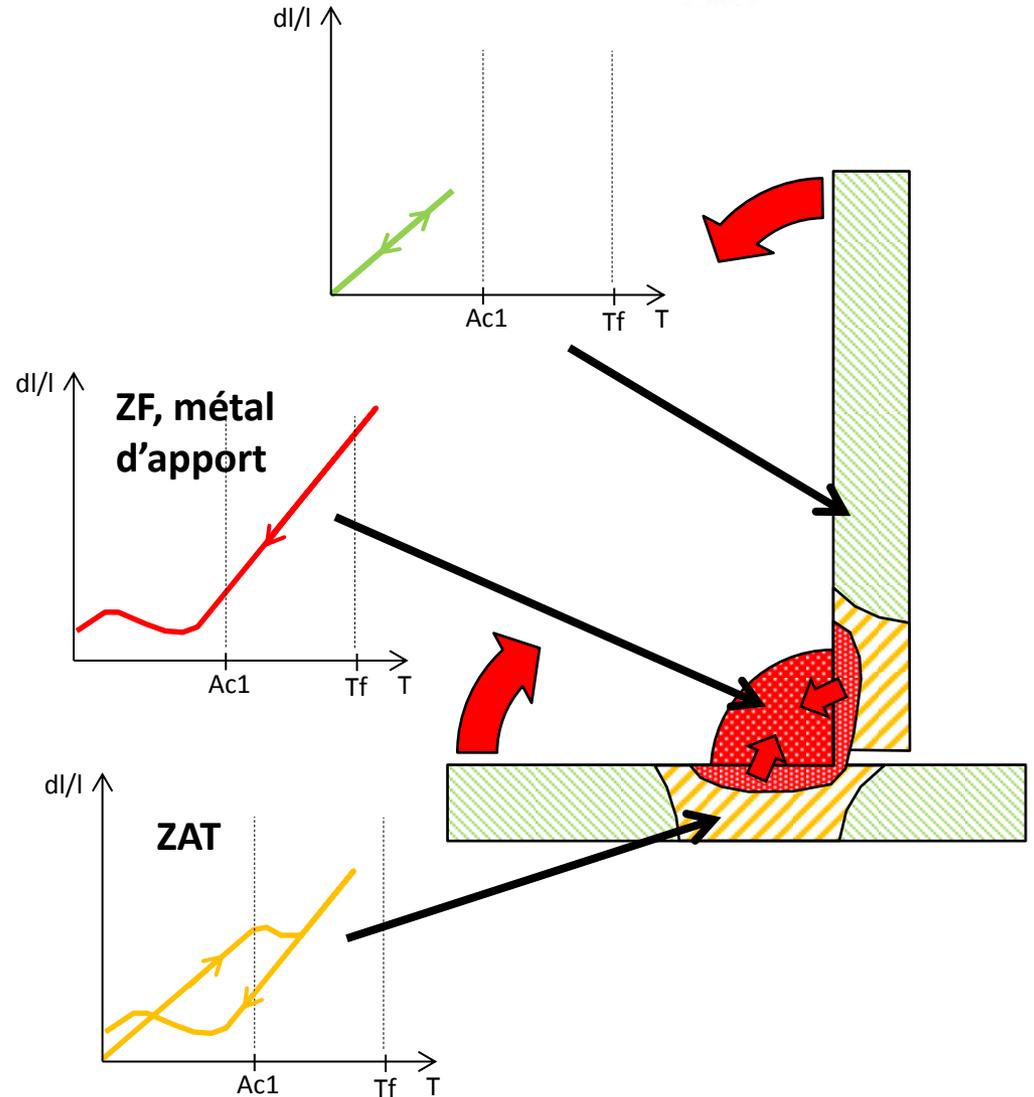
Comparaison Avec / Sans métallurgie



Rappels

ZAT, ZF et distorsions

- Différents trajets thermiques selon les zones
 - ZAT
 - ZF
 - Métal d'apport
- Impact direct sur les déformations d'origine thermique
- Les ZF + Métal d'apport ont un rôle prépondérant sur les distorsions (retrait)...
- ... mais le résultat est aussi très impacté par les conditions de bridages



Rappels

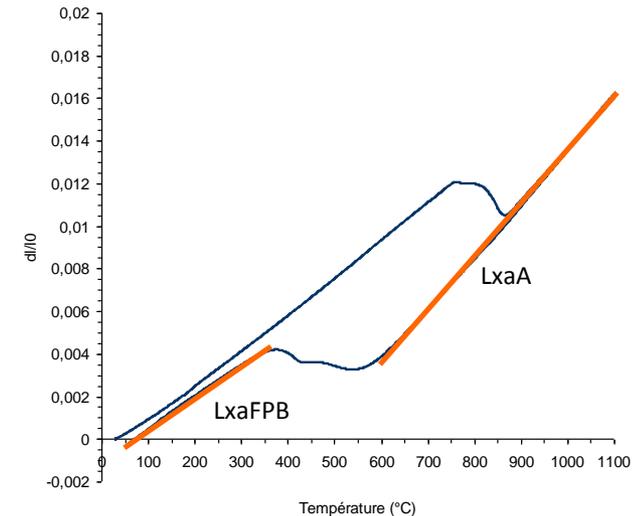
■ PLEX numérique

- Etude de l'influence sur les distorsions des principales propriétés (métallurgiques et mécaniques)
 - LXa, LXb : pentes et origines des courbes (droites) de déformation thermique
 - Re : limites d'élasticité
 - Ac1, Ac3, Bs, Bf, Ms : températures caractéristiques des transformations de phases

Facteur	Niveaux	Moyenne	Effet	Effet Total
LXaA	LXaA1	2,11475	0,1314375	-0,262875
	LXaA2	1,851875	-0,1314375	
ReB	ReB1	1,979125	-0,0041875	0,008375
	ReB2	1,9875	0,0041875	
Bs/Bf/Ms	Bs/Bf/Ms1	1,9915	0,0081875	-0,016375
	Bs/Bf/Ms2	1,975125	-0,0081875	
LXbM	LXbM1	1,985875	0,0025625	-0,005125
	LXbM2	1,98075	-0,0025625	
ReFP	ReFP1	1,99925	0,0159375	-0,031875
	ReFP2	1,967375	-0,0159375	
LXaFPB	LXaFPB1	1,950125	-0,0331875	0,066375
	LXaFPB2	2,0165	0,0331875	
ReA	ReA1	1,98175	-0,0015625	0,003125
	ReA2	1,984875	0,0015625	
Ac1/Ac3	Ac1/Ac31	1,977625	-0,0056875	0,011375
	Ac1/Ac32	1,989	0,0056875	

Forte influence du coefficient de dilatation de l'Austénite

Idem, dans une moindre mesure



Sommaire

■ Rappels

- Objectifs de la SNS
- Méthodologie
- Importance de la métallurgie
- ZAT, ZF et distorsions
- Etude de sensibilité

■ Les données matériaux

- Propriétés métallurgiques
- Propriétés thermiques
- Propriétés mécaniques
- Exemple de campagne d'essais

■ Conclusion

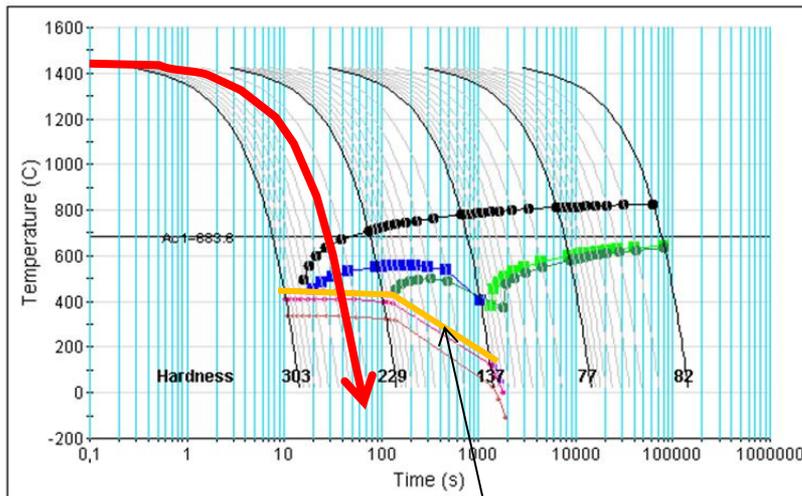
Les données matériaux

Propriétés métallurgiques

- « Propriétés métallurgiques » = Ensemble de modèles et paramètres associés qui permettent de caractériser les transformations de phases au chauffage et au refroidissement
 - Diagrammes TTA / TRC → Données d'entrée pour les modèles fonctions de la vitesse de chauffage ou refroidissement, de la température (Koistinen Marburger)
 - Diagrammes TTT → Données d'entrée pour les modèles fonctions du temps (Mines de Nancy)

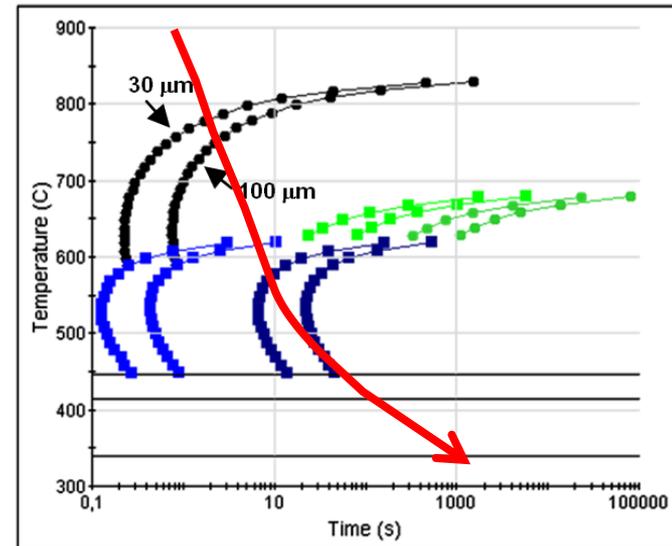
→ Caractérisation simple par essais de dilatométrie

CCT



- Ferrite(1%)
- Pearlite(1%)
- Bainite(1%)
- Austenite(1%)
- * Martensite start
- Martensite 50%
- ◆ Martensite 90%

TTT



- Ferrite(0.1%)
- Pearlite(0.1%)
- Bainite(0.1%)
- Pearlite(99.9%)
- Bainite(99.9%)

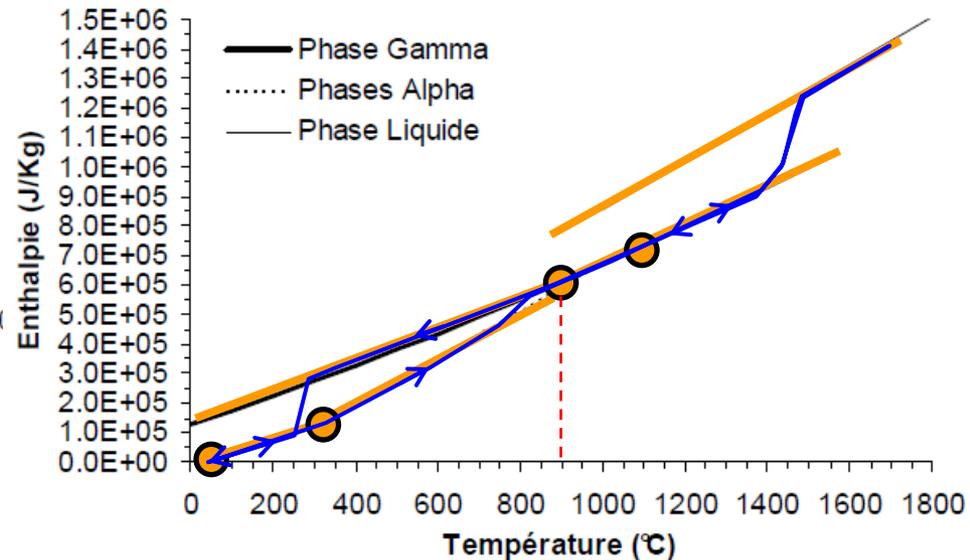
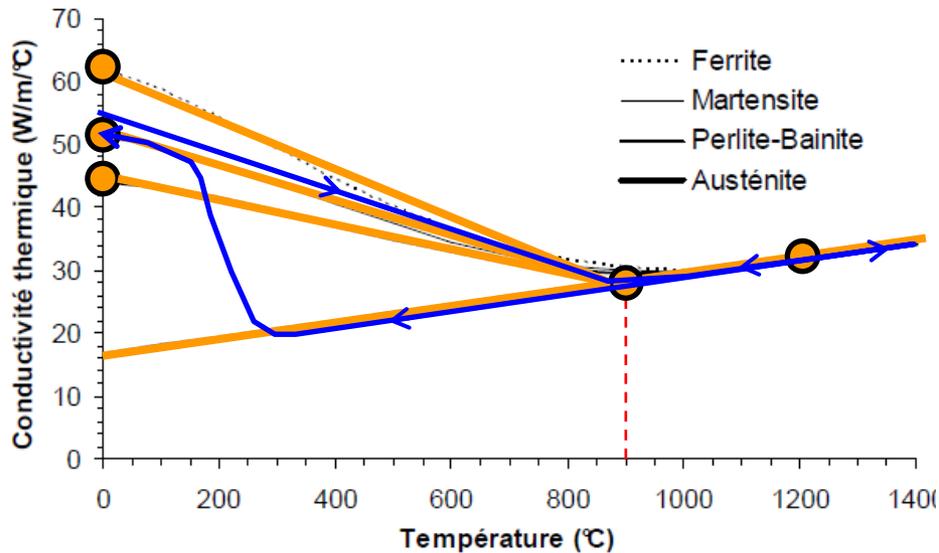
$$\text{Modèle KM : } y = y_a \cdot \left(1 - e^{-\alpha \cdot (Ms - T)}\right)$$

Les données matériaux

Propriétés thermiques

- Conductivité thermique, masse volumique et enthalpie (ou Cp)
- Importance moindre par rapport au modèle de source thermique
- Influence moindre de la composition chimique

➔ Utilisation de données bibliographiques et / ou issues de JMat-Pro

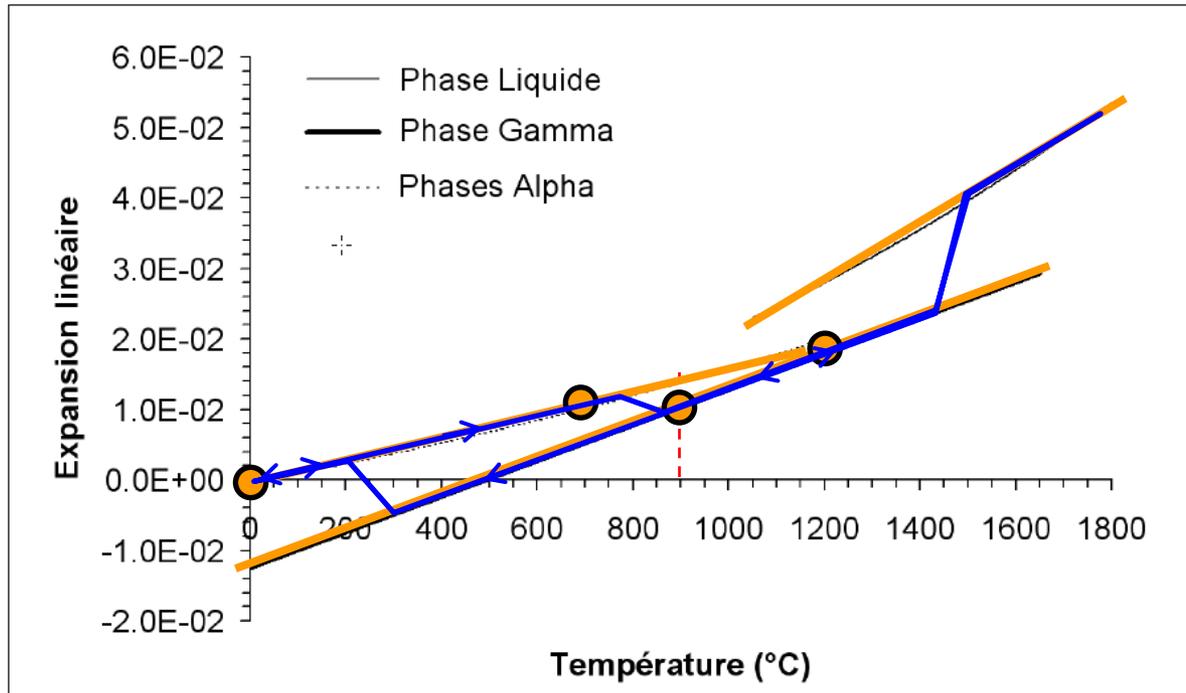
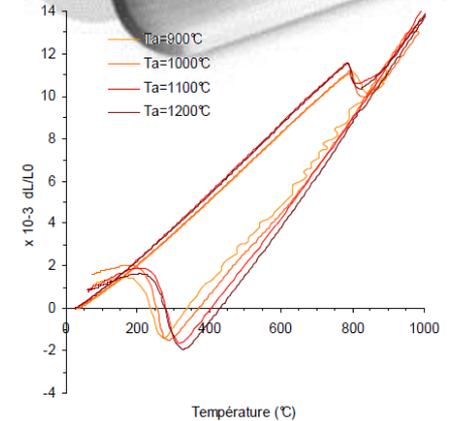


Les données matériaux

Propriétés mécaniques

- Courbes d'expansion thermique
- Influence de la composition chimique
- Propriété d'ordre 1 pour les résultats mécaniques

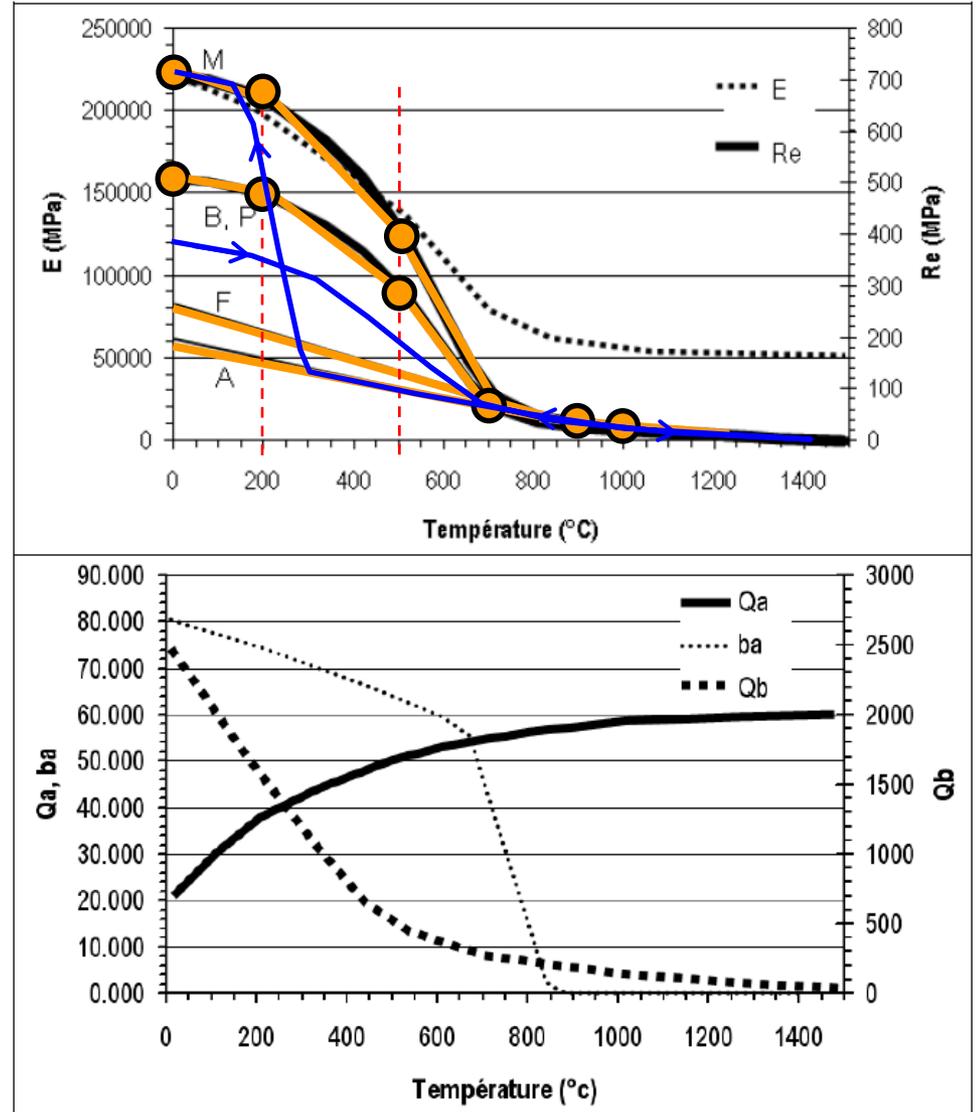
➔ Identification directe sur des courbes de dilatométrie



Les données matériaux

Propriétés mécaniques

- Loi de comportement mécanique
- Loi EP suffisante
- ➔ Campagne de traction à chaud sur différentes microstructures



$$\sigma_y = Re + Q_a \cdot (1 - e^{-b_a \cdot \epsilon_p}) + Q_b \cdot \epsilon_p + (K_v \cdot \dot{\epsilon}_p)^{\frac{1}{n_v}}$$

σ_y : Contrainte seuil

Re : Limite d'élasticité

ϵ_p : Déformation plastique

$\dot{\epsilon}_p$: Vitesse de déformation plastique

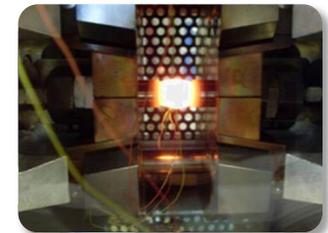
Q_a, Q_b, b_a, K_v, n_v : paramètres du modèle

Les données matériaux

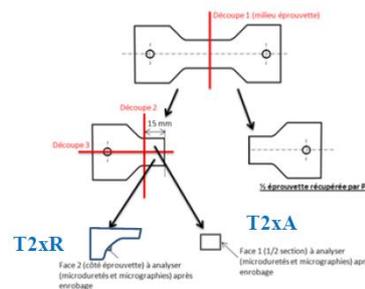
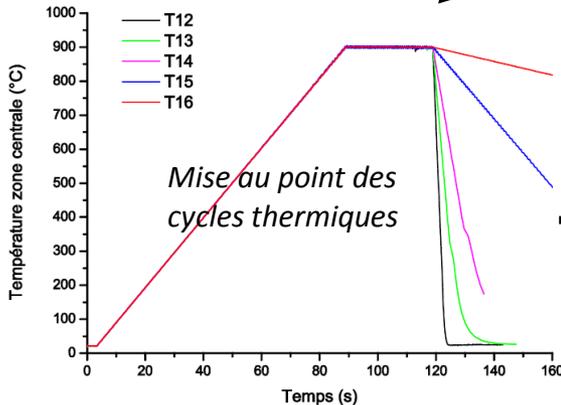
Exemple de campagne d'essais

Essais réalisés au labo. TEMPO – Univ. Valenciennes sur machine Gleeble 3500

Phase préalable de préparation des éprouvettes : Mise au point des traitements thermiques pour obtenir les microstructures initiales voulues

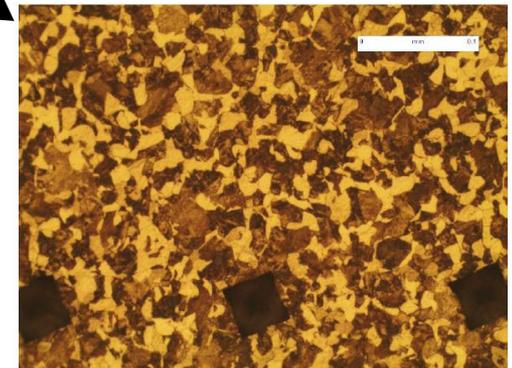


		V1 (°C/s)	T1 (°C)	DT1 (s)	V2 (°C/s)	T2 (°C)	Microstructure visée
T11	T21	-	-	-	-	-	Initiale
T12	T22	10	900	30	-200	20	100% Martensite
T13	T23				-100		100% Martensite
T14	T24				-50		Martensite + Bainite
T15	T25				-10		Martensite + Bainite
T16	T26				-2		FP + Bainite



Découpe des éprouvettes

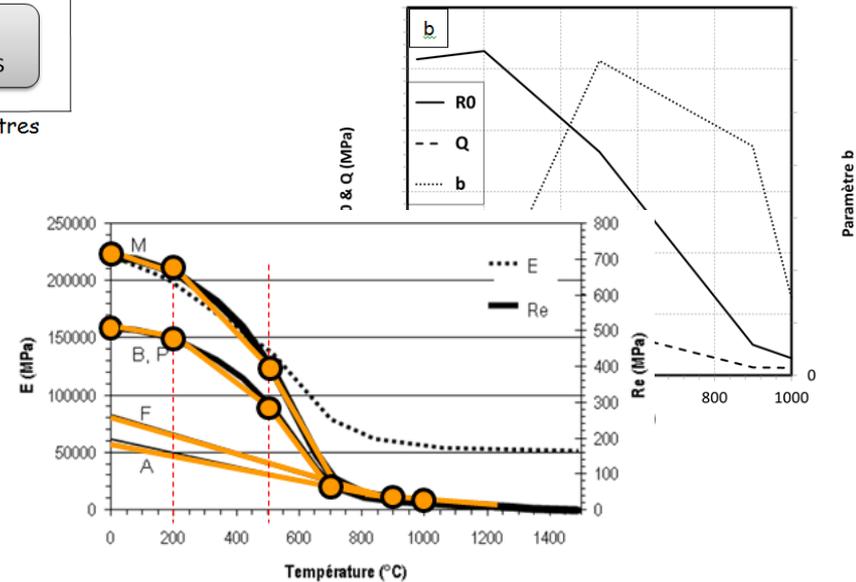
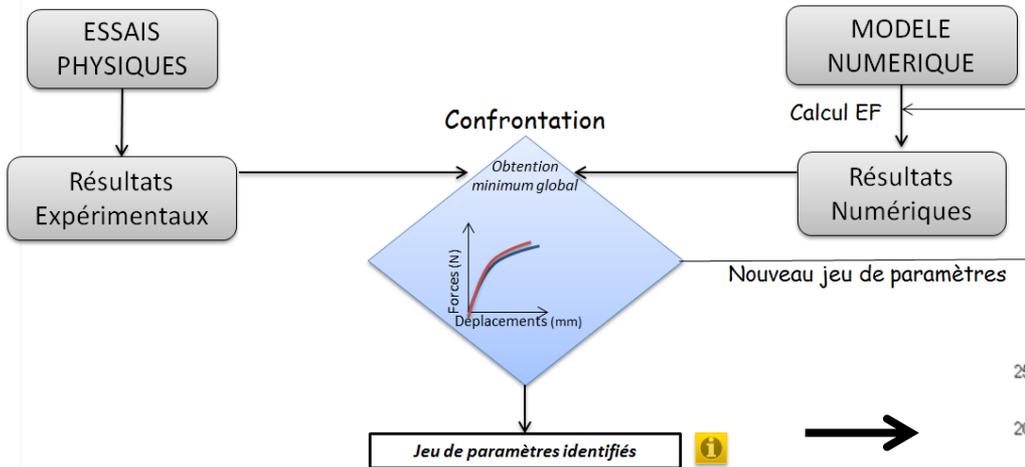
Analyse des microstructures réelles (% phases)



Les données matériaux

Exemple de campagne d'essais

Identification des paramètres du modèle par méthode inverse (calcul EF Zebulon)



Sommaire

■ Rappels

- Objectifs de la SNS
- Méthodologie
- Importance de la métallurgie
- ZAT, ZF et distorsions
- Etude de sensibilité

■ Les données matériaux

- Propriétés métallurgiques
- Propriétés thermiques
- Propriétés mécaniques
- Exemple de campagne d'essais

■ Conclusion

Conclusion

■ Méthodologie :

- Il est nécessaire de prendre en compte et donc de simuler les transformations métallurgiques
- La modélisation des conditions de bridages réelles est essentielle pour le calcul des distorsions

■ Propriétés matériaux:

- Chaque propriété doit être renseignée par phase et en fonction de la température
- Les propriétés à privilégier sont :
 - Les propriétés métallurgiques
Diagramme TRC ou TTT → Essais de dilatométrie
 - Les propriétés mécaniques
Courbes de déformations thermiques → Essai de dilatométrie
Loi de comportement EP → Essais de traction à chaud avec phase préalable de TTh