

Analyses par Eléments Finis pour la Prédiction de Contraintes Résiduelles après Traitement Thermique Post-Soudage Local

Philippe Bastid, TWI Ltd, UK

SNS 2011, La Défense, 31 mars 2011



Technology Engineering

Copyright © TWI Ltd 2010

Plan

- Objectifs
- Introduction
 - Recommandations pour tuyauteries, réservoirs.
- Modèles par éléments finis
 - Méthode d'analyse
 - Géométrie, anneaux et patches de traitement thermique
 - Prédiction des contraintes résiduelles et comparaison avec les standards
- Conclusions
- Perspectives

Objectifs

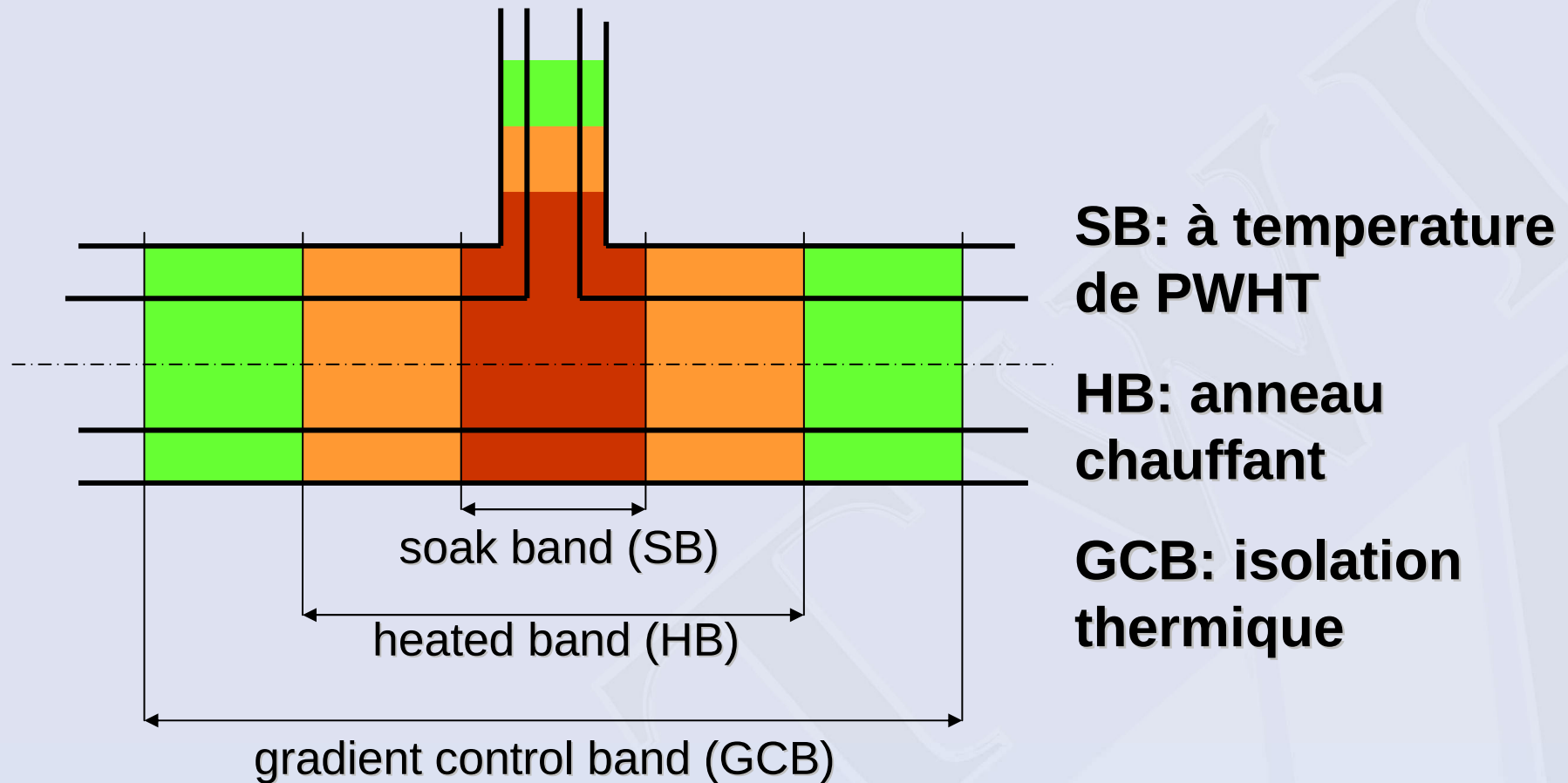
- Déterminer l'amplitude des contraintes résiduelles après un traitement thermique "patch".
- Comparer ces contraintes avec celles obtenues avec un anneau circonferenciel.
- Définir une procédure pour le traitement thermique des connections tuyau-branche.
- Comparer les résultats des analyses élastiques et des analyses élasto-plastiques avec relaxation.

Introduction - 1

- Intêret du traitement thermique post-soudage local (PWHT)
 - Le soudage génère des contraintes résiduelles élevées (supposées égales à la limite élastique).
 - Les contraintes résiduelles augmentent le risque de rupture fragile et de corrosion sous contrainte.
 - Les contraintes résiduelles peuvent être réduites par PWHT (jusqu'à 30% de la LE - BS7910).
 - PWHT du composant complet n'est pas toujours possible (taille du composant ou présence d'attachements sensibles à la chaleur).
 - Un PWHT local peut réduire les contraintes résiduelles dans le joint soudé, mais générer d'autres contraintes ailleurs.

Introduction - 2

- Définition des régions pour le PWHT local:



Introduction - 3

- Largeurs de SB, HB, GCB sont données par les standards:
 - Tuyauterie: BS2633, ASME B31.1, B31.8, AWS D10.10
 - Réservoirs sous pression: ASME I, PD5500
- Basé sur les travaux de:
 - B. Cotterell (1963): spherical vessels (patch)
 - R. T. Rose (1960): circumferential welds (band)
 - F. M. Burdekin (1963): circumferential welds
 - E.G. Schiffrin, M. I. Rich (1973): piping

Introduction - 4

- Largeurs recommandées pour for SB, HB, GCB

	Soak Band (SB)	Heated Band (HB)	Gradient Control Band (GCB)
BS2633		$HB_p = 5\sqrt{R_p t_p}$ $HB_b = 5\sqrt{R_b t_b}$	$\frac{1}{2} T_{max}$ at the edge of HB
PD5500		$HB = 5\sqrt{R_p t_p}$	$\frac{1}{2} T_{max}$ at the edge of HB
ASME B31.1	$SB = 2t$		Avoid harmful gradients.
ASME B31.8	$SB = 102\text{ mm}$		T shall diminish gradually.
ASME I	$SB = \inf(2t, 102\text{ mm})$	can be larger than SB to avoid harmful gradients	Avoid harmful gradients.
AWS D10.10	$SB_p = \inf(2t_p, 102\text{ mm})$ $SB_b = \inf(t_b, 51\text{ mm})$ from weld	$HB1_p = SB_p + 4\sqrt{R_p t_p}$ $HB2_p = H_i \frac{2R_p t_p + t_p^2 + R_p SB_p}{R_p + t_p}$ $HB1_b = SB_b + 2\sqrt{R_b t_b}$ from weld H_i of the order of 5	$GCB_p = HB_p + 4\sqrt{R_p t_p}$ $GCB_b = HB_b + 2\sqrt{R_b t_b}$ from weld

ASME I permet la variation de largeur de bande et recommande les mêmes SB et HB pour les traitements thermiques "patch". AWS D10.10 recommande une experience préalable ou une analyse par EF pour les traitements thermiques "patch".

Modèles par Eléments Finis - 1

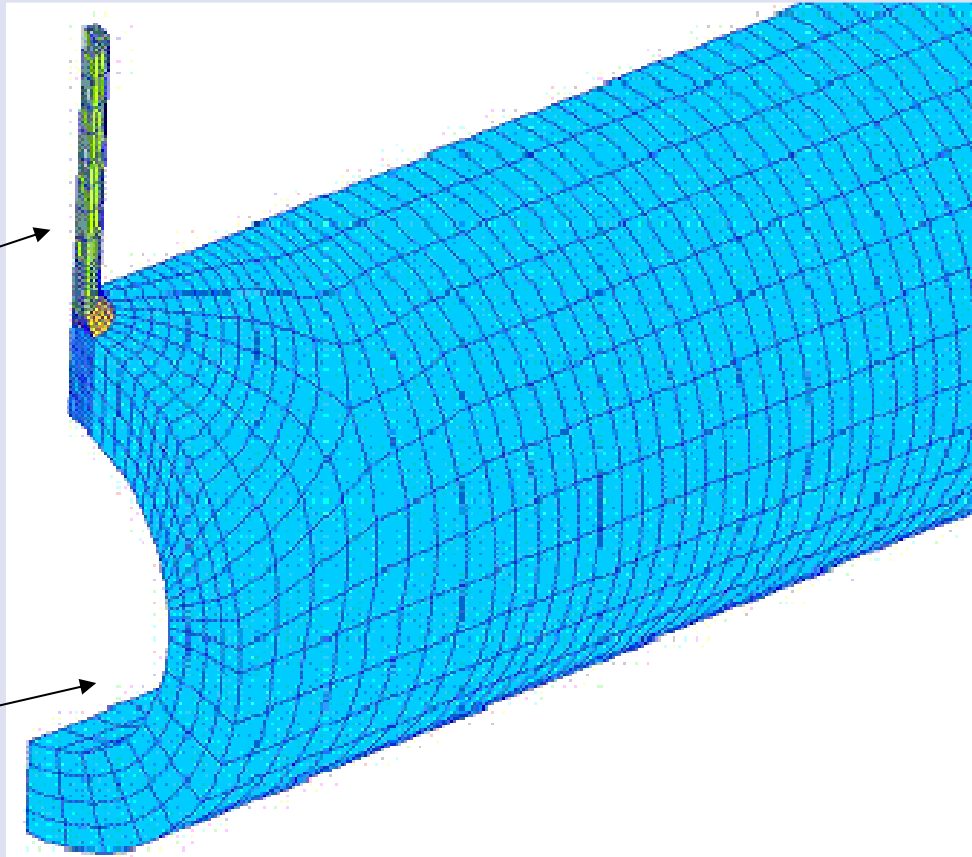
- Méthode d'analyse
- Analyse de transferts thermiques
 - distribution de température à l'état stationnaire prédite en appliquant des flux de chaleur à la surface de HB.
 - Flux de chaleur ajustés pour obtenir une distribution de température acceptable.
- Analyse de contraintes thermiques
 - Analyses élastiques: Temperature varie de l'état stationnaire à l'ambiente, Pas de contrainte initiale.
 - Analyses élasto-plastiques + relaxation: Température varie de RT à l'état stationnaire, puis 3 heures de relaxation, puis refroidissement jusqu'à RT. CR initiale.

Modèles par Eléments Finis - 2

- **Geométrie**

Branche:
OD=63.5mm
wt=10mm

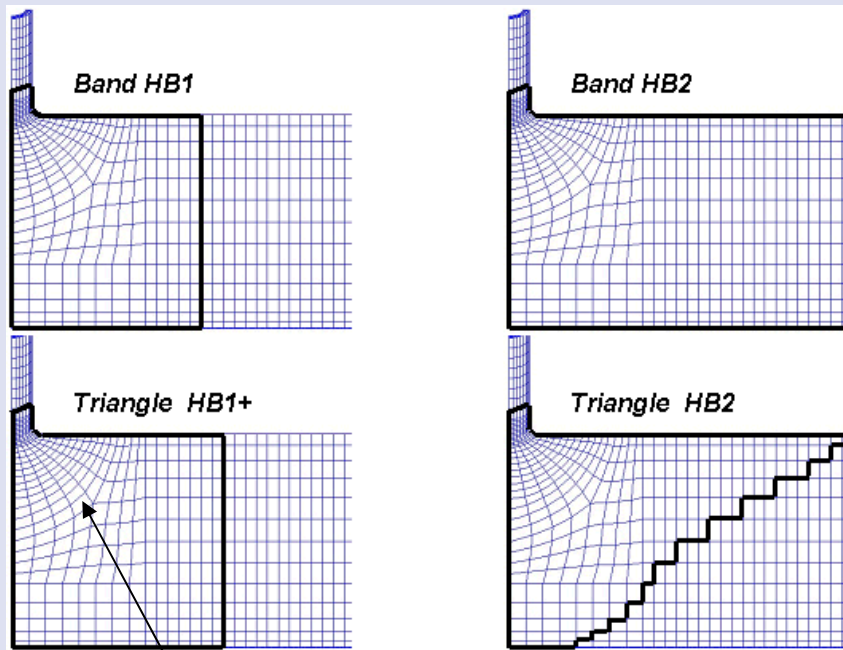
Tuyau:
OD=360mm
wt=63mm



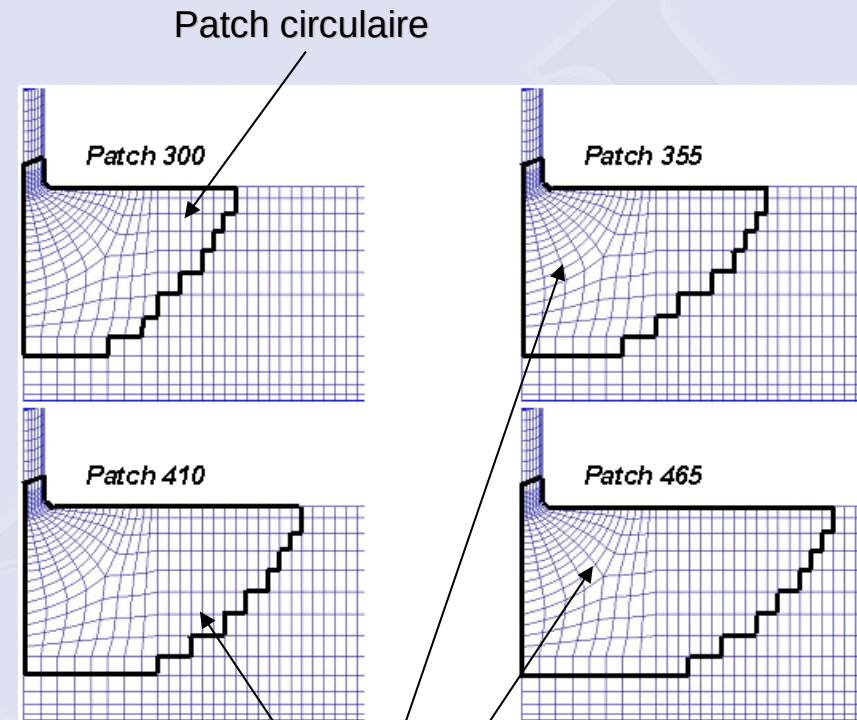
Matériaux: 0.5Cr-0.5Mo-0.25V (CrMoV) ou 2.25Cr-Mo (CrMo)

Modèles par Eléments Finis - 3

- Geometry of heated bands



Variation du flux de chaleur pour obtenir un HB triangulaire



Patches ovales

Modèles par Eléments Finis - 4

- Dimensions des zones de traitement

Case	HB (mm)	SB (mm)
Band HB1	$565 (2 R_b + 5 \sqrt{R_p t_p})$	277
Band HB2	$1085 (2 R_b + 10.3 \sqrt{R_p t_p})$	293
Triangle HB2	1085 at the top $(2 R_b + 10.3 \sqrt{R_p t_p})$	213
Triangle HB1+	$665 (2 R_b + 6 \sqrt{R_p t_p})$	309
Patch 300	$665 \times 665 ((2 R_b + 6 \sqrt{R_p t_p}) \times (2 R_b + 6 \sqrt{R_p t_p}))$	323 x 323
Patch 355	$775 \times 665 ((2 R_b + 7.2 \sqrt{R_p t_p}) \times (2 R_b + 6 \sqrt{R_p t_p}))$	327 x 323
Patch 410	$885 \times 665 ((2 R_b + 8.3 \sqrt{R_p t_p}) \times (2 R_b + 6 \sqrt{R_p t_p}))$	331 x 323
Patch 465	$995 \times 665 ((2 R_b + 9.4 \sqrt{R_p t_p}) \times (2 R_b + 6 \sqrt{R_p t_p}))$	411 x 323

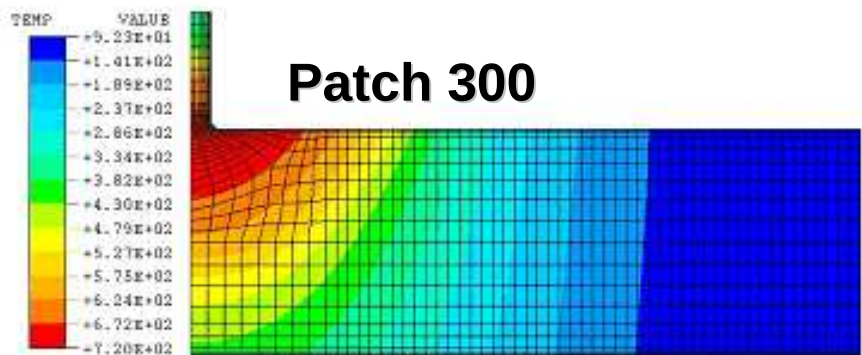
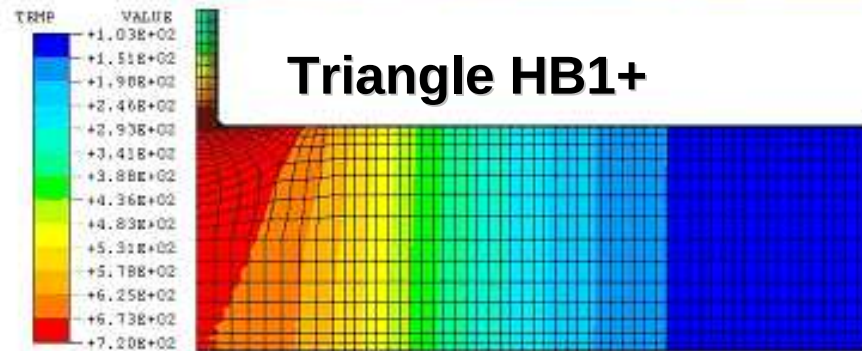
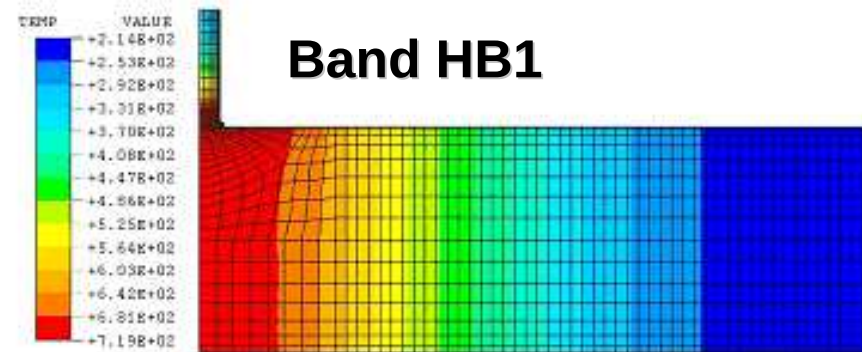
The heated band width of the branch was HB=56mm

The gradient control band widths were equal to the heated band widths plus $4\sqrt{Rt}$.
 The dimensions of the soak band and heated band according to AWS D10.10 (11) were:

- For the pipe, measured from the branch: SB=185mm, HB1=581mm, HB2=1056mm
- For the branch, measured from the weld: SB= 10mm, HB1=46mm, HB2=56mm

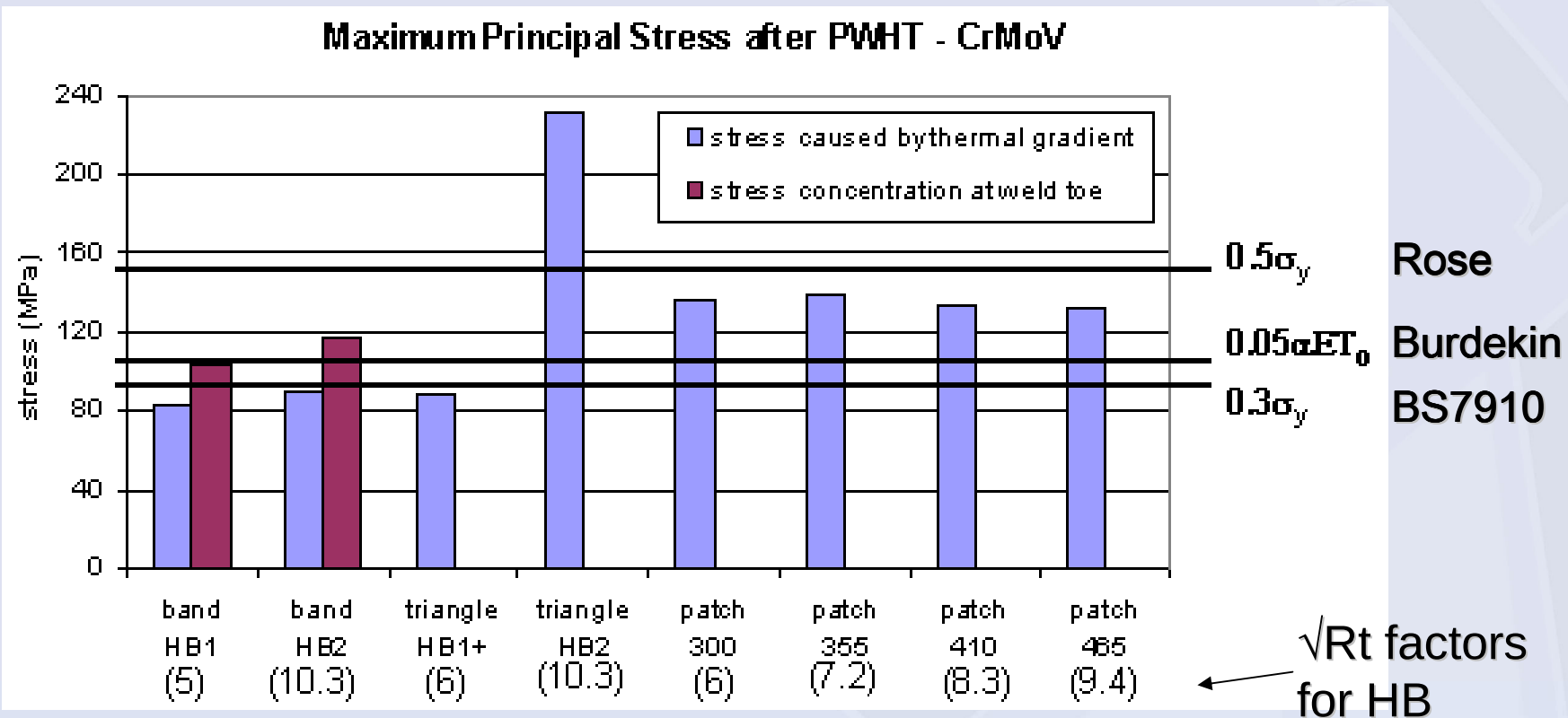
Modèles par Eléments Finis - 5

- Distribution de température a l'état stationnaire du PWHT



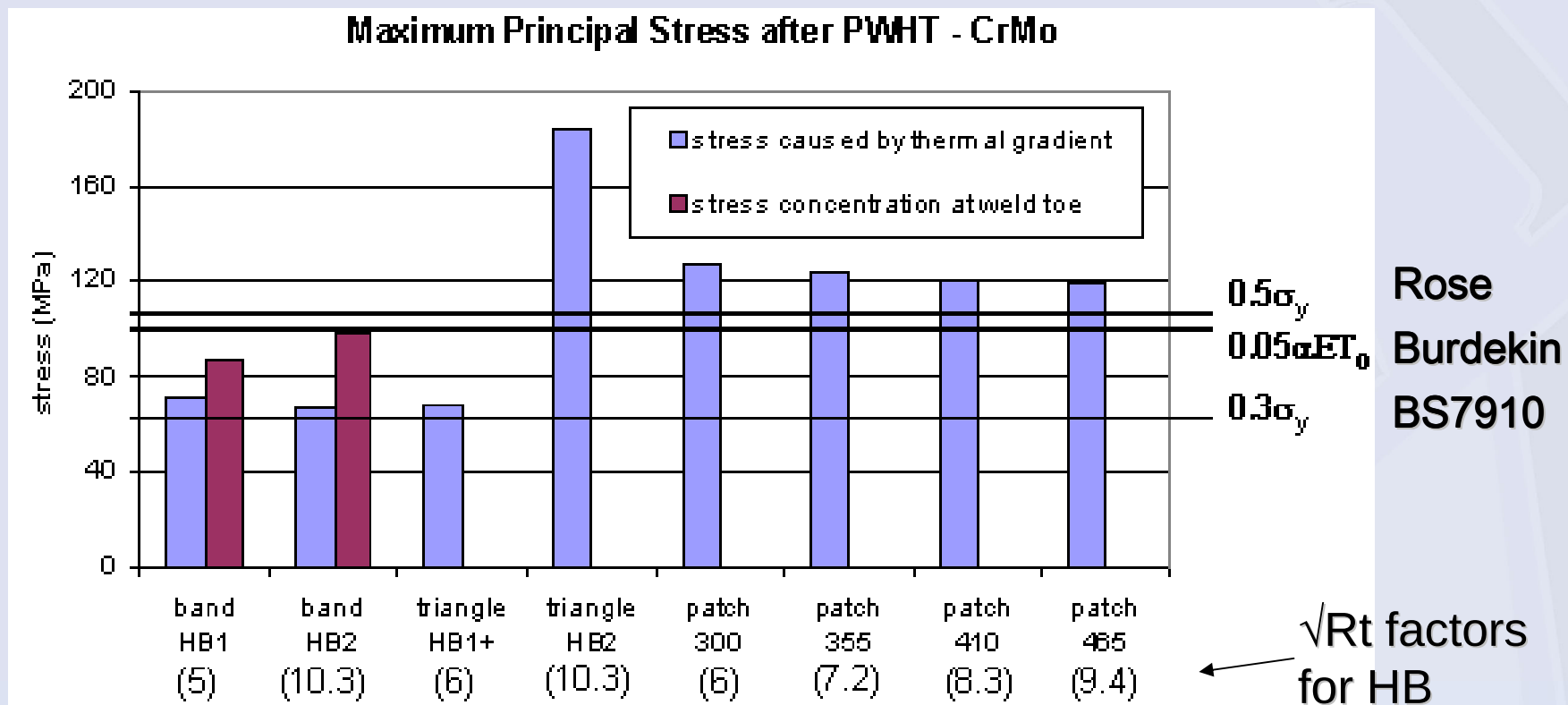
Modèles par Eléments Finis - 6

- Contraintes résiduelles prédites par analyse élastique (zéro contrainte à température de PWHT)



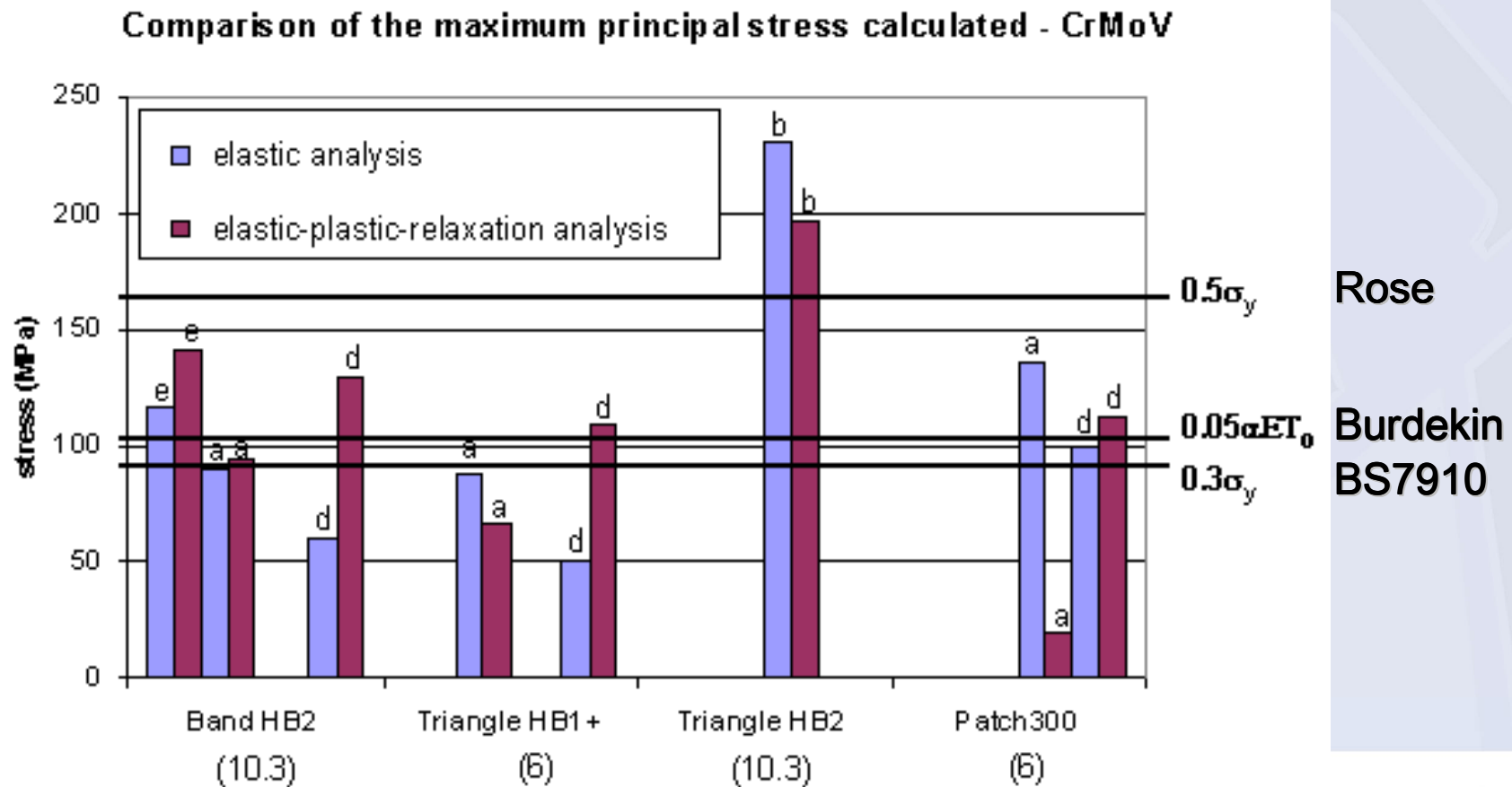
Modèles par Eléments Finis - 7

- Contraintes résiduelles prédites par analyse élastique (zéro contrainte à température de PWHT)



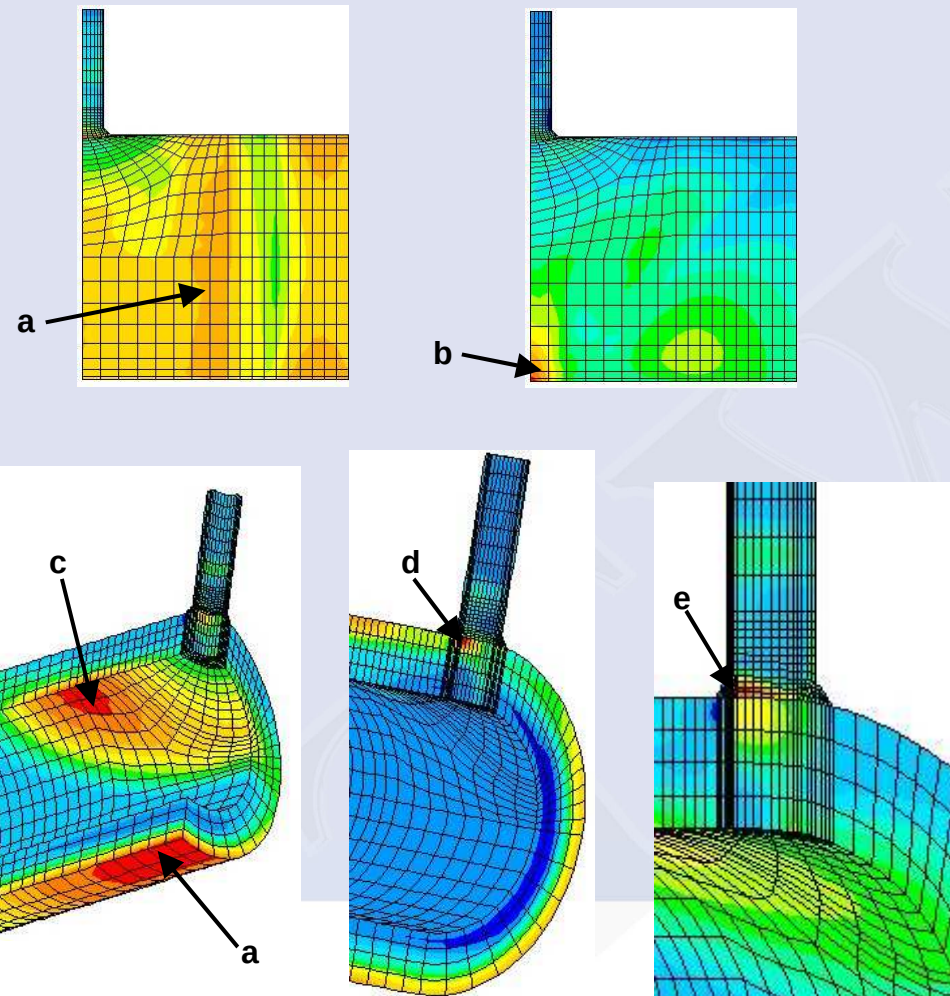
Modèles par Eléments Finis - 8

- Comparison des contraintes résiduelles prédites par analyses élastiques et élasto-viscoplastiques



Modèles par Éléments Finis - 9

- Localisation des contraintes résiduelles PWHT



Conclusions

- Pour une même largeur de HB, les contraintes résiduelles sont similaires avec une bande circonférencielle ou une bande triangulaire.
- Les patches circulaires ou ovales permettent une diminution des contraintes résiduelles avec $HB=3\sqrt{Rt}$ de chaque côté de la soudure, mais les contraintes résiduelles sont plus hautes d'environ 50MPa par rapport au cas avec anneau chauffant.
- SB doit être plus large que recommandé par les codes US. C'est en general le cas quand HB est de la largeur recommandée par les codes britanniques.
- En general, les contraintes résiduelles prédites par analyses élastiques sont du même ordre de grandeur, mais plus élevées que celles prédites par analyses élasto-viscoplastiques.

Perspectives

- Besoin de données expérimentales en fluage/relaxation à température de traitement thermique. Pour le moment, les données en fluages sont disponibles à températures plus basses, et ces données doivent être extrapolées.
- Besoin de données expérimentales pour la validation des predictions par EF.
- Extension à d'autres géométries (tuyaux, réservoirs).