

NON SENSIBLE

SIMULATION NUMÉRIQUE DU SOUDAGE DE STRUCTURES NAVALES

ENJEUX & EXEMPLES D'APPLICATION

Florent BRIDIER, Christophe KERISIT, François CORTIAL
Centre de Recherche Technologique – Naval Group

Colloque Modélisation et Simulation Numérique du Soudage 2019
Brest, le 27 Août 2019

SOMMAIRE

INTRODUCTION

Contexte, enjeux et objectifs de la simulation numérique du soudage chez Naval Group

STRATEGIES DE SIMULATION DU SOUDAGE

Echelles de modélisation, méthodologies de simulation et outils logiciels

EXEMPLES DE CAS D'APPLICATION DE LA SNS CHEZ NAVAL GROUP

Déformée locale et globale de grands panneaux raidis

SYNTHESE

INTRODUCTION

Contexte, enjeux et objectifs de la simulation numérique
du soudage chez Naval Group

Contexte particulier des structures navales

Sous-marins et bâtiments de surface

- Plusieurs km de soudures par navire
- Pièces d'épaisseurs très variées : quelques mm sur bâtiments de surface à quelques cm sur sous-marins
- Matériaux variés : aciers austénitiques, aciers à haute limite d'élasticité, alliages de titane, ...
- Procédés de soudage très différents : EE, MIG/MAG, TIG, FE, ...



Photo credits: © Naval Group

Disposer d'un outil de prédiction numérique des conséquences thermiques, mécaniques et métallurgiques du soudage pour

- ↳ optimiser/dérisquer des stratégies de fabrication ou de réparation
 - Conditions de soudage (DMOS) et de bridage
 - Ordonnancement/séquence des phases de soudage
 - Co-activité à proximité d'une soudure (réserve d'usinage, ...)

- ↳ fournir des données d'entrée aux calculs de tenue mécanique (fatigue, rupture, flambement)
 - Contraintes résiduelles
 - Déformées

ENJEUX ET OBJECTIFS DE LA SIMULATION DU SOUDAGE POUR NAVAL GROUP (2/2)

Disposer d'un outil de prédiction numérique des conséquences thermiques, mécaniques et métallurgiques du soudage ...

fiable,



rapide,



et industriel

TRL 1

TRL 3

TRL 6

TRL 9

de la modélisation... ... via la validation sur cas tests aux pièces réelles !

$$\rho \frac{dH}{dt} - \text{div}(\lambda \cdot \text{grad} T) - Q = 0$$

$$z_{eq}(T) - z_{imp}(r) = \frac{3P_w}{\pi R_0^2} \exp\left(-3 \frac{r^2}{R_0^2}\right)$$

$$\varepsilon = \frac{D}{1 + \exp\left(-a \left(\frac{|\sigma|}{R} - 1\right)^n\right)} \text{sign}(\sigma)$$

$$F(T) = 1 + \frac{1}{1 + \exp\left(-a \left(\frac{|\sigma|}{R} - 1\right)^n\right)} \text{sign}(\sigma)$$

$$\varepsilon^{th} = \left[\frac{1}{1 + \exp\left(-a \left(\frac{|\sigma|}{R} - 1\right)^n\right)} \text{sign}(\sigma) \right] \Delta \varepsilon^{\alpha \rightarrow \gamma}$$

Thermique

Métallurgie

Mécanique

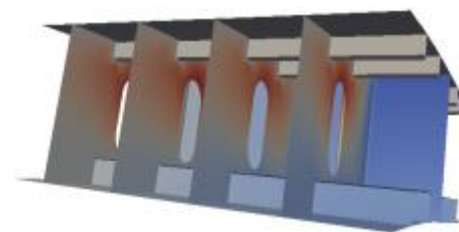
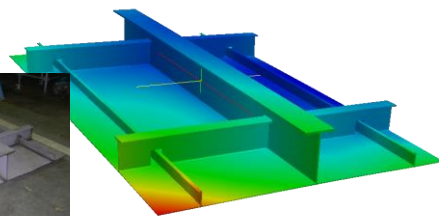


Photo credits: © Naval Group

Partenaires académiques

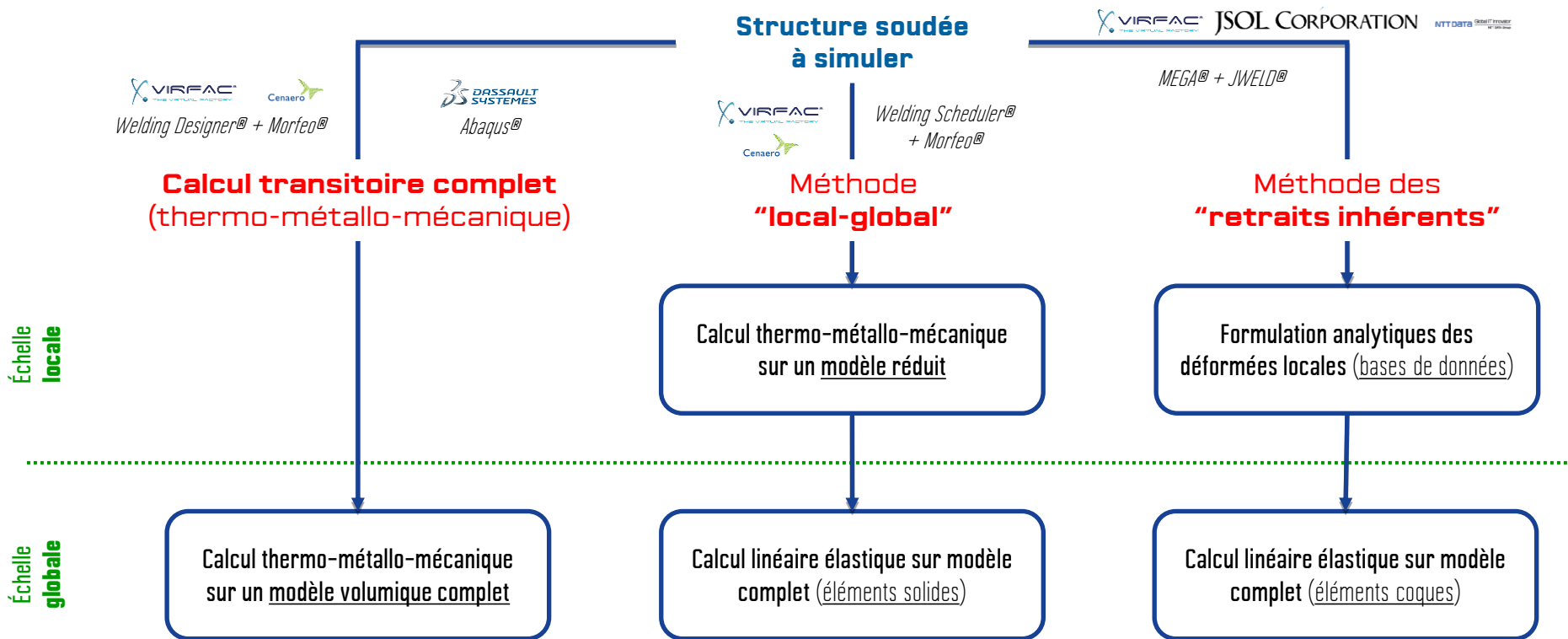
Naval Group
CRT

Naval Group
Bureaux d'étude

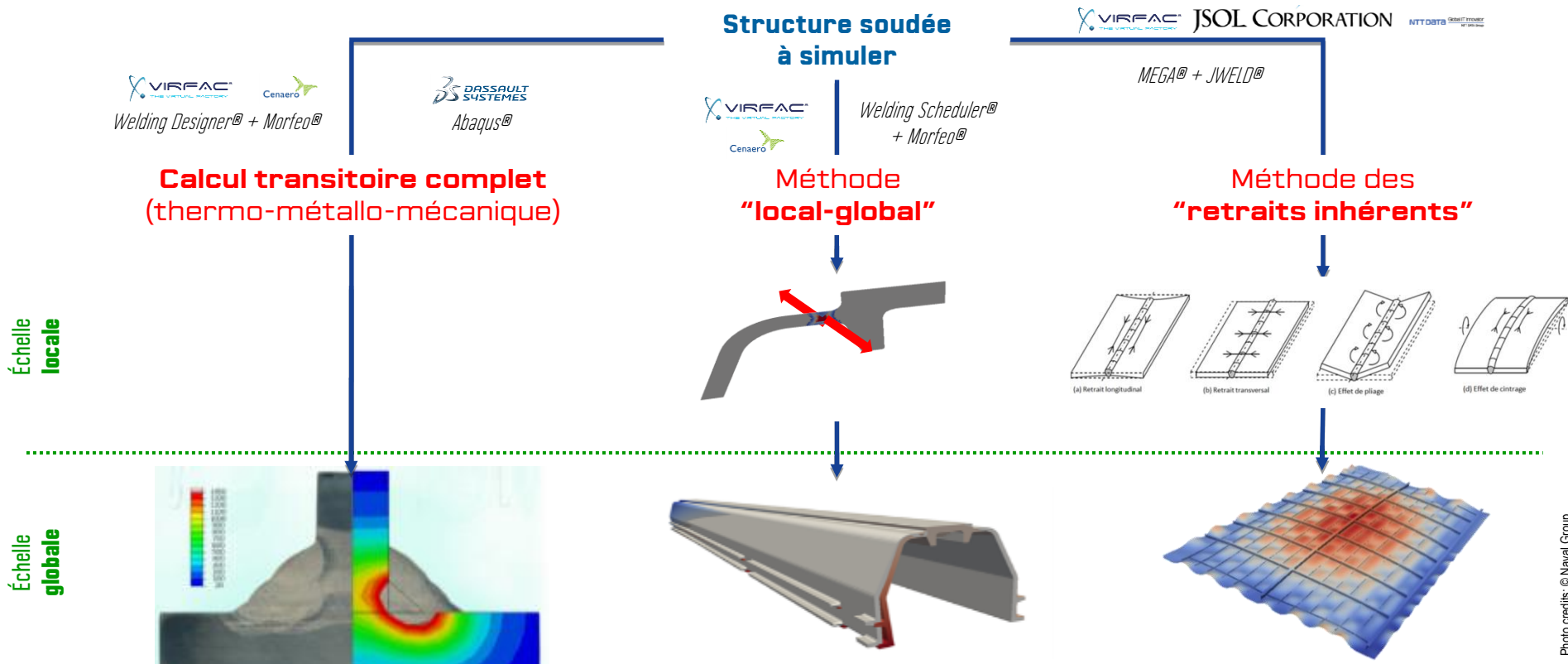
STRATÉGIES DE SIMULATION DU SOUDAGE

Echelles de modélisation, méthodologies de simulation et outils logiciels

DIFFÉRENTES ÉCHELLES, MÉTHODES ET OUTILS DE MODÉLISATION MIS EN ŒUVRE À NAVAL GROUP



DIFFÉRENTES ÉCHELLES, MÉTHODES ET OUTILS DE MODÉLISATION MIS EN ŒUVRE À NAVAL GROUP



Différents travaux réalisés ou en cours:

- ▶ Benchmark logiciels/codes
- ▶ Caractérisation matériaux navals & identification lois de comportement (TMM)
- ▶ Consolidation méthodes numériques :
 - sensibilité aux paramètres lois de comportement
 - 2D vs. 3D
 - Maillage
 - Soudage multipasses : groupement de passe vs. sélection de passes
- ▶ Corrélation calculs/essais sur maquettes représentatives :
 - contraintes résiduelles : DRX, mise en œuvre méthode du contour et comparaison avec autres méthodes (DHD, neutron, ...)
 - déformées : scan laser 3D, DIC.

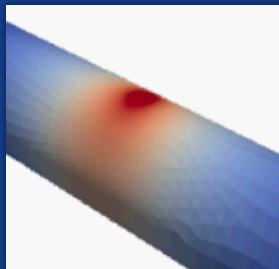




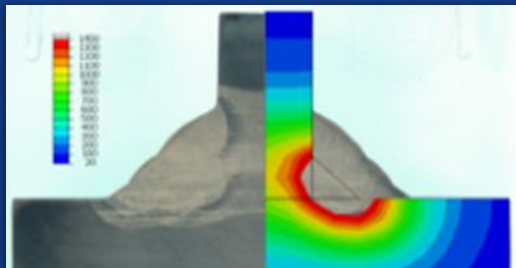
EXEMPLES DE CAS D'APPLICATION DE LA SIMULATION DU SOUDAGE

EXEMPLES DE CAS D'APPLICATION RÉCENTS

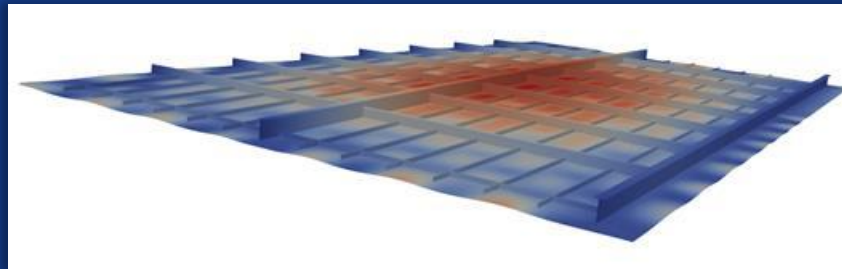
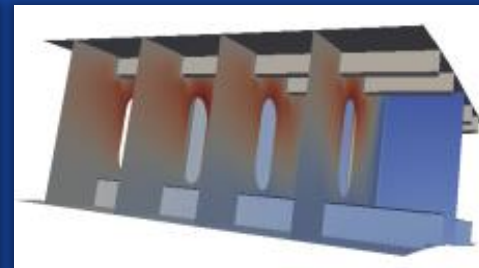
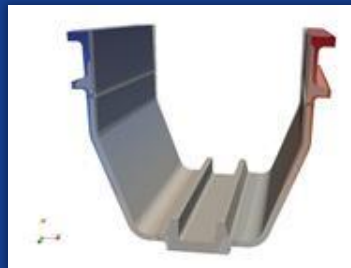
Thermique



Contraintes résiduelles



Déformées résiduelles



Thermique

Contraintes résiduelles

Déformées résiduelles

Déformée locale et globale de grandes
structures raidies

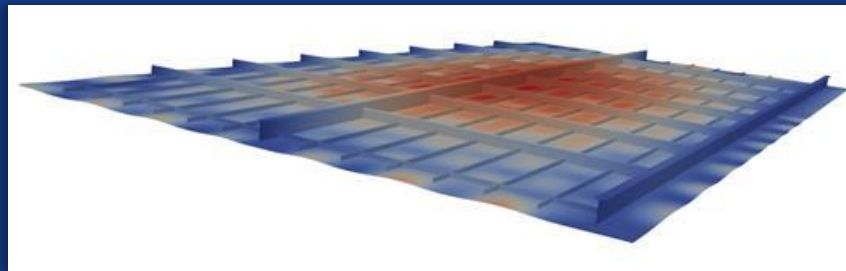


Photo credits: © Naval Group

EXEMPLES DE CAS D'APPLICATION : DÉFORMÉE LOCALE ET GLOBALE DE GRANDS PANNEAUX RAIDIS

Problématique

Déformée en maille sur panneaux raidis de faible épaisseur



1

Simulations locales sur joints
d'angle

Jeu de retraits inhérents



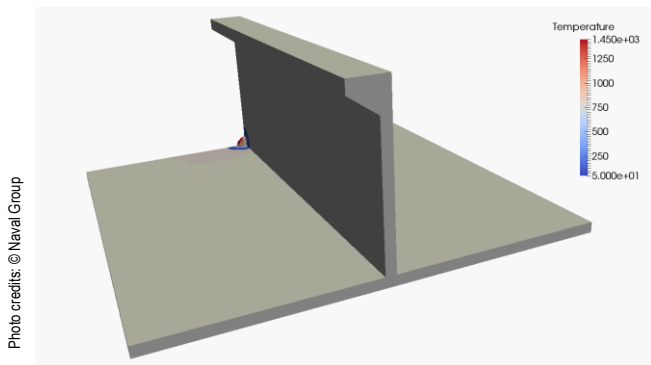
2

Simulation globale sur
l'ensemble d'un panneau raidi

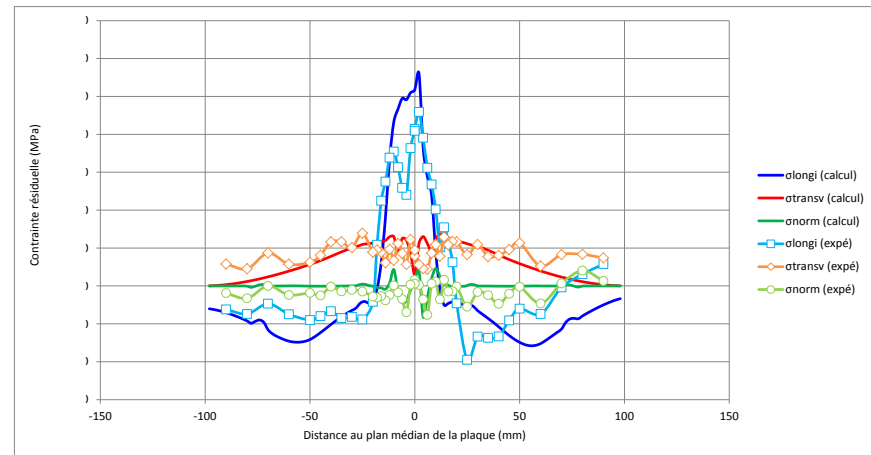
DÉFORMÉE LOCALE ET GLOBALE DE GRANDS PANNEAUX RAIDIS

SIMULATIONS LOCALES SUR JOINT D'ANGLE EN DH36

- Caractérisations thermo-physique, thermo-métallurgique et thermomécanique du DH36
- Implémentation et analyse de différentes hypothèses (loi de comportement, maillage, ...)
- Simulation d'un joint d'angle et analyse des déformées résiduelles (« retraits inhérents »)

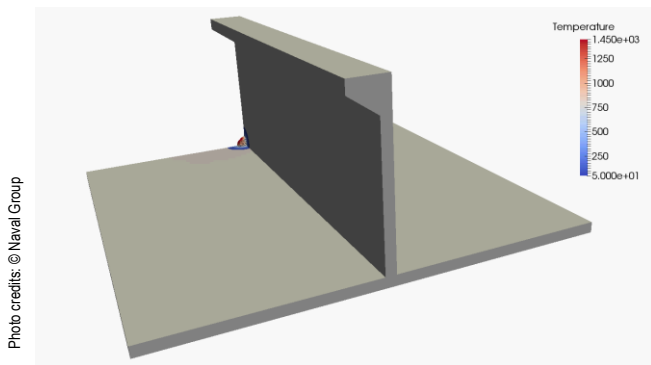


- Quelques validations expérimentales :

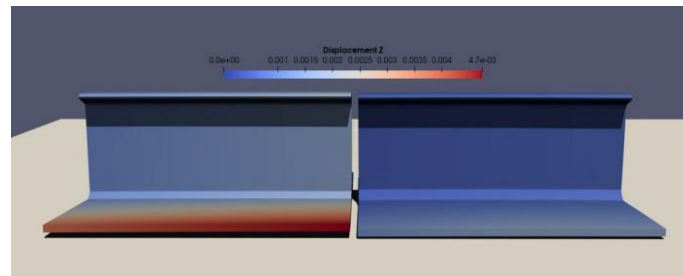


Corrélation sur les contraintes résiduelles (mesures par diffraction neutronique)

- Caractérisations thermo-physique, thermo-métallurgique et thermomécanique du DH36
- Implémentation et analyse de différentes hypothèses (loi de comportement, maillage, ...)
- Simulation d'un joint d'angle et analyse des déformées résiduelles (« retraits inhérents »)



- Quelques validations expérimentales :

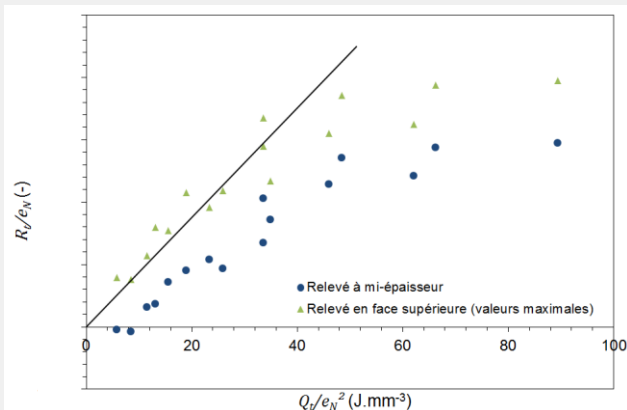


Corrélation sur les déformées après soudage
et refroidissement

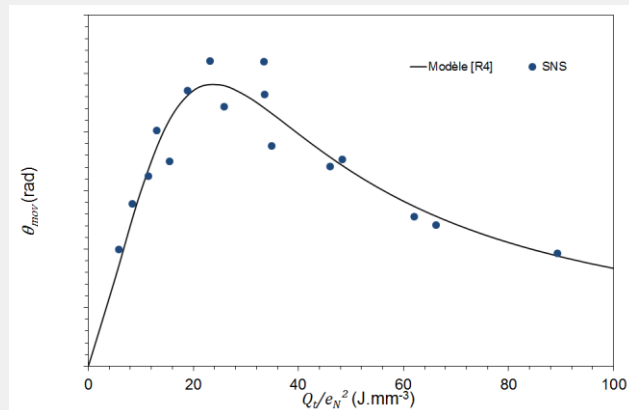
- Etude de l'effet des conditions de bridage
- Etude de la séquence de soudage
- Etude de l'effet de l'épaisseur de la tôle et la taille de gorge/énergie de soudage

► Proposition de bibliothèques/formulations analytiques des retraits inhérents au soudage

Retrait transversal



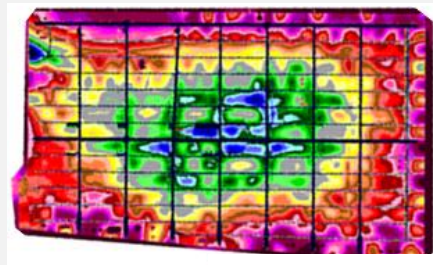
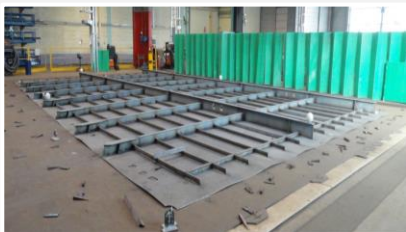
Retrait angulaire



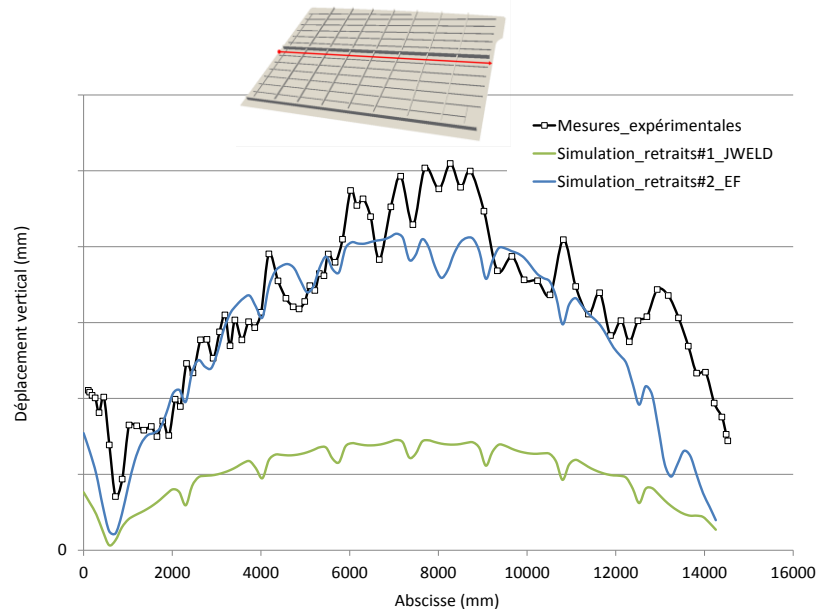
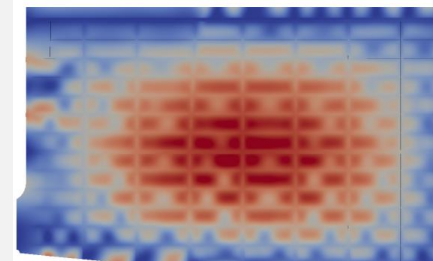
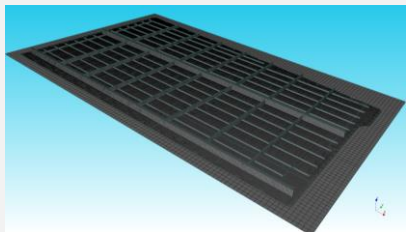
DÉFORMÉE LOCALE ET GLOBALE DE GRANDS PANNEAUX RAIDIS SIMULATIONS DE LA DÉFORMÉE DE PANNEAUX RAIDIS

Application méthode des retraits inhérents à un pont de bâtiment de surface

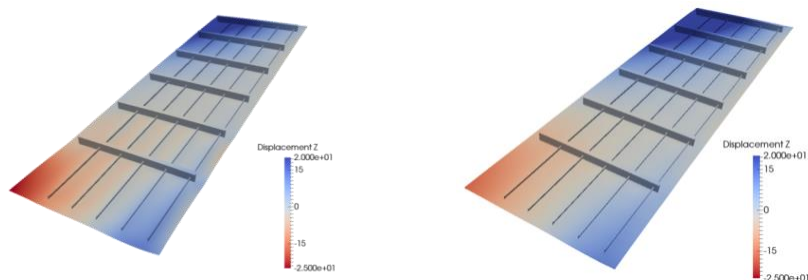
Mesures en chantier



Simulation - 950 opérations (positionnement, pointage, soudage)

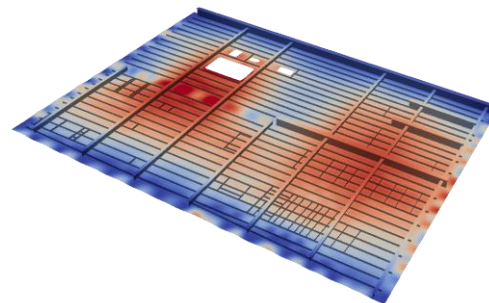
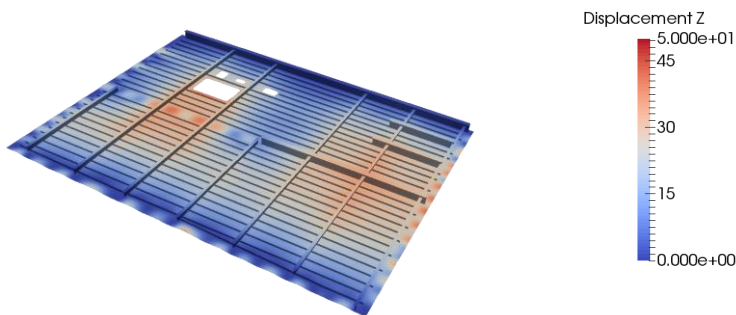


- Evaluation de l'effet de soudures continues vs. soudures discontinues



- Evaluation de l'effet de nombreuses « petites » soudures de renforts sous carlingages

Sans les renforts
sous carlingages



Avec les renforts
sous carlingages

NON SENSIBLE

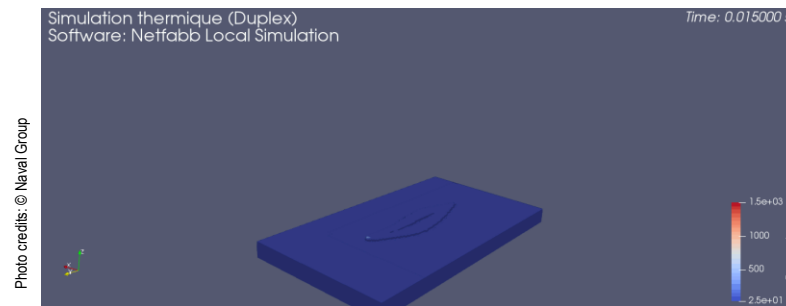
Synthèse

Bilan des travaux menés :

- Développement/application des différentes méthodes numériques
 - . Premiers résultats satisfaisants en contraintes/déformées sur différentes applications navales représentatives
 - . Développement de l'activité dans le groupe

Quelques travaux en cours :

- Etude paramétrique de sensibilité :
 - . Données d'entrée et lois comportement (essais Satoh)
 - . Simplification résolution numérique / caractérisation a minima
- Cas des calculs hors d'atteinte : soudage multipasse de fortes épaisseurs (fabrication, réparation par rechargement, ...)
 - . Développement méthode numérique adaptée au soudage multipasse
 - . Méthodes de réduction de modèles / métamodèles
- Fabrication additive par procédé arc-fil



NAVAL
GROUP