

Traitement thermique robotisé in situ appliqué à la réparation de turbines hydrauliques

Eric Boudreault, Bruce Hazel

Novembre 2013

Contact: boudreault.eric@ireq.ca

Plan

- ◎ Contexte
 - Fabrication des roues de turbine
 - Problématique: vieillissement du parc hydroélectrique
 - Cavitation
 - Érosion
 - Fissuration

- ◎ Solution: Traitement thermique robotisé
 - Chauffage par induction portable
 - Robot
 - Simulation et planification de trajectoire

- ◎ Contrôle du profil de température

- ◎ Preuve de concept de la technologie

Fabrication des roues

- Les roues sont un assemblage soudé de pièces coulées et usinées.



Tirée de : <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Heat-Treating-Furnace.jpg>

- Une fois l'assemblage terminé la pièce est placée dans une fournaise.
 - Ex: Norme ASTM A487: 565 à 620 °C pendant plusieurs heures

Traitement thermique (T. T.)

- Améliorer les propriétés de l'acier
 - Propagation de fissure
 - Ductilité

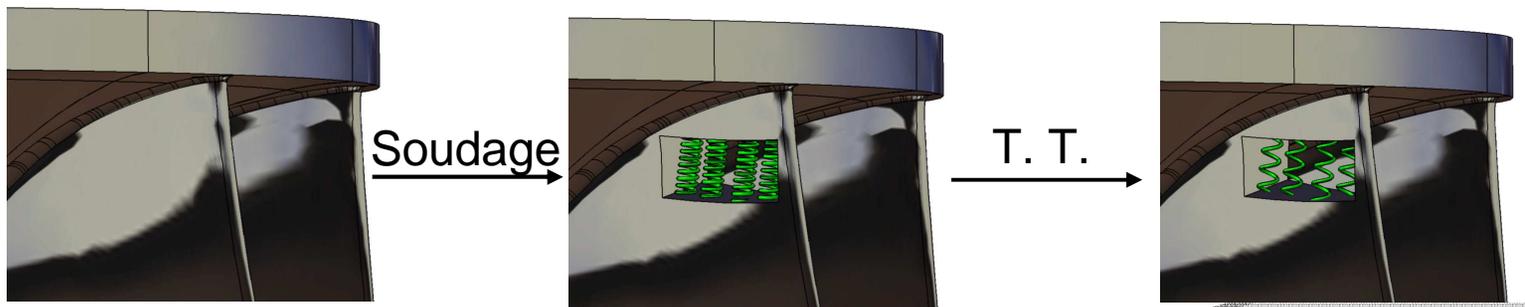


T.T.
→



Tirée de : <http://plasticinestock.deviantart.com/art/Plasticine-Crab-100798165>

- Abaisser les contraintes internes



Problématique

- Il est actuellement impossible de réaliser un tel traitement thermique sans retirer la roue de la centrale (\$\$\$).

- Exemples d'applications:

Fissure



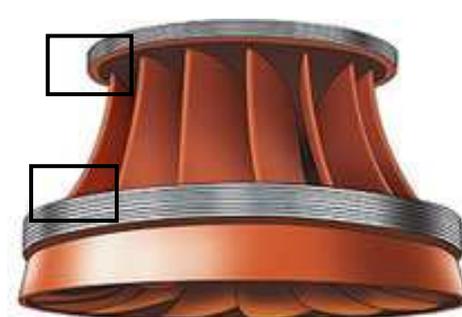
Cavitation



Érosion



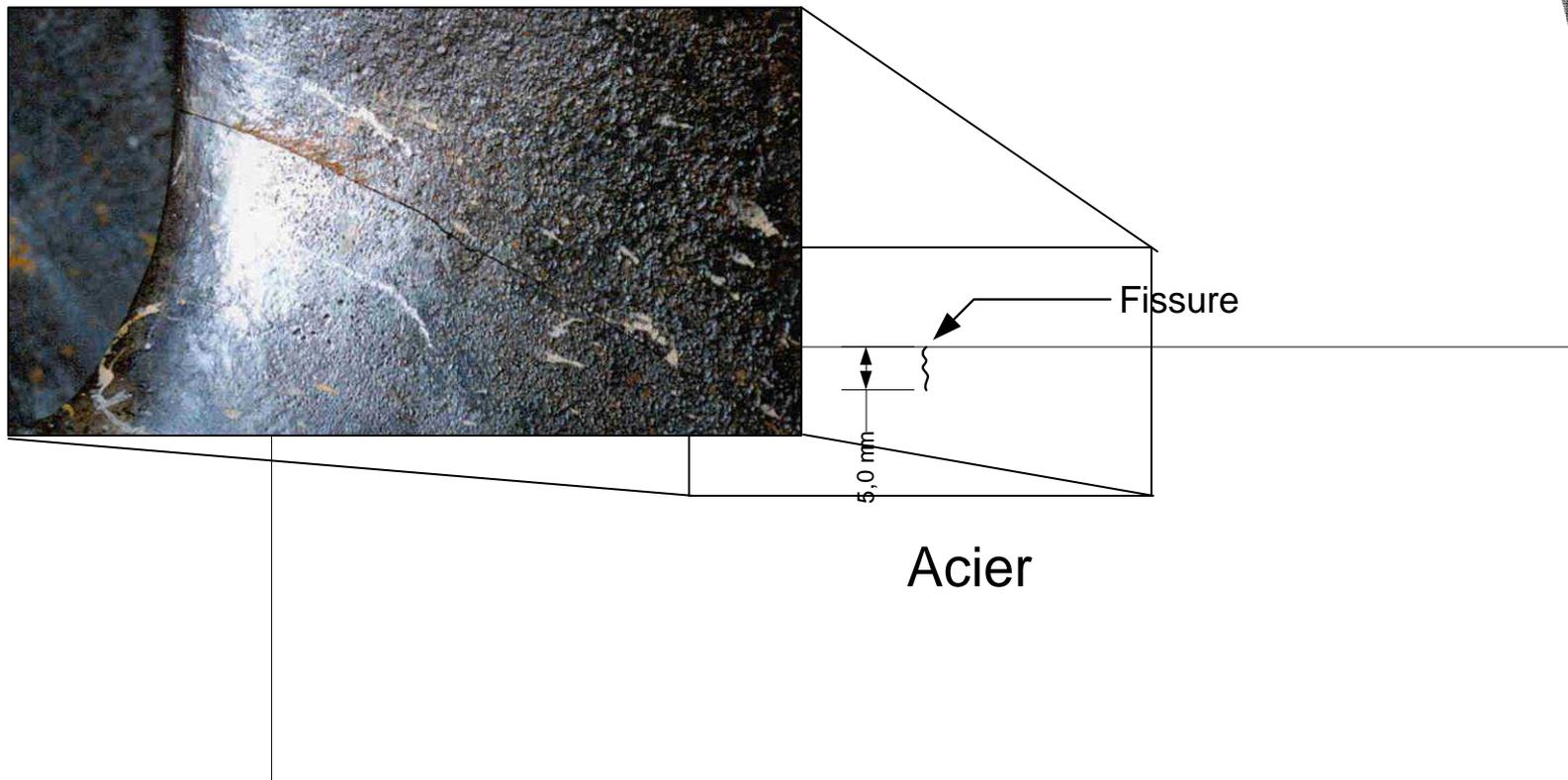
Retouche à la fabrication



Tirée de : <http://en.wikipedia.org/wiki/Cavitation>
Tirée de : http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cavitation_Propeller_Damage.JPG

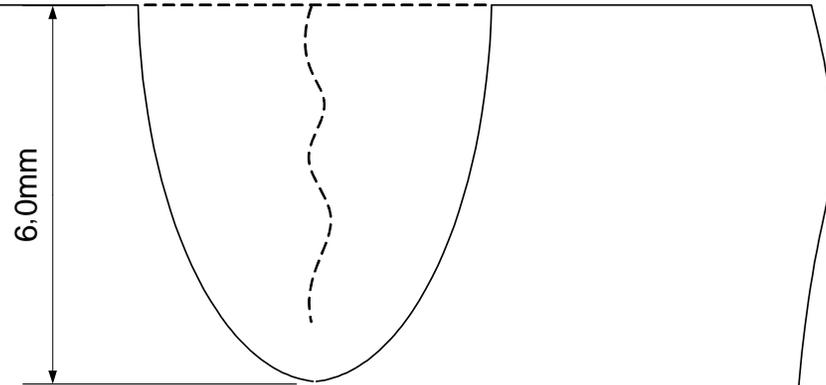
Réparation de fissure

- Exemple de fissure



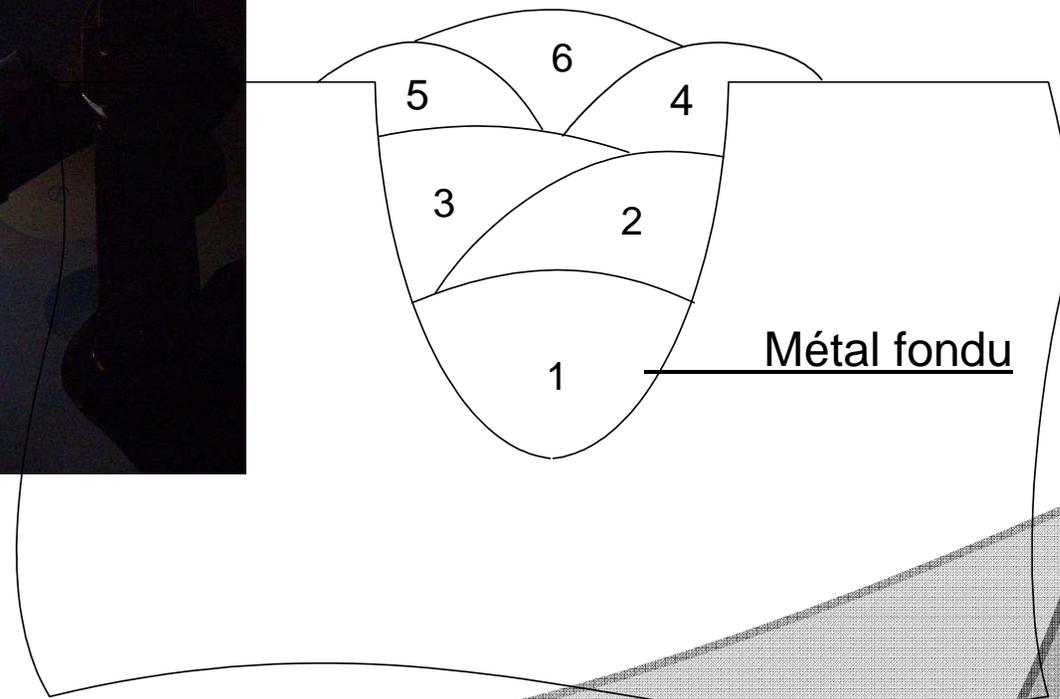
Réparation de fissure (suite)

- Gougeage



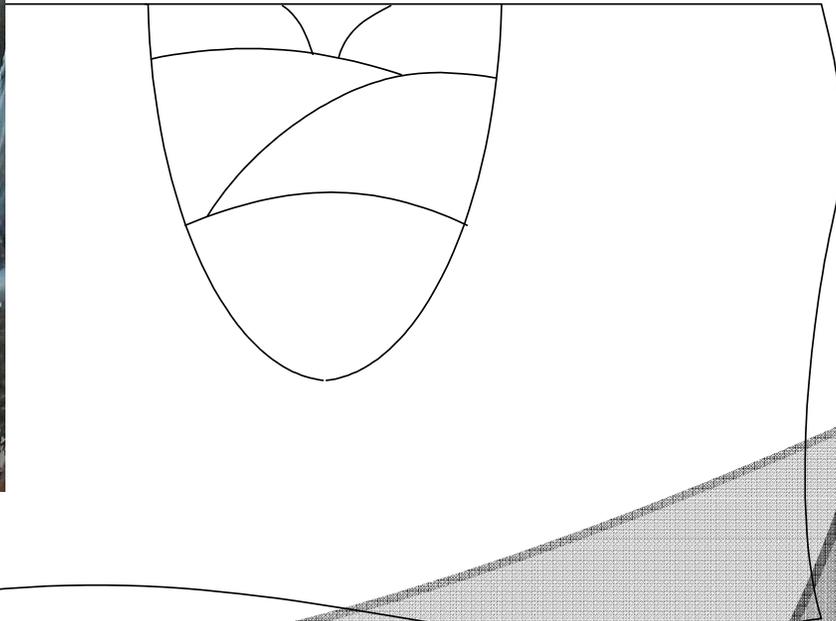
Réparation de fissure (suite)

- Soudage



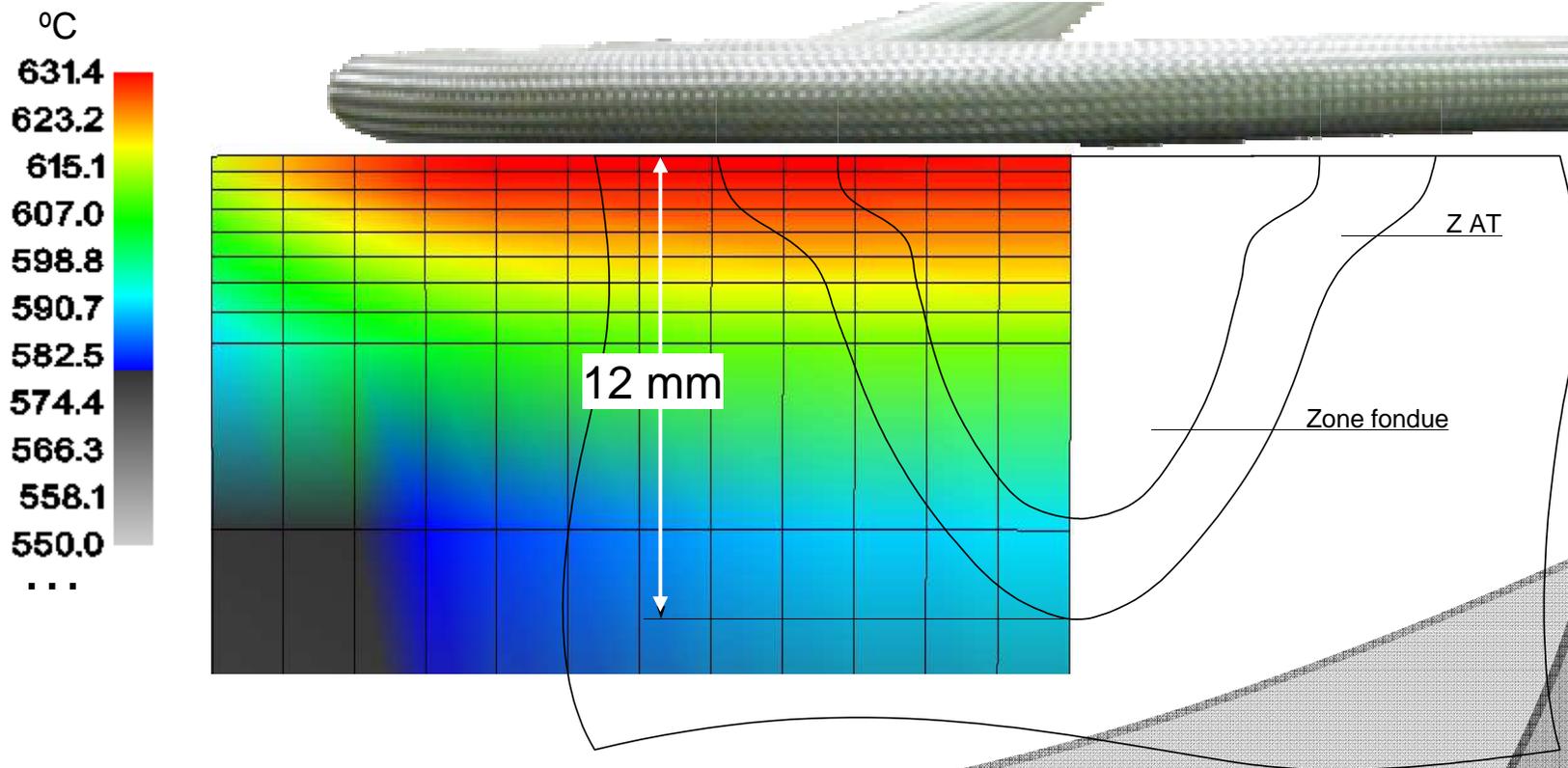
Réparation de fissure (suite)

- Meulage et polissage



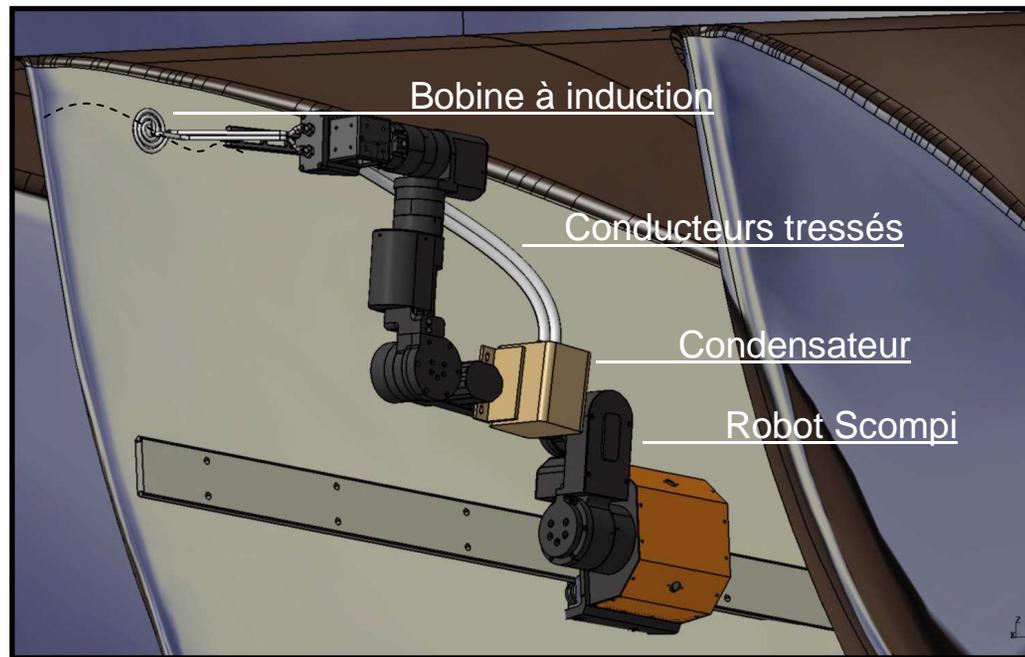
Réparation de fissure (suite)

○ Traitement thermique

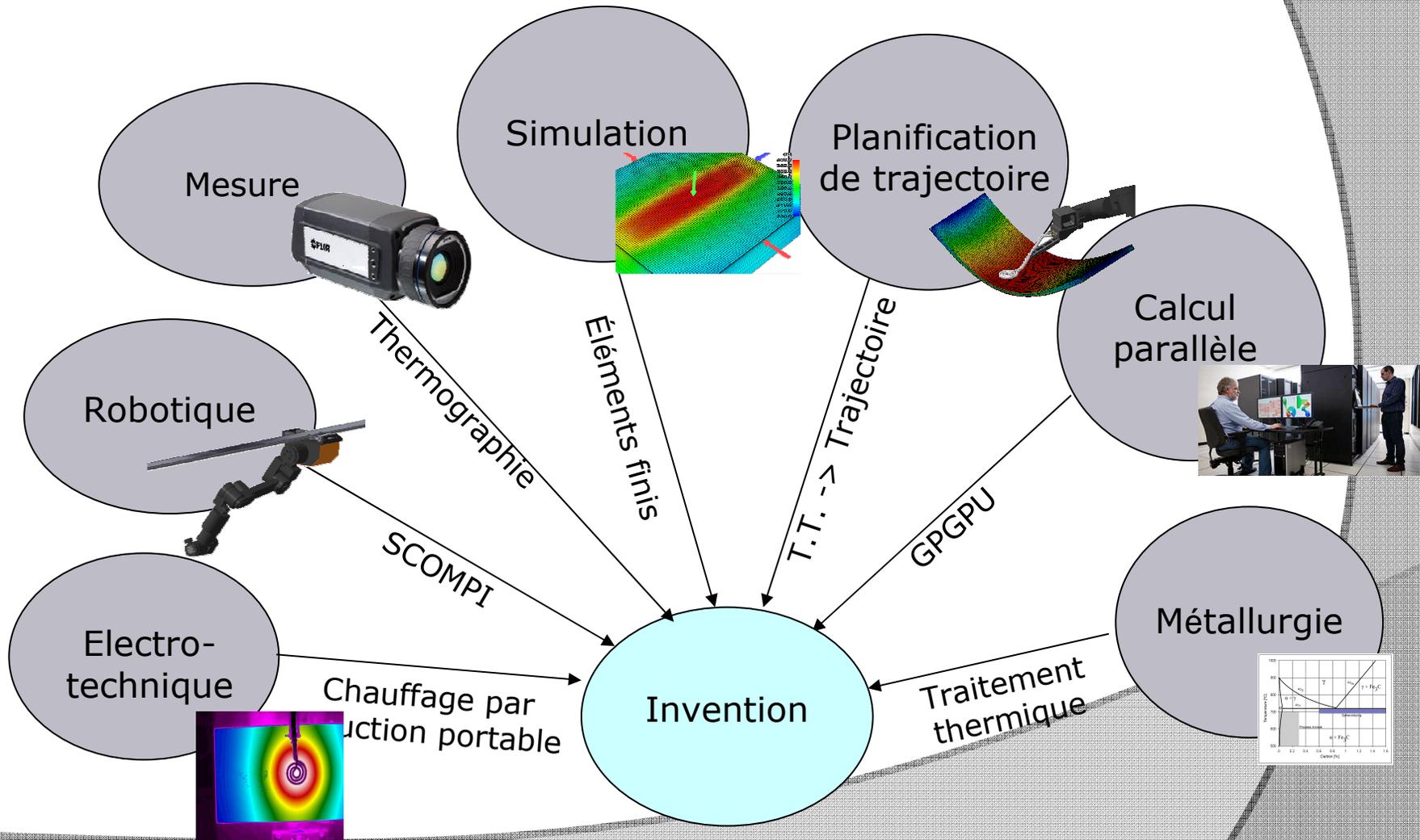


Solution

- Hydro-Québec développe un nouveau procédé de traitement thermique robotisé in situ.



Résumé de l'invention



Chauffage par induction

1. Un courant alternatif à haute fréquence circule dans une bobine.
 2. La bobine placée à proximité d'une pièce d'acier engendre un courant électrique.
 3. Un courant électrique dans un matériau crée un échauffement.
- ⊙ Technologie comparable aux cuisinières à induction.



Tirée de : <http://www.flickr.com/photos/chriscoyier/6839939850/sizes/o/in/photostream/>

- ⊙ **Avantages**
- Sans contact
 - Sans fumée
 - Facile à contrôler
 - Électronique portable

Chauffage par induction (suite)

- Développement d'un système électronique portable
 - Industrie: Petite pièce amenée à un système de grande envergure
 - T. T. robotisé: Petit système amené à une pièce de grande envergure

Industrie



Tirée de : http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plustherm_induction_heater.jpg
http://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Induction_heating_of_bar_crop.jpg

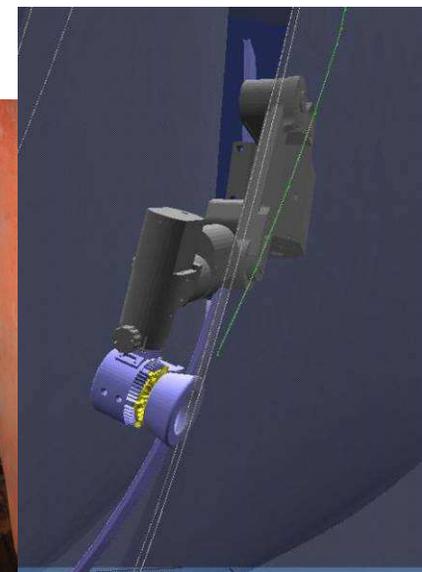
VS

T. T. robotisé



Technologie Scompi

- Robot portable multi procédé pour la réparation des équipements lourds en place
- Procédés:
 - Soudage, coupe, gougeage
 - Meulage
 - Martelage
 - Mesure laser
- Applications:
 - Réparation de cavitation
 - Reprofilage d'aube de turbine
 - Réfection de voie de roulement
- 45 chantiers complétés en 15 ans



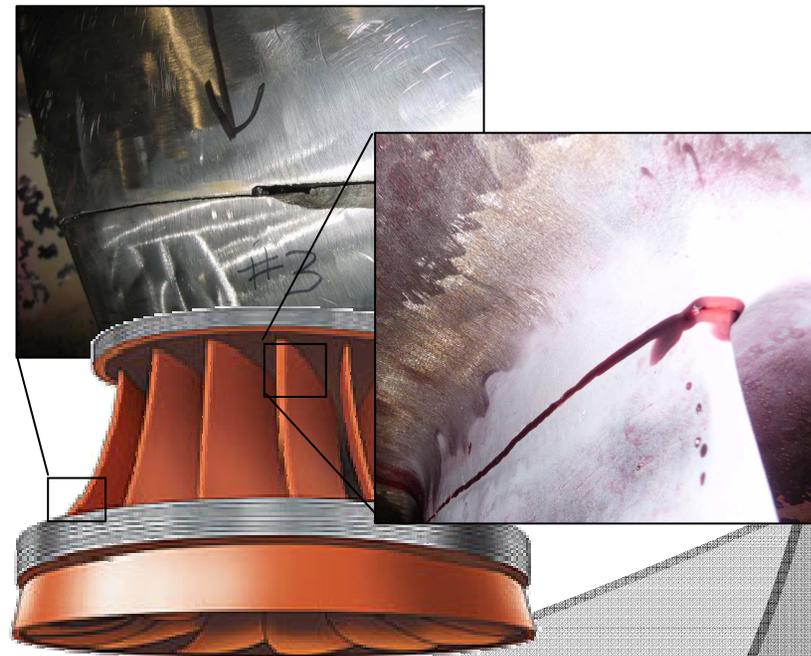
Exemple d'application

Hydro-Québec

- $\approx 100/350$ roues de turbine en acier inoxydable 13Cr-4Ni
- Âge moyen des groupes: 30 ans
- Réparation actuelle des fissures avec acier inoxydable 309 L
 - $\frac{1}{2}$ de la limite élastique
 - Hétérogénéité microstructurale
 - Zone affectée thermiquement fragile
 - Résistance à la cavitation faible
 - Contraintes internes élevées

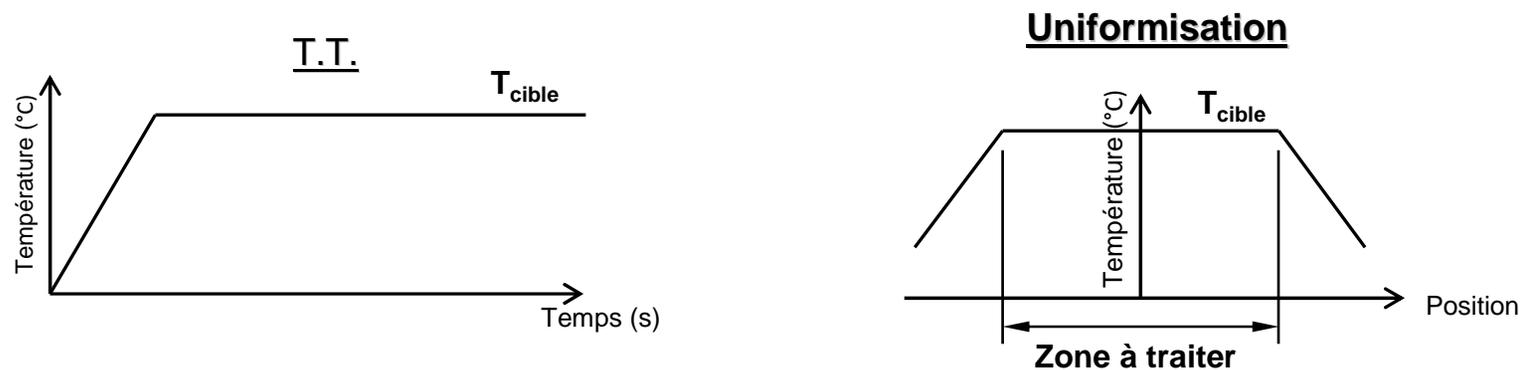
Traitement thermique

- **Utiliser le « matériel de base »**
- Cible: 620 ± 10 °C
- Augmente:
 - Durée de vie
 - Résistance à la cavitation
 - Double la limite élastique



Contrôle du profil de température

- Défi: 1. Maintenir la température à l'intérieur de 2 % d'erreur
2. Uniformiser le profil de température

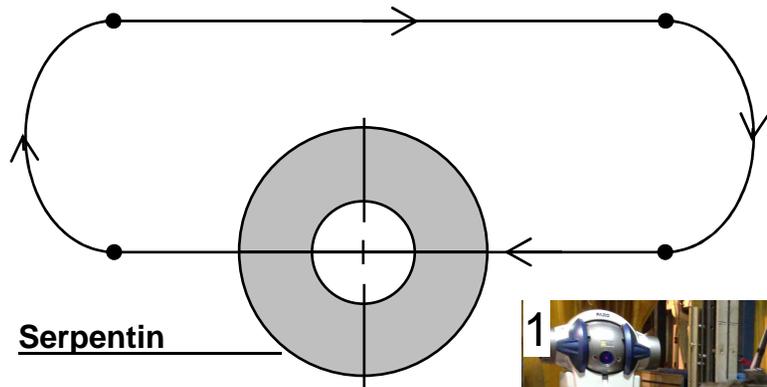


T. T. sur le 13Cr-4Ni : 620 ± 10 °C pendant 60 min.

- Un ouvrier avec une source de chauffage au gaz ne pourrait pas réaliser manuellement le T.T. aussi longtemps et précisément

Planification de la trajectoire

- Trajectoire va-et-vient:



Serpentin
Métal chaud (rougi)



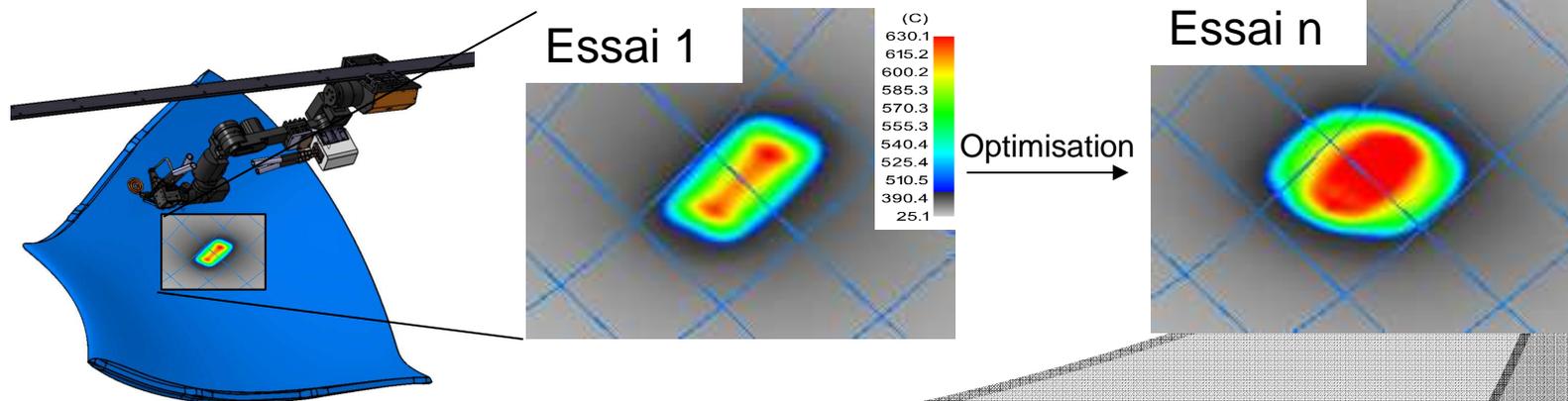
Simulation

- Les technologies informatiques actuelles permettent aujourd'hui de simuler en temps réel le processus de chauffage sur un ordinateur portable.



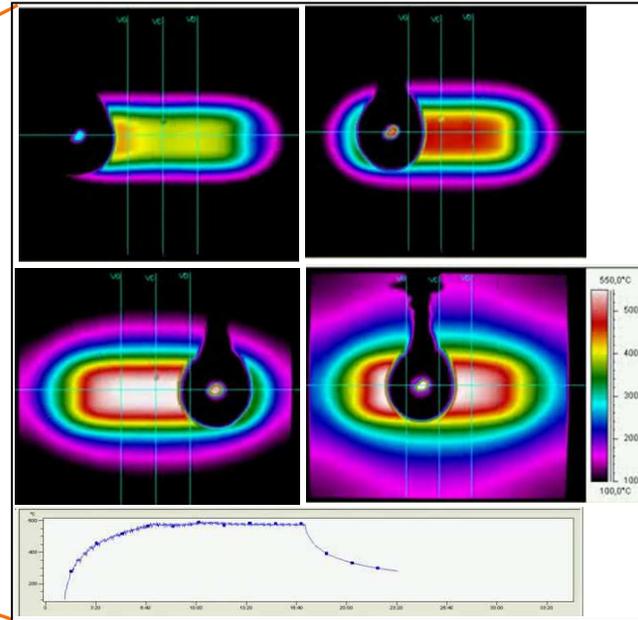
Tirée de : <http://www.consolesrepaired.co.uk>

- L'ordinateur calcule la trajectoire de la source nécessaire pour maintenir la température uniforme sur une zone appréciable.



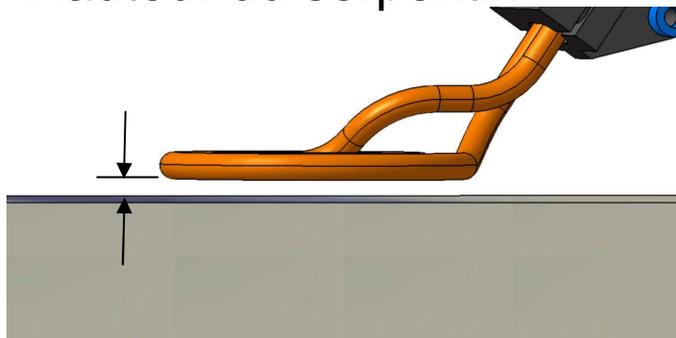
Correction des erreurs en place

⦿ Mesure

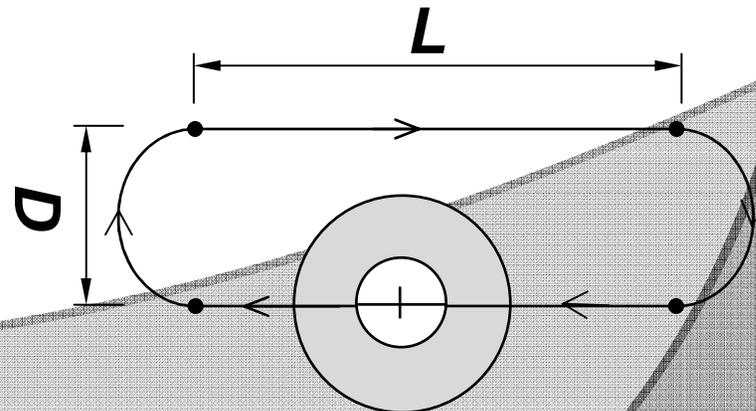


⦿ Modification des paramètres

- Hauteur du serpentín

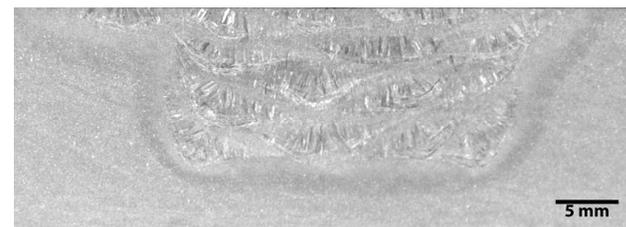
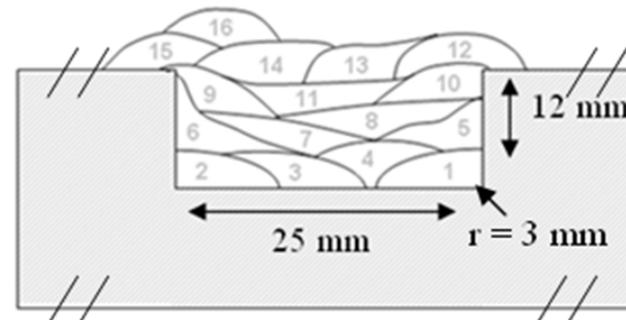


- Trajectoire

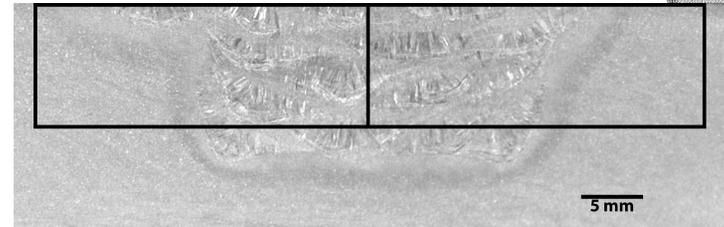
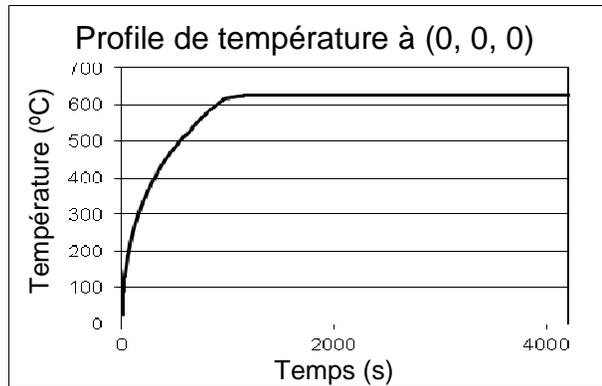


Preuve de concept: réparation de fissure

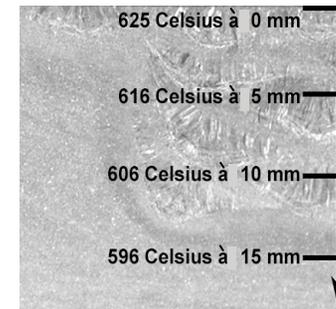
- Usinage de l'entaille
- Soudage de la fissure
- Meulage du dessus



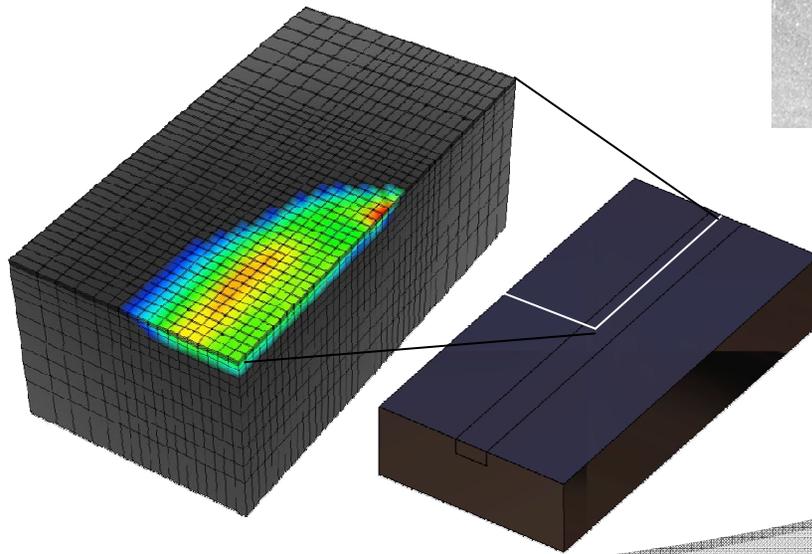
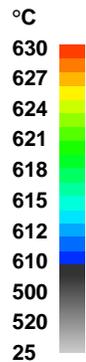
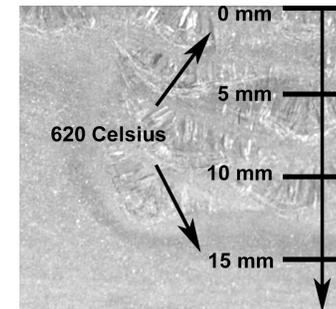
Preuve de concept: traitement thermique



T.T. robotisé



T.T. four

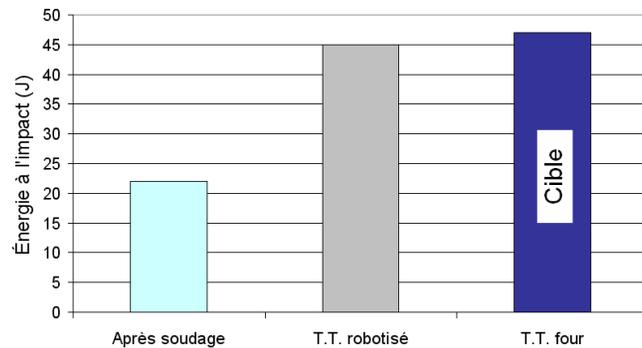


Preuve de concept: mesure des propriétés

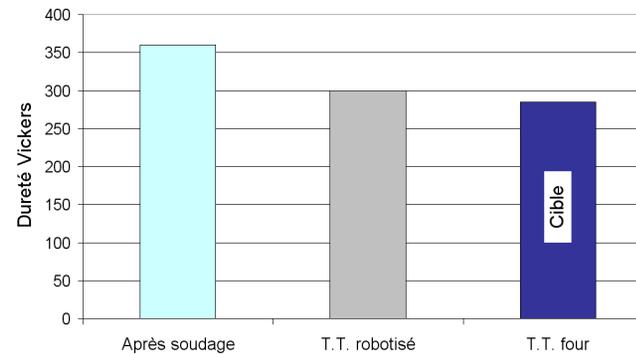


Tirée de : <http://plasticinestock.deviantart.com/art/Plasticine-Crab-100798165>

- Mesure de la résistance au choc

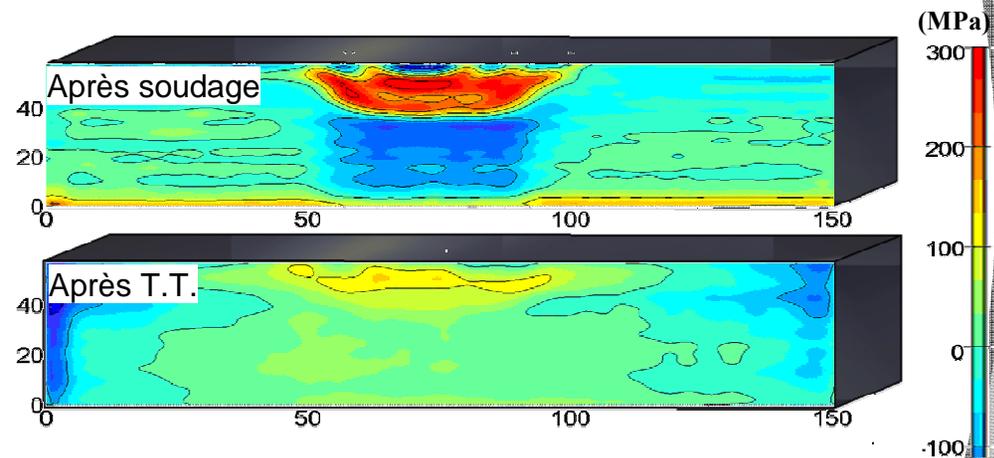
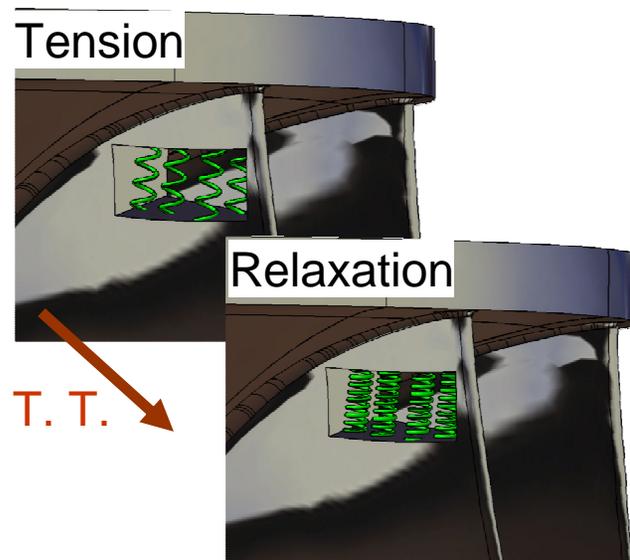


- Dureté



Preuve de concept: mesure des contraintes internes

- Réduction de moitié des contraintes internes après T. T.



Conclusion

○ Réalisations

- Les traitements thermiques robotisés sont comparables à ceux réalisés dans un four.
- Le profil de température est contrôlé à l'intérieur de la plage de tolérance (2 %) sur une dimension acceptable.
- La réparation de fissure, de cavitation ou de dommage causé par l'érosion est maintenant possible in situ.
- Le traitement thermique in situ permettra vraisemblablement de réduire les coûts de maintenance de façon importante (\$\$\$).

○ Travaux futurs

- Contrôler la température sur des géométries massives à forte courbure.
- Contrôler le profil de température au refroidissement pour réduire les contraintes internes dans la zone soudée.