

Validation des hypothèses de simulation à l'aide d'essais

Conférence SNS

27/03/2014 – maison de la mécanique

François PICHOT

Fabien CORPACE

SNECMA GROUPE SAFRAN

Conception & Fabrication de moteurs aéronautiques



SIMULATION DU SOUDAGE CHEZ SAFRAN

→ Code MORFEO (CENAERO / GEONX)

→ Procédés simulés :

- Soudage Fusion
 - Faisceau d'Electrons, TIG, Plasma, Laser
- Soudage Friction
 - Inertielle et pilotée



→ Développement pour répondre à deux problématiques :

- Compréhension des phénomènes en présence : Utilisation en support
- Développements de gammes optimisées

/01/

Soudage par Fusion

SOUDAGE FUSION

CARTER D'ÉCHAPPEMENT

→ Carter échappement

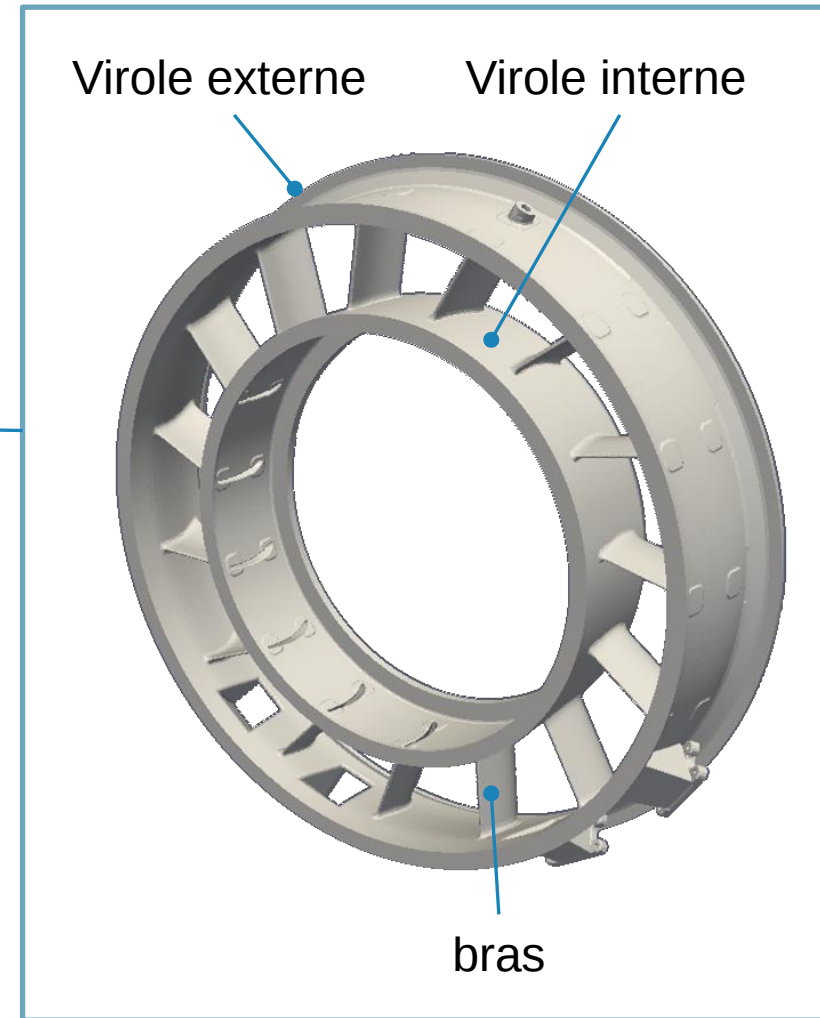
- Assemblage de 3 types composants
- 30 cordons de soudure
- Superalliage base Nickel
- Diamètre ~ 1m



→ Nouvelle conception

- Procédé ?
- Gamme d'assemblage?
- Modes de déformation?

→ Analyse numérique « locale »

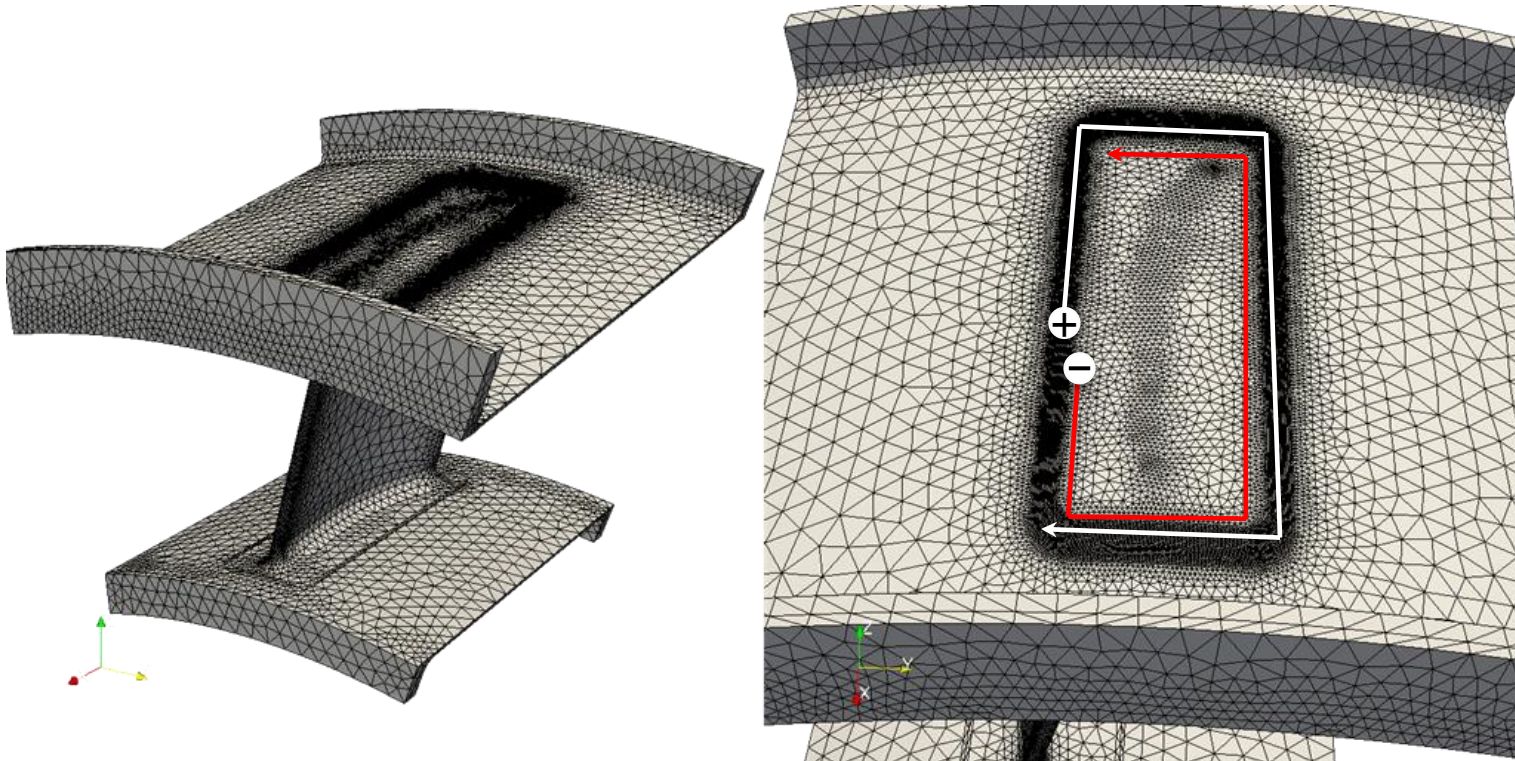


SOUDAGE FUSION

SECTEUR CARTER

→ Modélisation soudage « secteur »

- Impact de la gamme
- Sens de rotation : horaire (+) ou antihoraire (-)

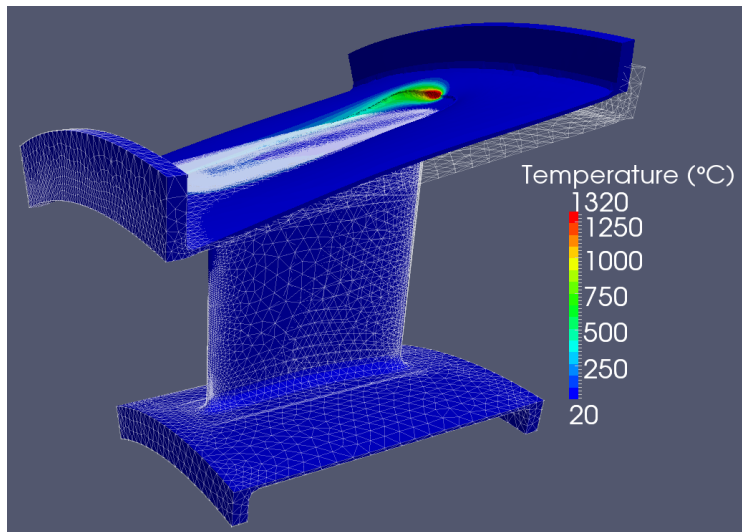


SIMULATION THERMOMÉCANIQUE

BRAS CARTER / VIROLES

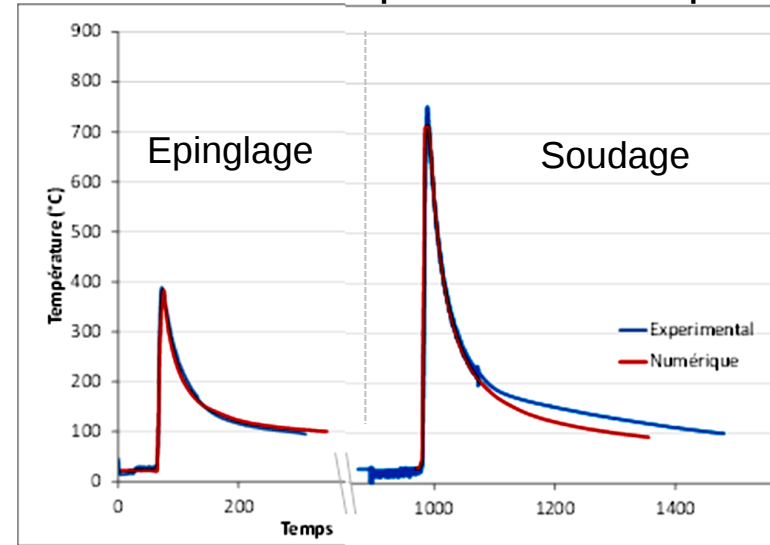
→ Source de chaleur double ellipsoïde

→ Convection – rayonnement



→ Validations expérimentales

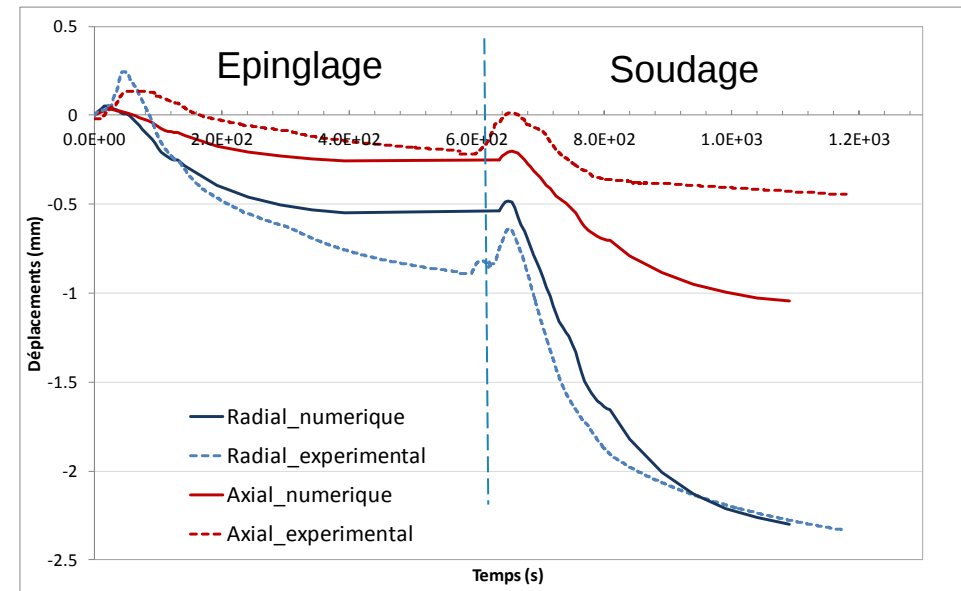
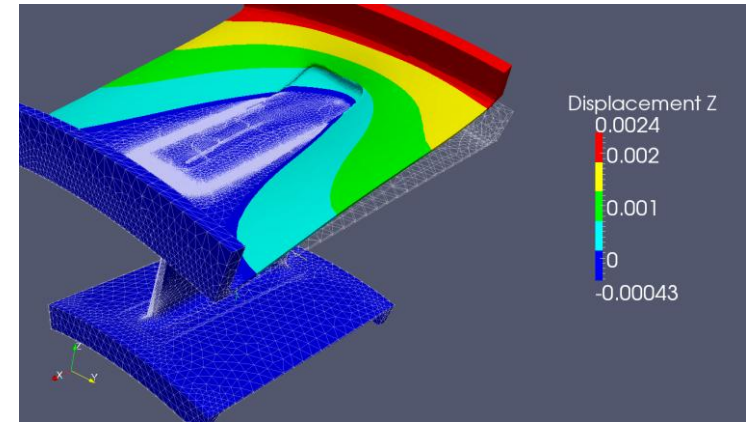
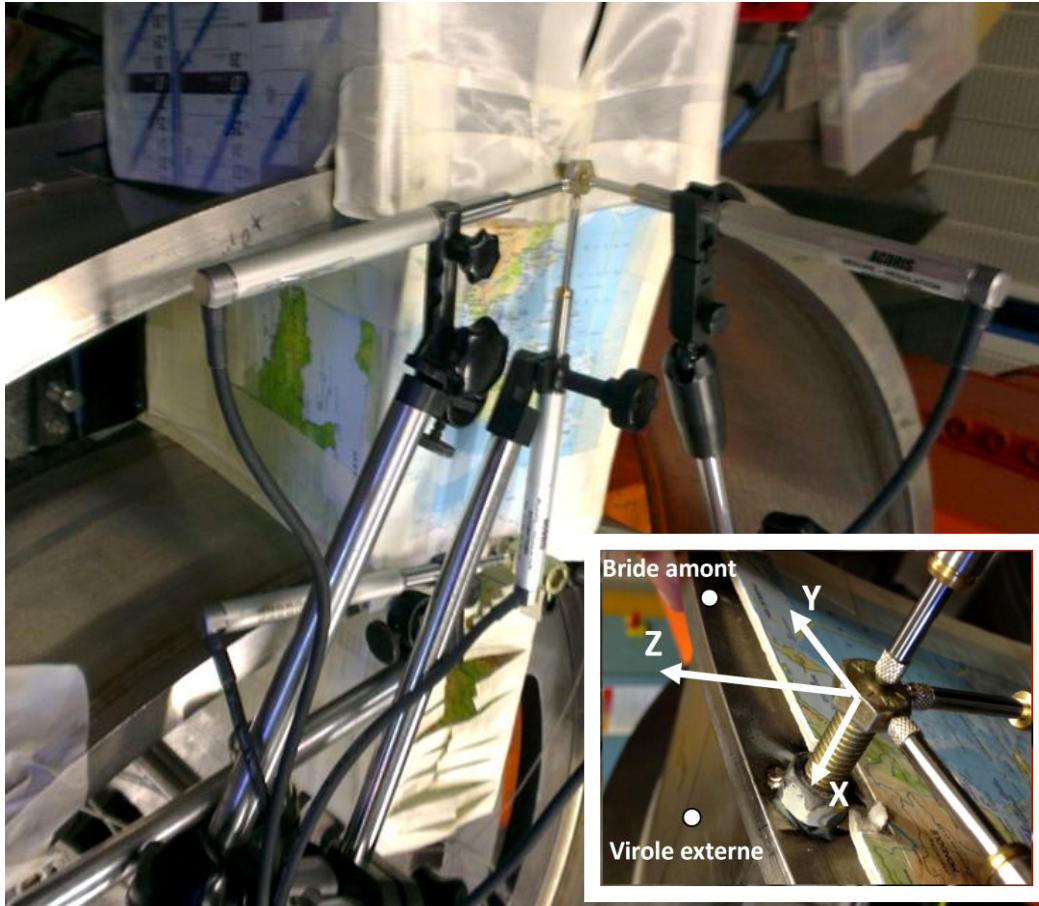
■ Mesure de T par thermocouples



SIMULATION THERMOMÉCANIQUE BRAS CARTER / VIROLES

→ Validations expérimentales

- Mesures de déplacements



Déplacements vs temps

BRAS CARTER / VIROLES

ANALYSE EXPÉRIMENTALE

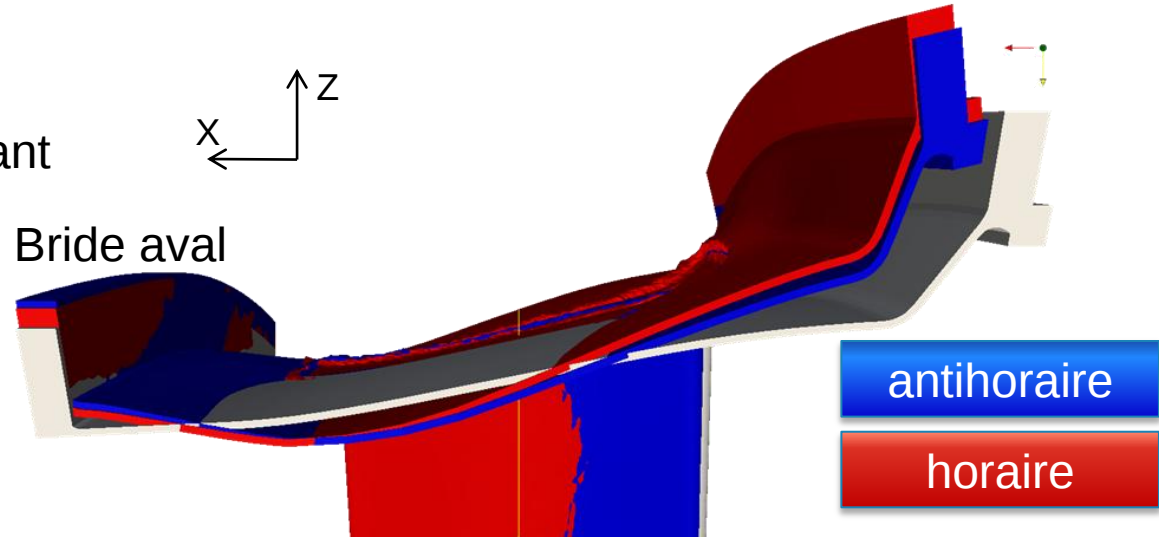
→ Modes de déformations observés

- Mise en parapluie de la bride amont, rétrécissement du diamètre virole

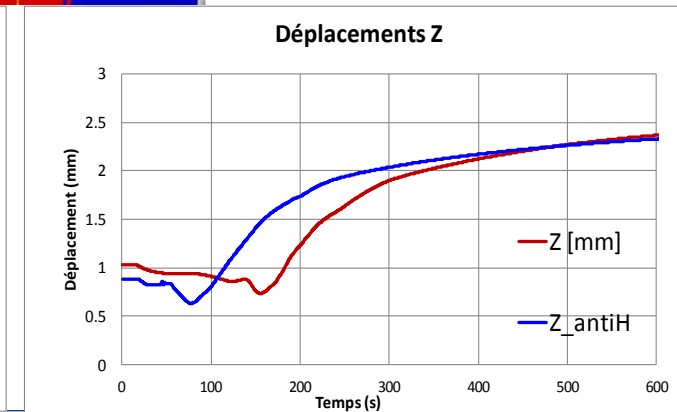
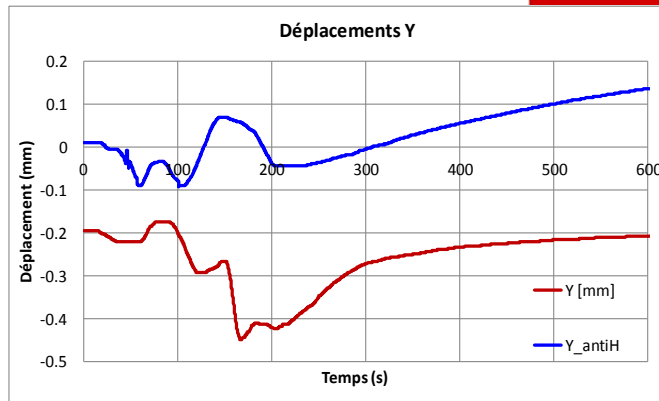
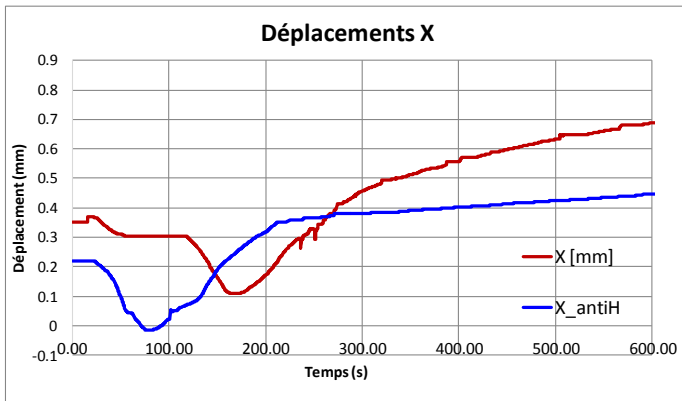
Bride amont

→ Impact du sens de rotation?

- Sens antihoraire moins déformant

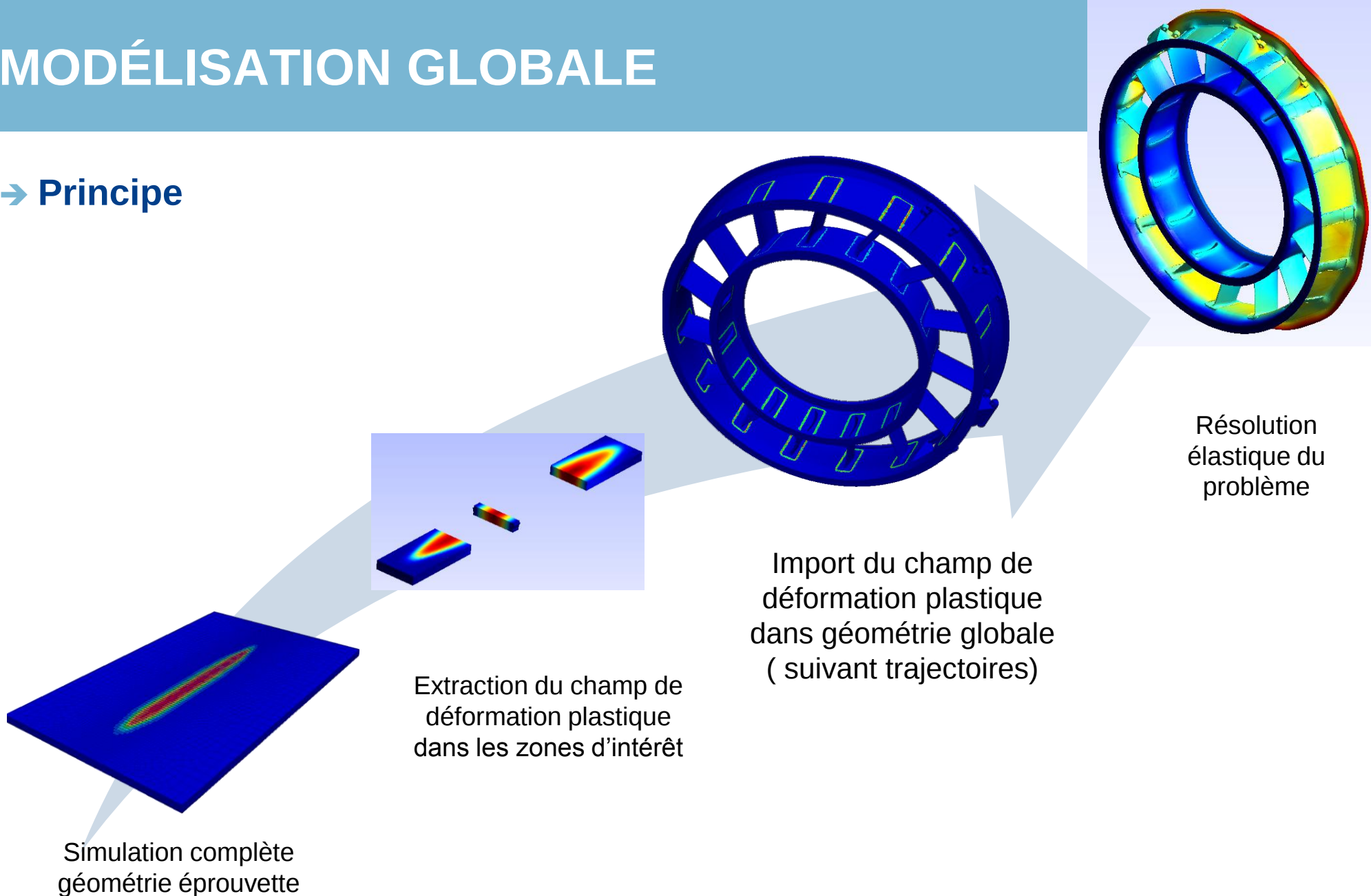


→ Analyse expérimentale: Idem



MODÉLISATION GLOBALE

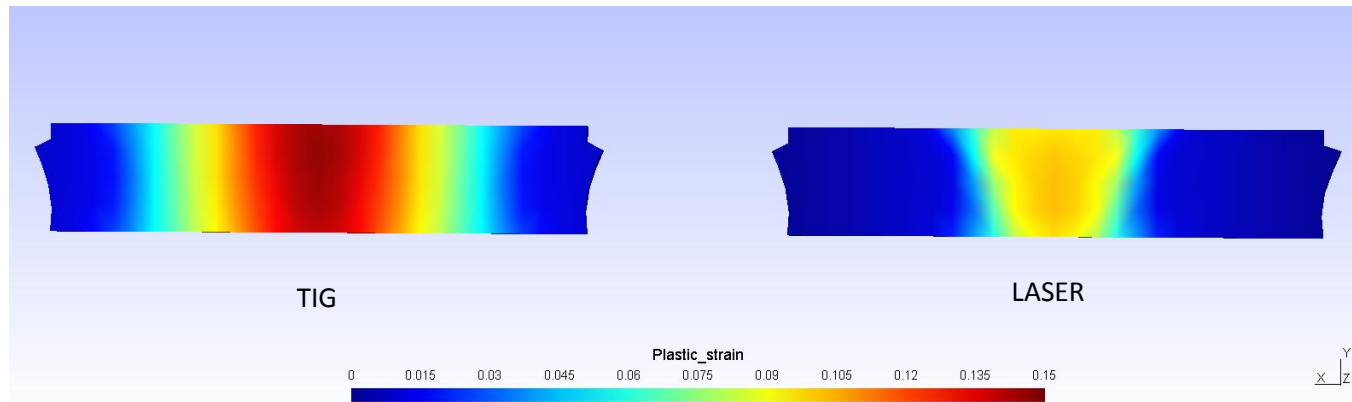
→ Principe



ANALYSE DE L'IMPACT DU PROCÉDÉ

→ Modélisation locale:

- Confrontation de deux procédés: champs de déformation plastique

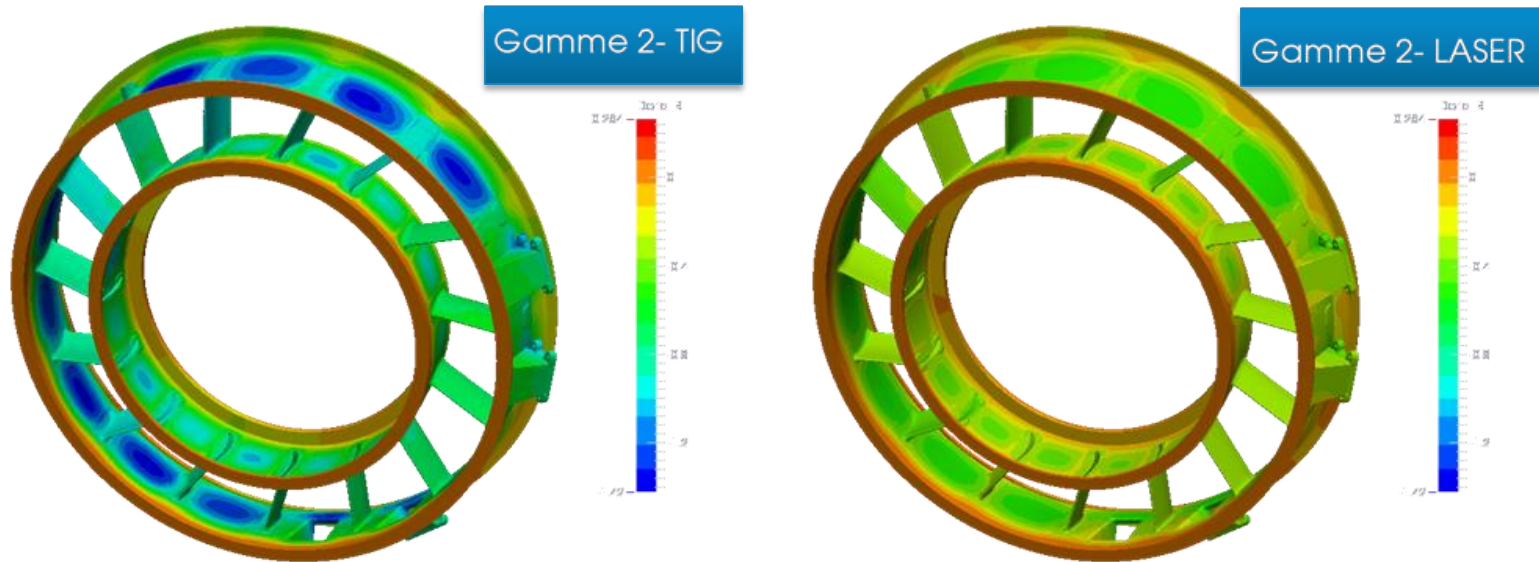


→ Zone déformée plastiquement plus restreinte en LASER

→ Utilisation dans modélisation globale (1M éléments)

COMPARAISON PROCÉDÉS

→ Modes de déformations conformes aux prévisions



→ Distorsions plus importantes en TIG / LASER (x2)

→ Estimation des déformées numériques / expérimental : facteur $\frac{1}{2}$

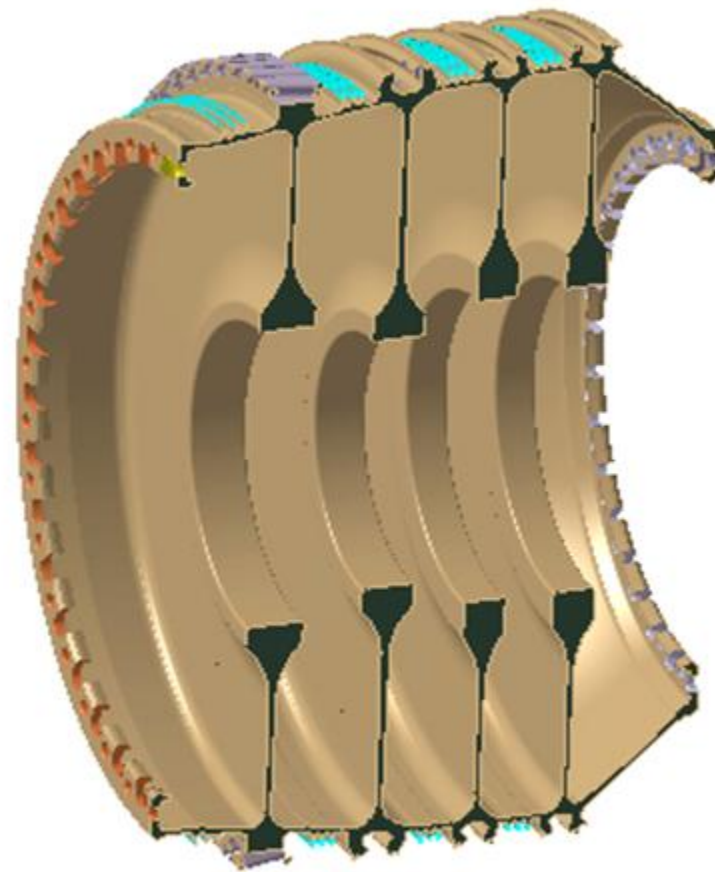
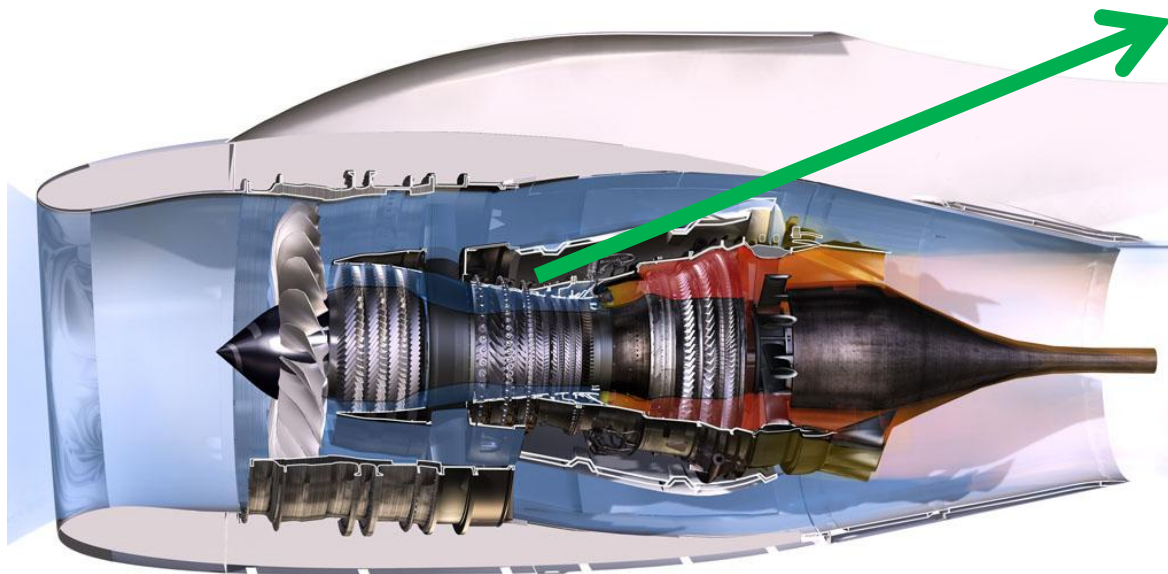
→ Temps de calcul : 1h sur 64 Cpus pour 30 cordons

CONCLUSIONS

- Utilisation de la simulation numérique pour anticiper des modes de déformation sur de nouvelles conceptions de pièces
- Validation des simulations par l'expérimentation
- Modélisations multi-échelles (Local / global)
- Choix d'un procédé d'assemblage

/02/

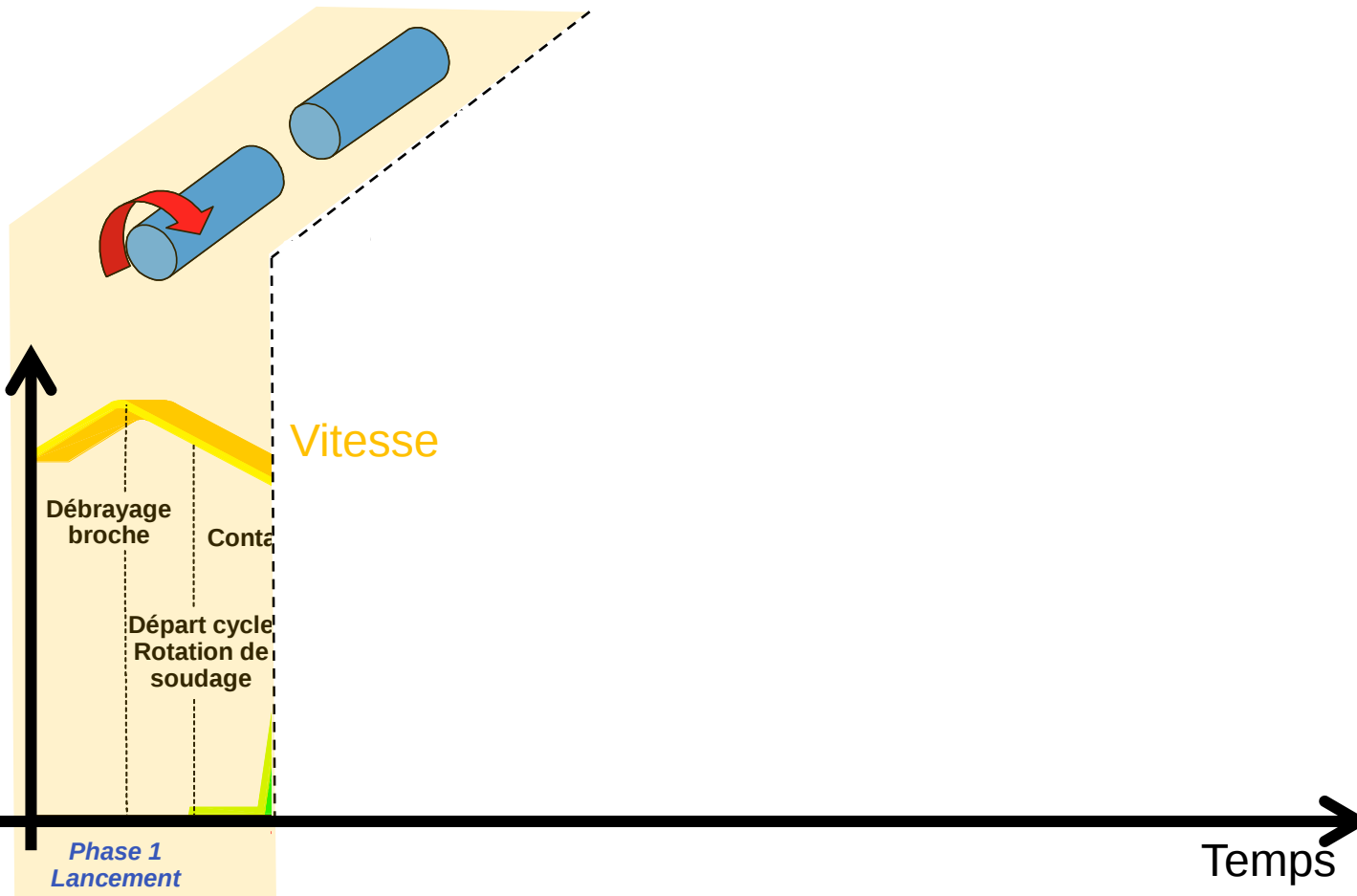
Soudage par friction



PROCÉDÉ

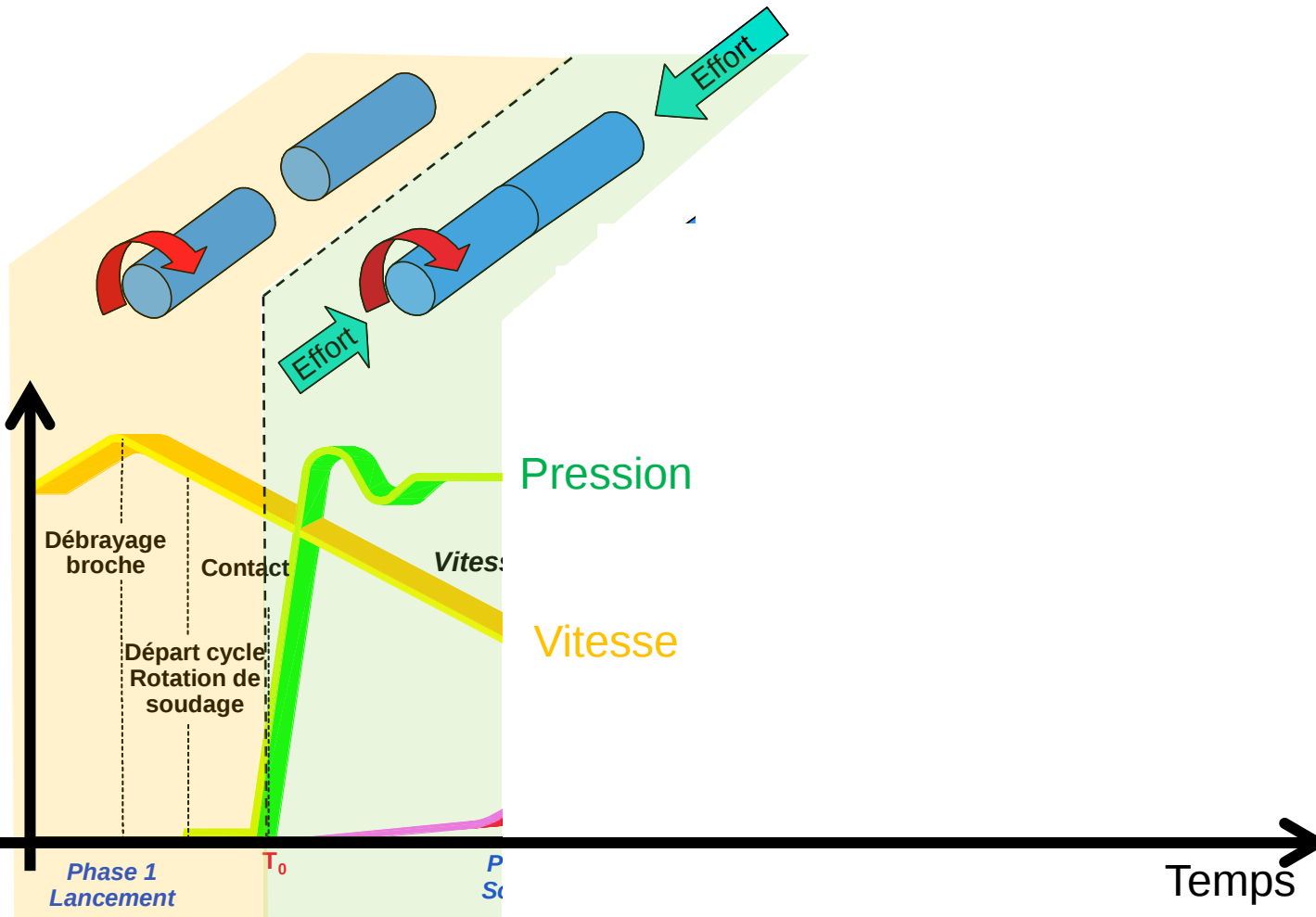
→ Le soudage se déroule en 3 phases

Phase 1 : Une des pièces est mise en rotation puis débrayée (elle continue de tourner par inertie)



PROCÉDÉ

→ Le soudage se déroule en 3 phases



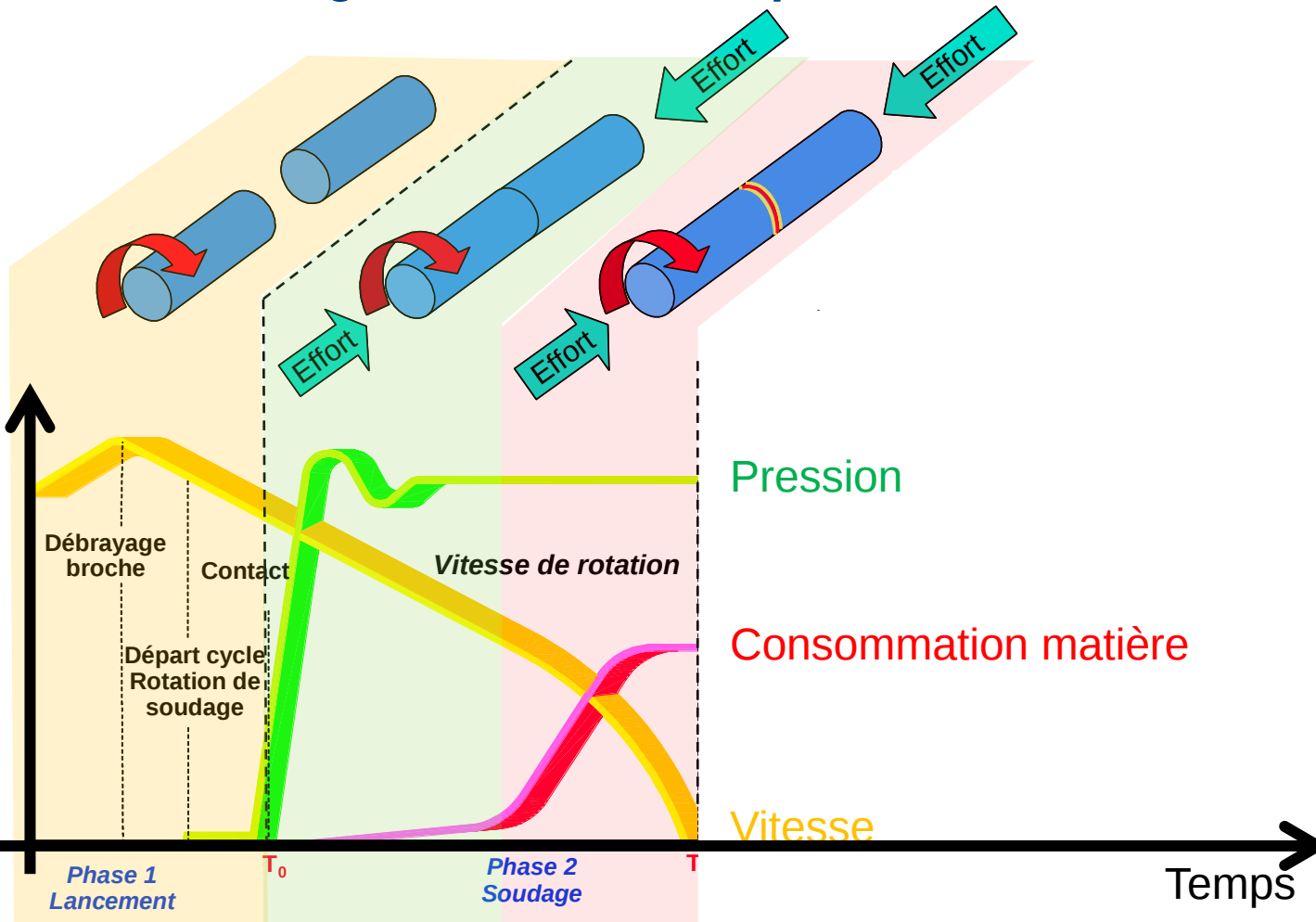
Phase 1 : Une des pièces est mise en rotation puis débrayée (elle continue de tourner par inertie)

Phase 2 a : Les deux pièces sont mises en contact sous l'effet d'un effort de pression constant

- La rotation diminue librement (freinage)
- Les pièces s'échauffent localement (frottement)

PROCÉDÉ

→ Le soudage se déroule en 3 phases



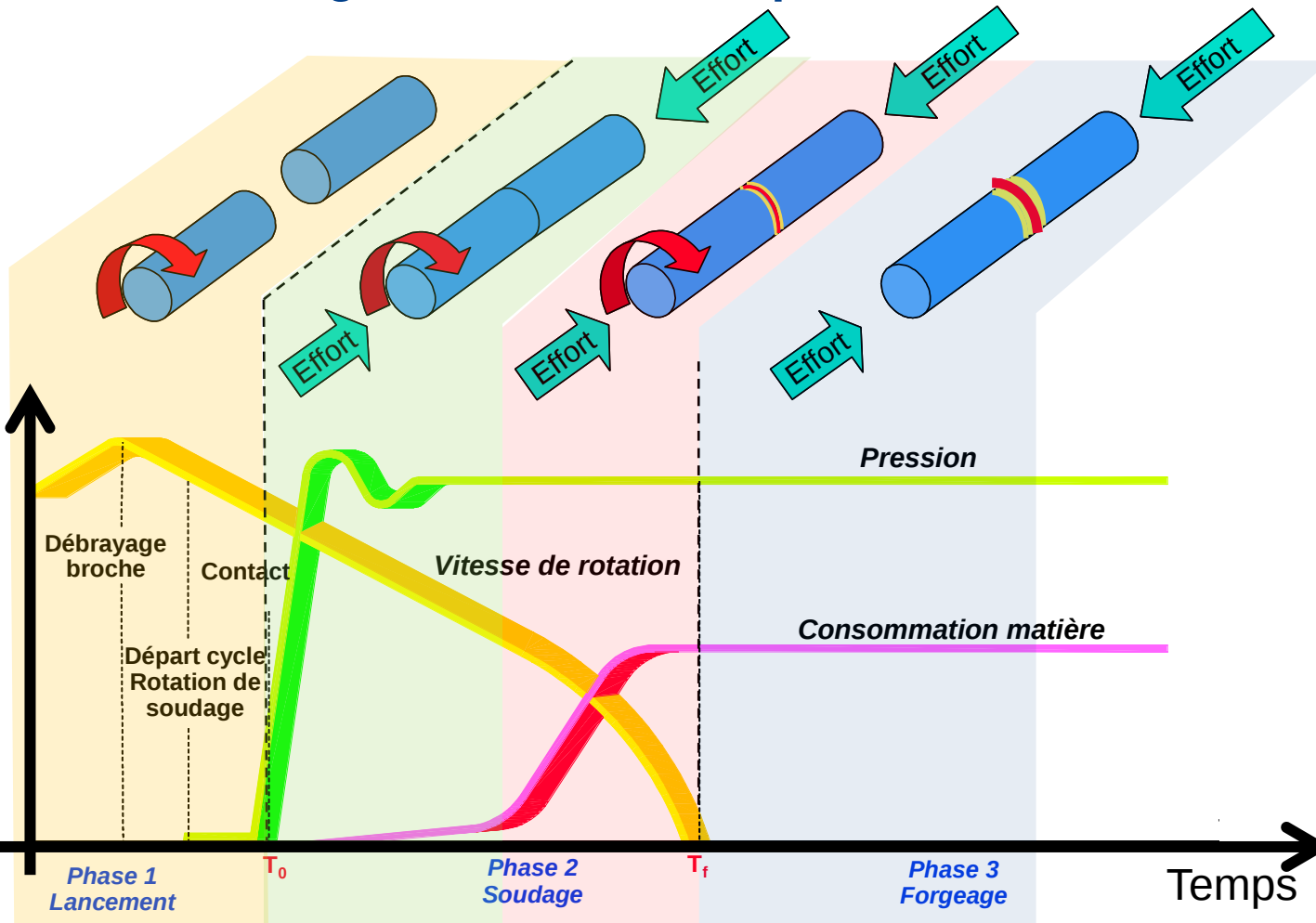
Phase 1 : Une des pièces est mise en rotation puis débrayée (elle continue de tourner par inertie)

Phase 2 a : Les deux pièces sont mises en contact sous l'effet d'un effort de pression constant
- La rotation diminue librement (freinage)
- Les pièces s'échauffent localement (frottement)

Phase 2 b : Sous l'effet de la chaleur et de l'effort, les pièces se déforment (l'ensemble se raccourci). La vitesse de rotation continue de diminuer.

PROCÉDÉ

→ Le soudage se déroule en 3 phases



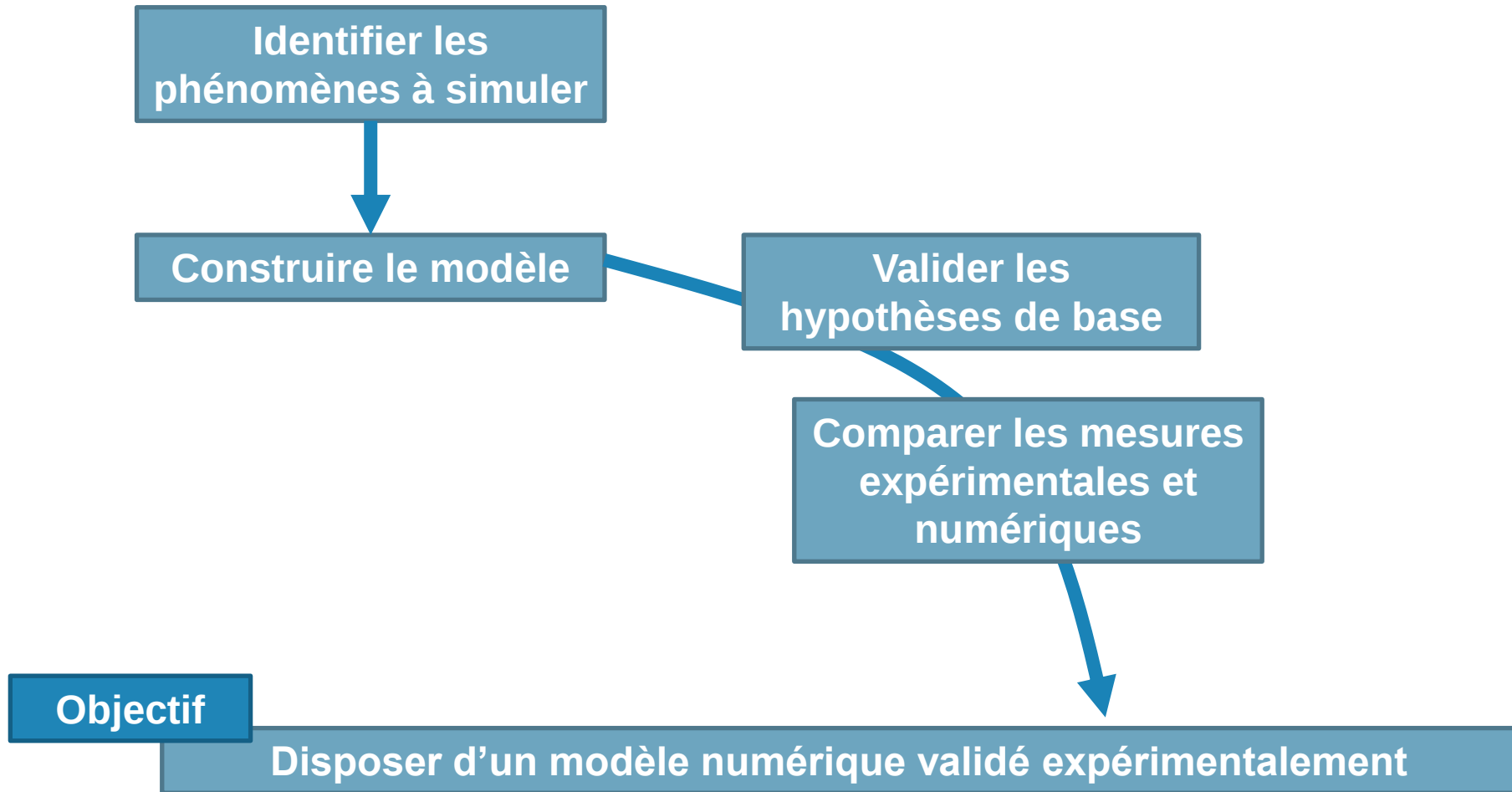
Phase 1 : Une des pièces est mise en rotation puis débrayée (elle continue de tourner par inertie)

Phase 2 a : Les deux pièces sont mises en contact sous l'effet d'un effort de pression constant
- La rotation diminue librement (freinage)
- Les pièces s'échauffent localement (frottement)

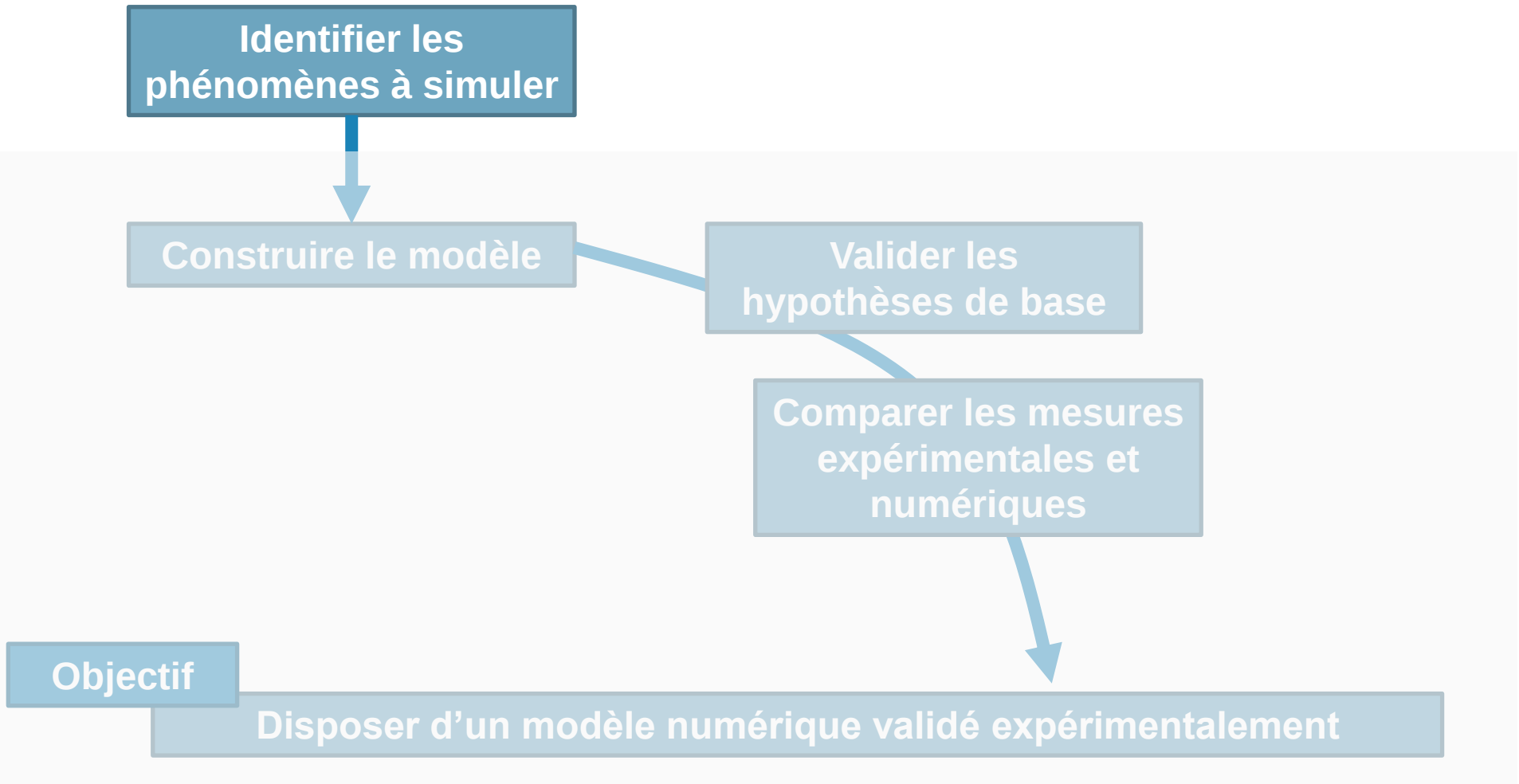
Phase 2 b : Sous l'effet de la chaleur et de l'effort, les pièces se déforment (l'ensemble se raccourci). La vitesse de rotation continue de diminuer.

Phase 3 : Lorsque la pièce a entièrement décéléré, les pièces refroidissent pendant que l'effort est maintenu constant

OBJECTIFS ET MÉTHODES

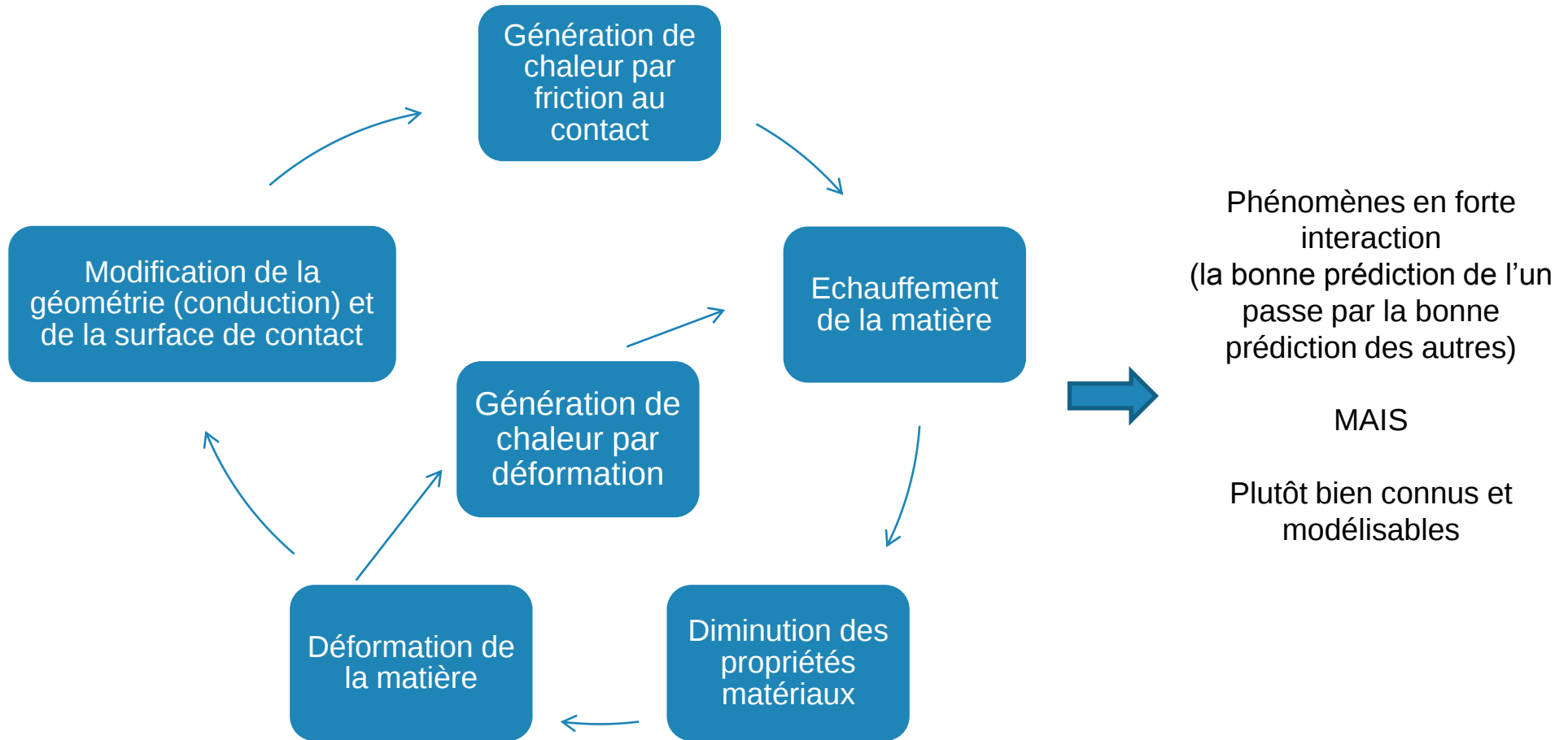


SOMMAIRE



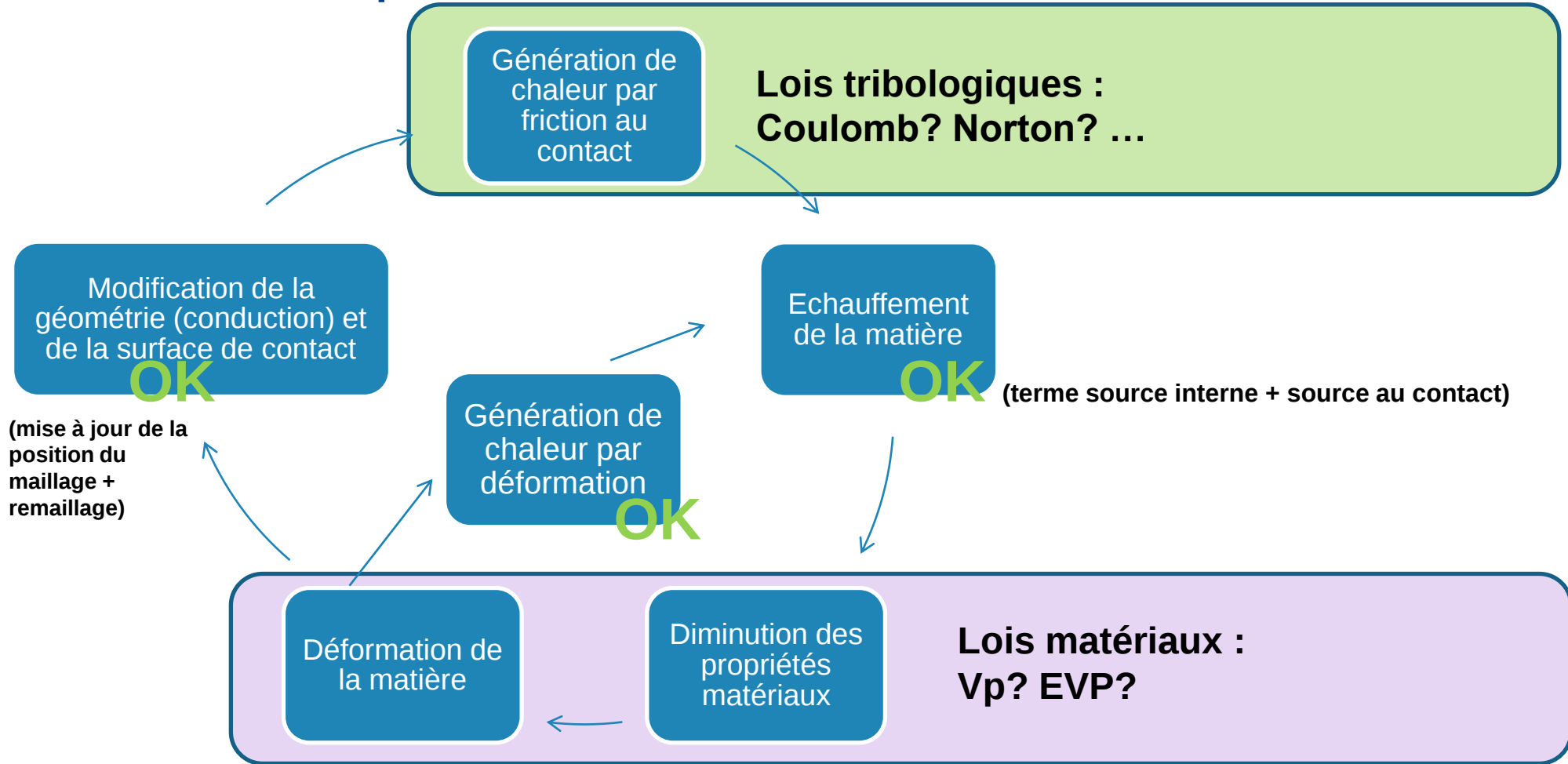
LA SIMULATION DU PROCÉDÉ

→ Quels phénomènes simuler ?



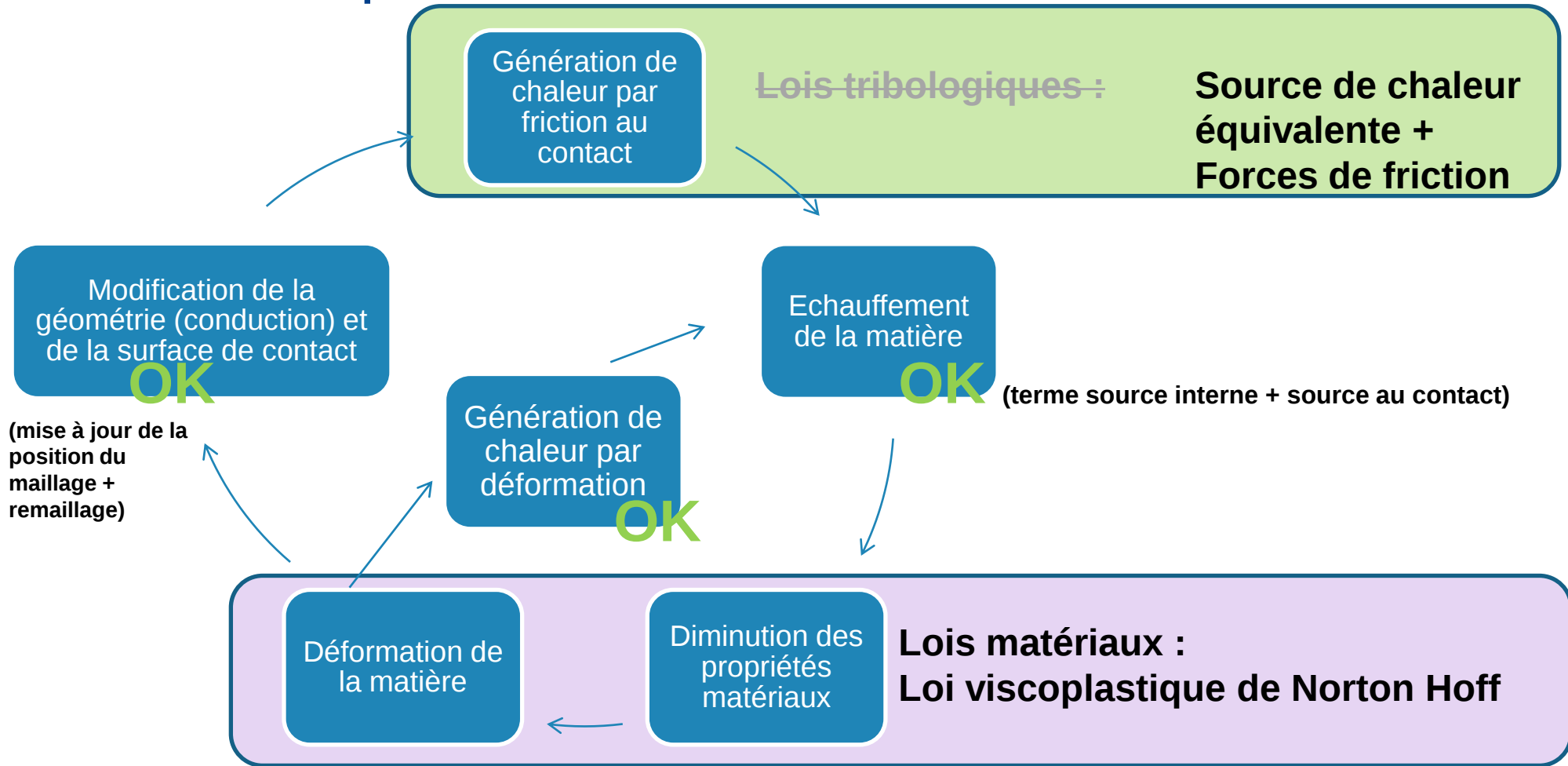
LA SIMULATION DU PROCÉDÉ

→ Un modèle complet

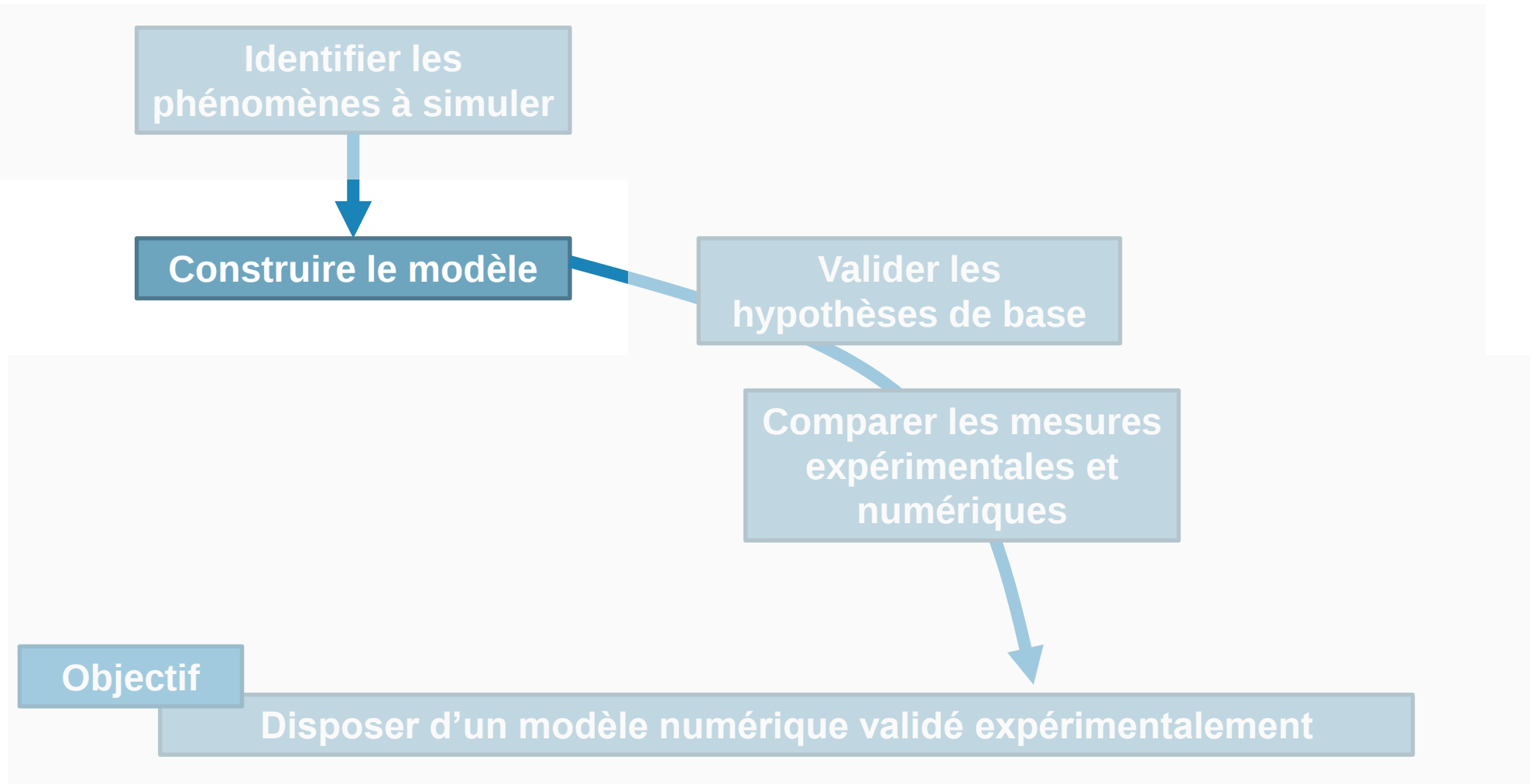


LA SIMULATION DU PROCÉDÉ

→ Un modèle simplifié

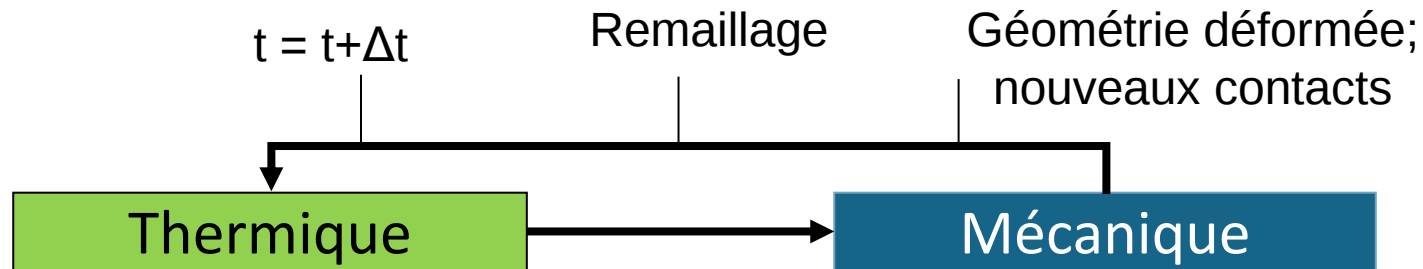


SOMMAIRE



LA SIMULATION DU PROCÉDÉ - RÉOLUTION

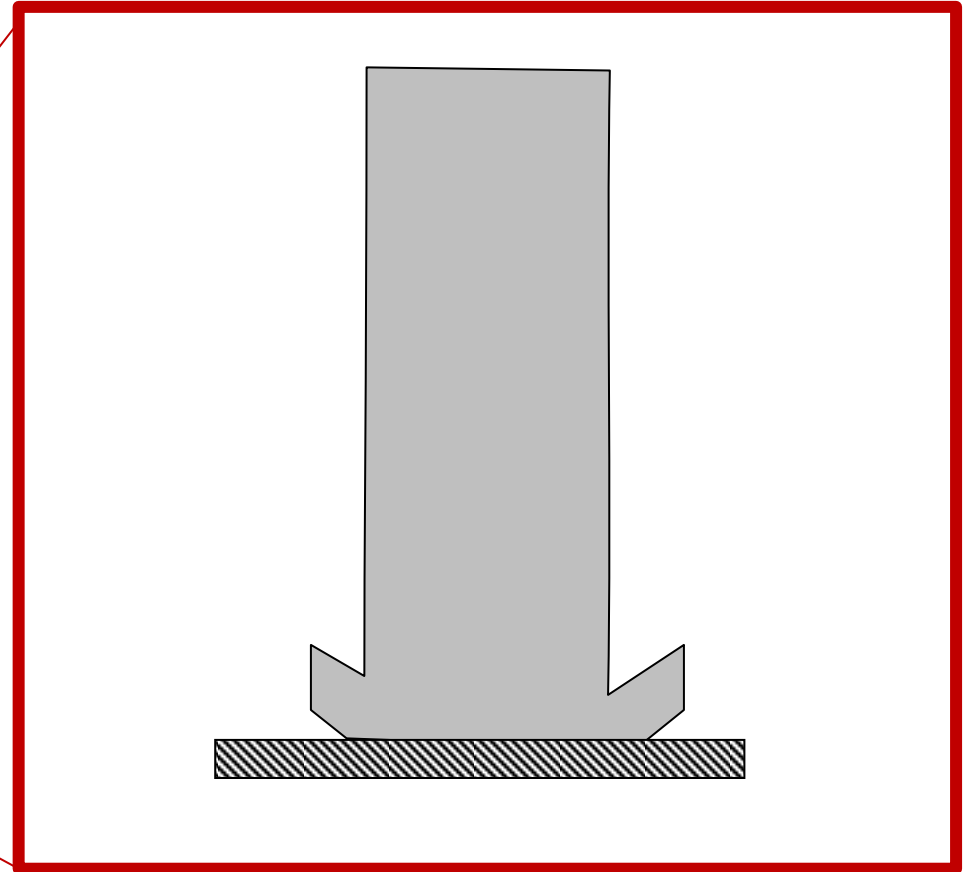
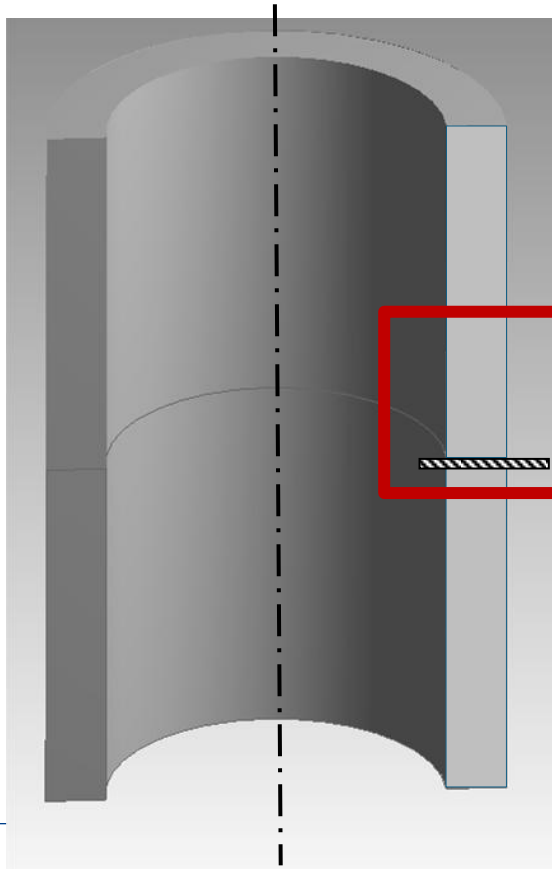
- Calcul mécanique en vitesse/pression
- Thermique en lagrangien
- Calcul étagé



LA SIMULATION DU PROCÉDÉ - GÉOMÉTRIE

→ Modèle 2,5 D axisymétrique

- Modélisation d'une seule pièce
 - Symétrie via contact sur support indéformable



Géométrie en cours de déformée

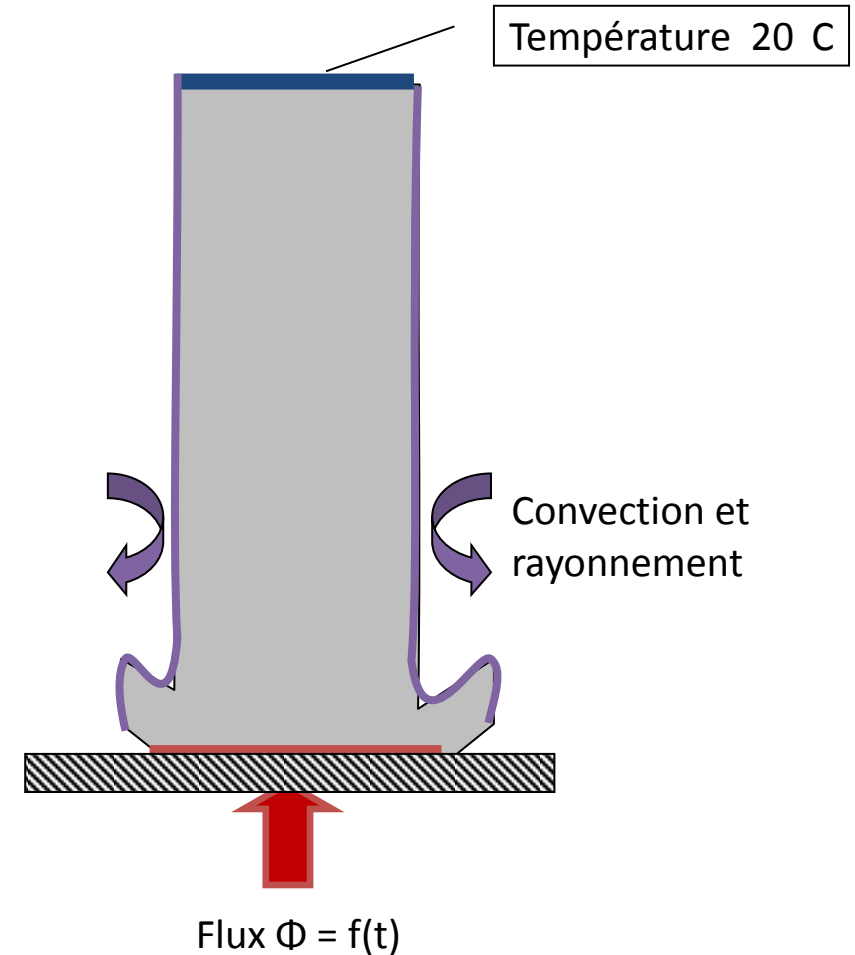
LA SIMULATION DU PROCÉDÉ - CL

→ Modèle 2,5 D axisymétrique

- Modélisation d'une seule pièce
 - Symétrie via contact sur support indéformable

→ Thermique

- Convection et rayonnement
- Température fixe sur le haut
- Flux variable imposé directement au contact (**Flux uniforme**)
- Prise en compte de l'extension de la zone de contact
- Prise en compte de la chaleur générée par déformation



LA SIMULATION DU PROCÉDÉ - CL

→ Modèle 2,5 D axisymétrique

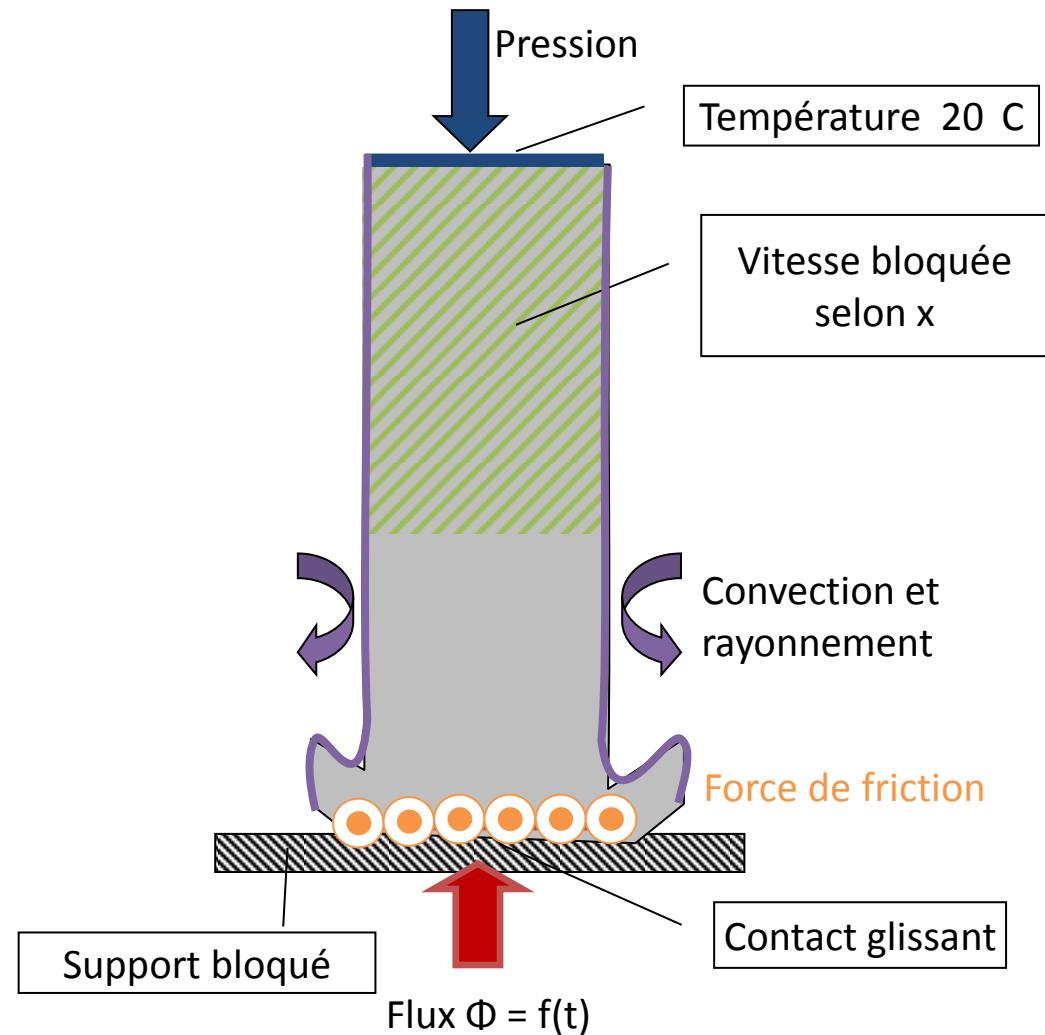
- Modélisation d'une seule pièce
 - Symétrie via contact sur support indéformable

→ Thermique

- Convection et rayonnement
- Température fixe sur le haut
- Flux variable imposé directement au contact (**Flux uniforme**)
- Prise en compte de l'extension de la zone de contact
- Prise en compte de la chaleur générée par déformation

→ Mécanique

- Pression sur le haut du cylindre
- Déplacement radiaux bloqué
- Force de friction au contact (uniforme)



LA SIMULATION DU PROCÉDÉ – CALCUL DU FLUX

→ Identification de la source de chaleur équivalente :

- On connaît la **vitesse de rotation** $\omega=f(t)$
- On connaît l'**inertie totale** de la pièce tournante J
- On peut donc calcul l'**énergie** du système E en fonction du temps

$$E(t) = \frac{1}{2} J \omega^2(t)$$

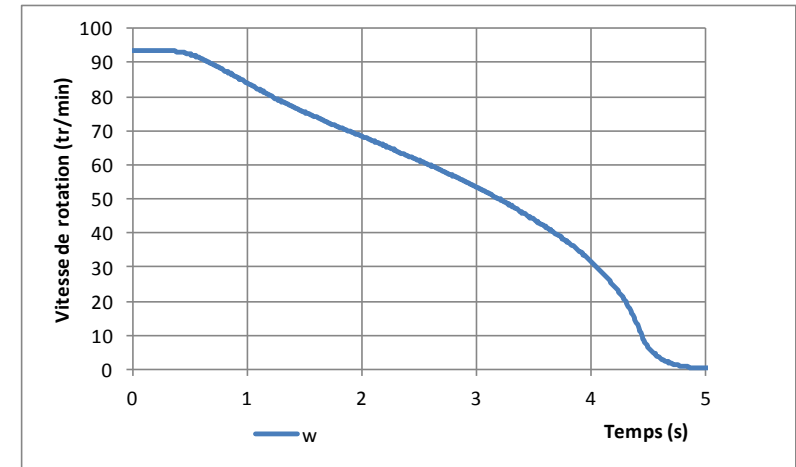
- A partir de cette énergie on calcul la puissance dissipée en fonction du temps

$$P(t) = dE/dt = J \omega * d\omega/dt$$

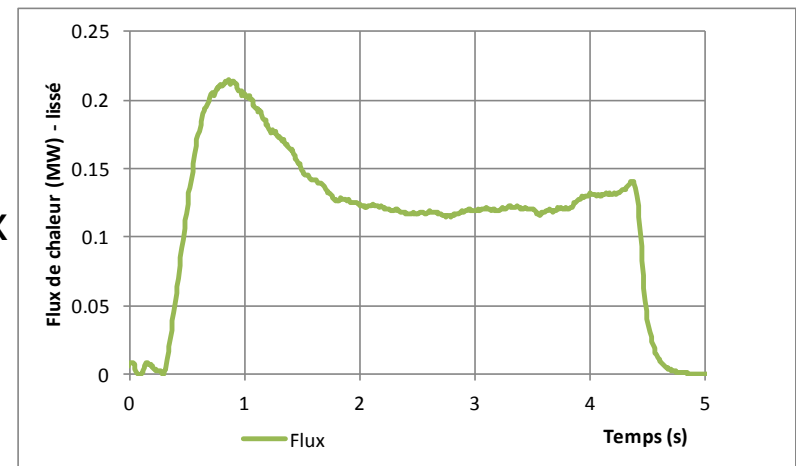
- Cette puissance est introduite sous forme d'un flux à l'interface

$$\Phi(t) = - P(t)$$

➡ **Le flux est il réellement uniforme?**



Calcul



SOMMAIRE

Identifier les
phénomènes à simuler

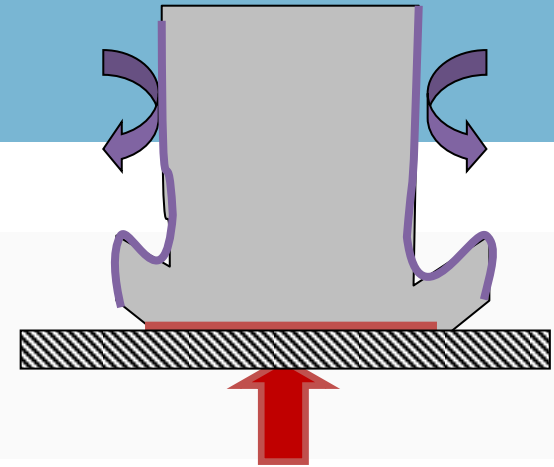
Construire le modèle

Valider les
hypothèses de base

Comparer les mesures
expérimentales et
numériques

Objectif

Disposer d'un modèle numérique validé expérimentalement

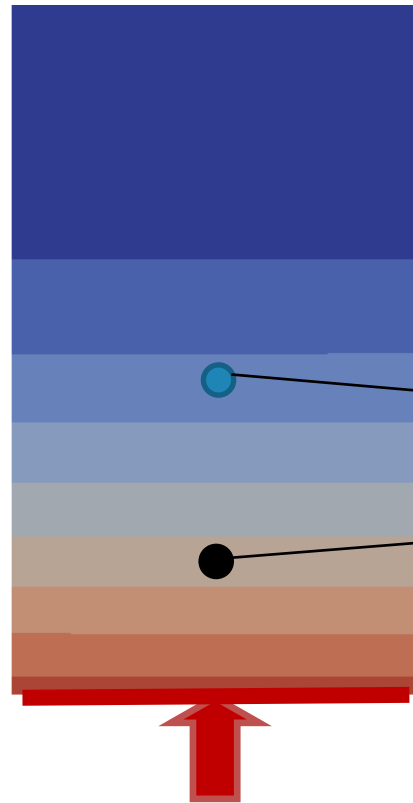


Flux $\Phi = f(t)$

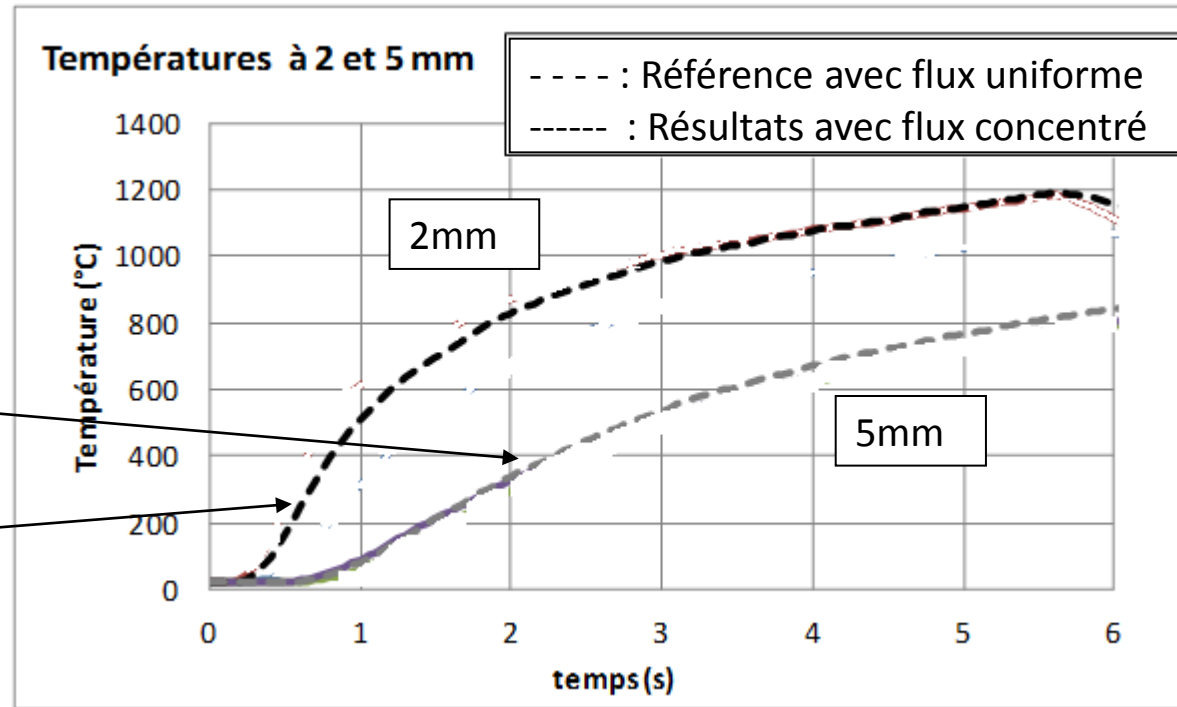
Uniforme ?

ETUDE PRÉLIMINAIRE - NUMÉRIQUE

→ Simulation avec flux uniforme sur l'interface (purement thermique)

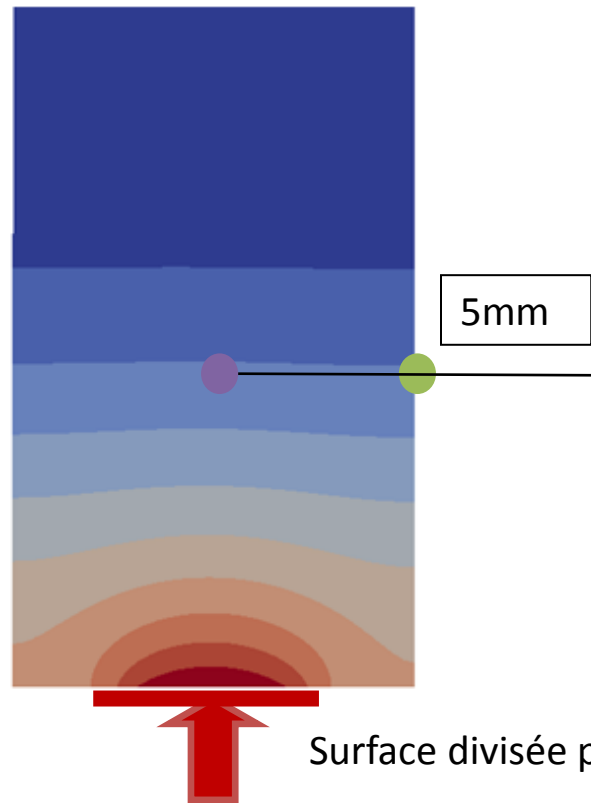


Flux $\Phi = f(t)$

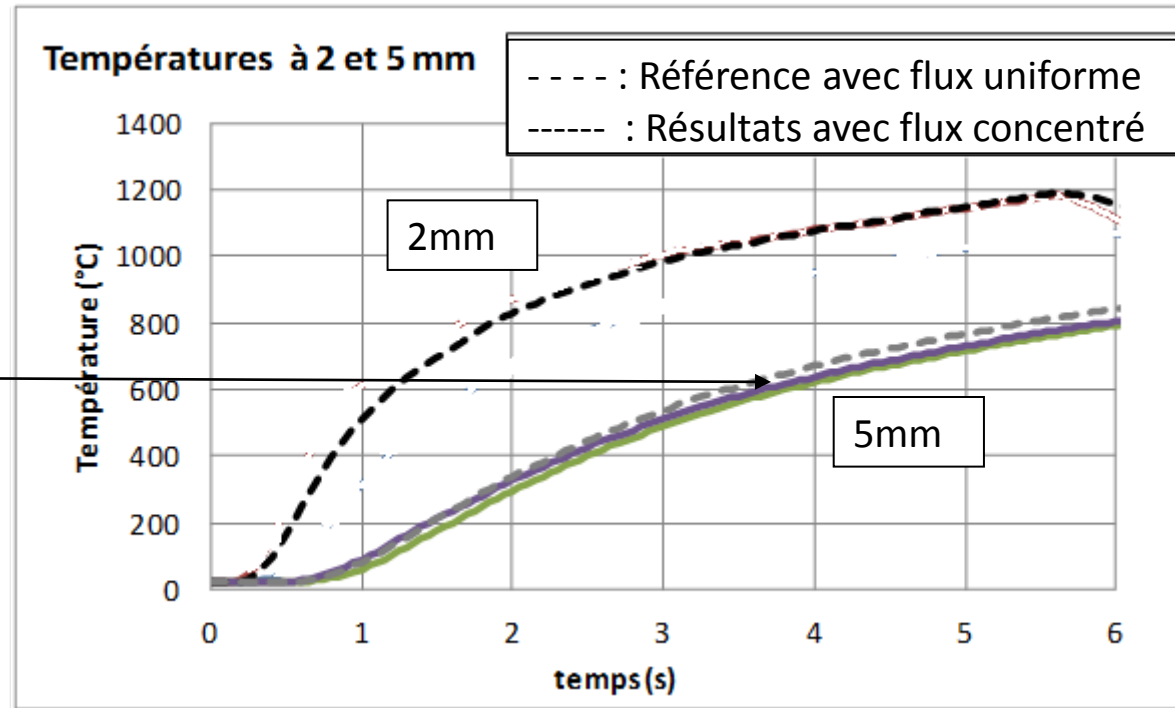


ETUDE PRÉLIMINAIRE - NUMÉRIQUE

→ Simulation avec flux non uniforme sur l'interface (purement thermique)



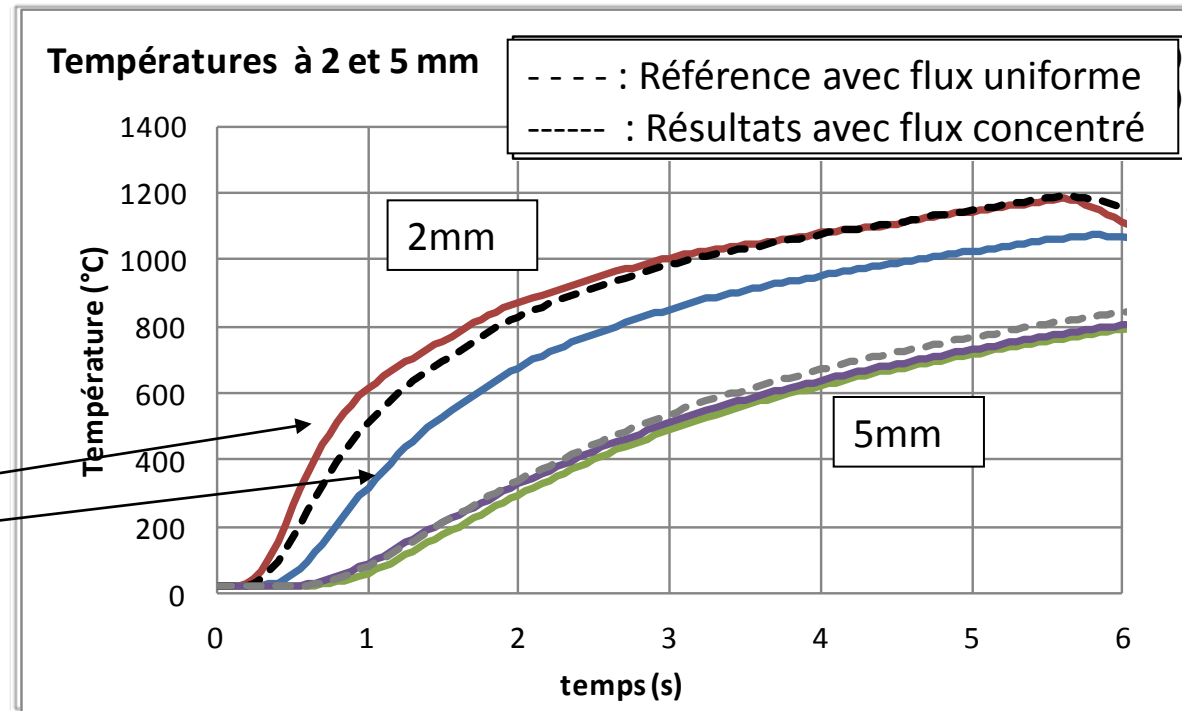
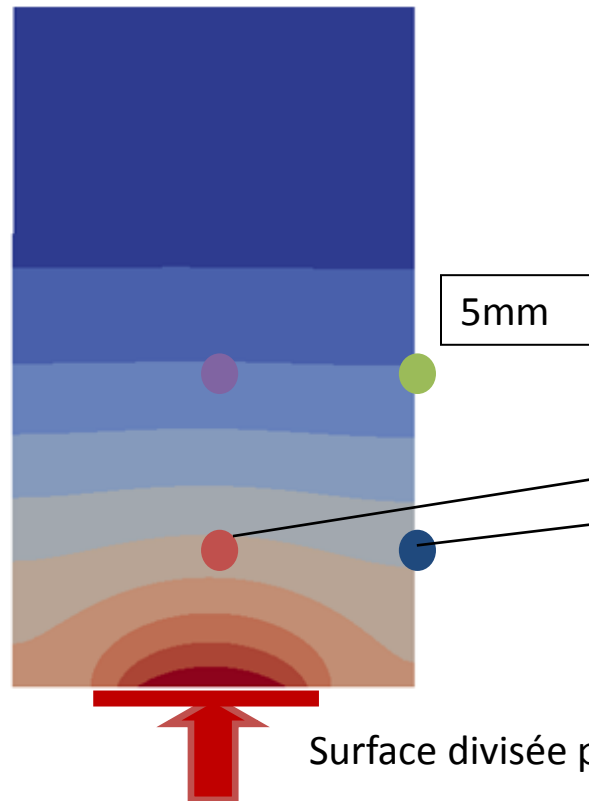
Flux $\Phi = f(t)$



Pas d'influence de la surface d'application à 5 mm

ETUDE PRÉLIMINAIRE - NUMÉRIQUE

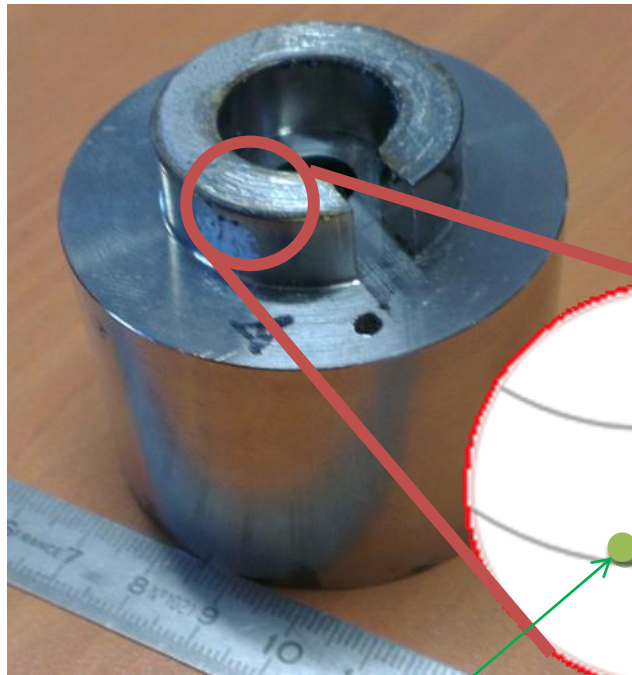
→ Simulation avec flux non uniforme sur l'interface (purement thermique)



Influence visible à 2 mm de l'interface

ETUDE PRÉLIMINAIRE EXPÉRIMENTALE

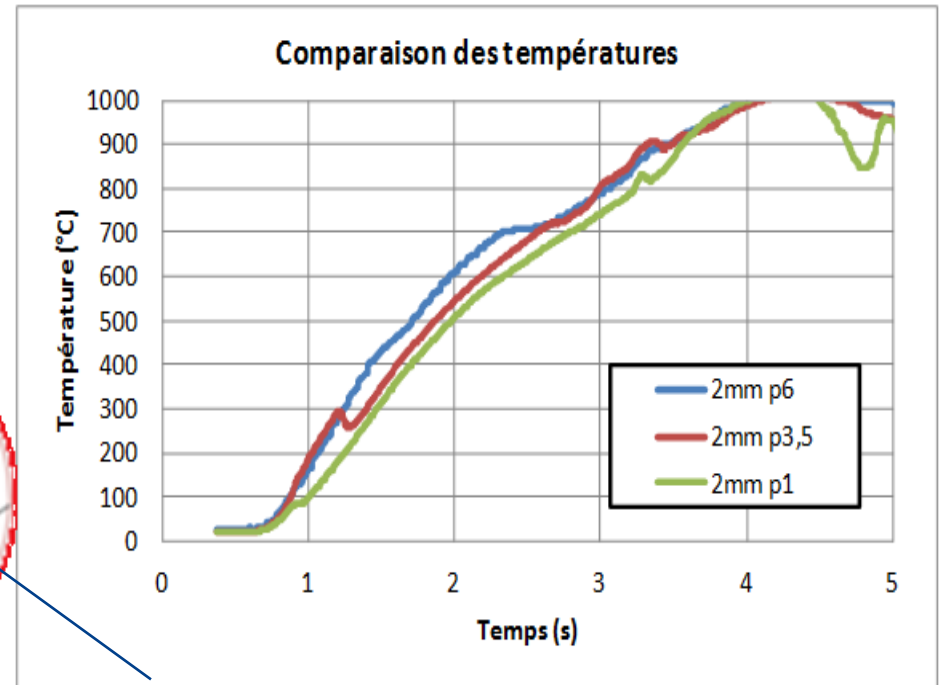
→ Eprouvette de soudage en base nickel avec 3 perçages à 2 mm de l'interface



1 mm de la surface externe

Mi - épaisseur

1 mm de la surface interne



➡ Différence de température faible → Validation de l'hyp. de flux uniforme

SOMMAIRE

Identifier les
phénomènes à simuler

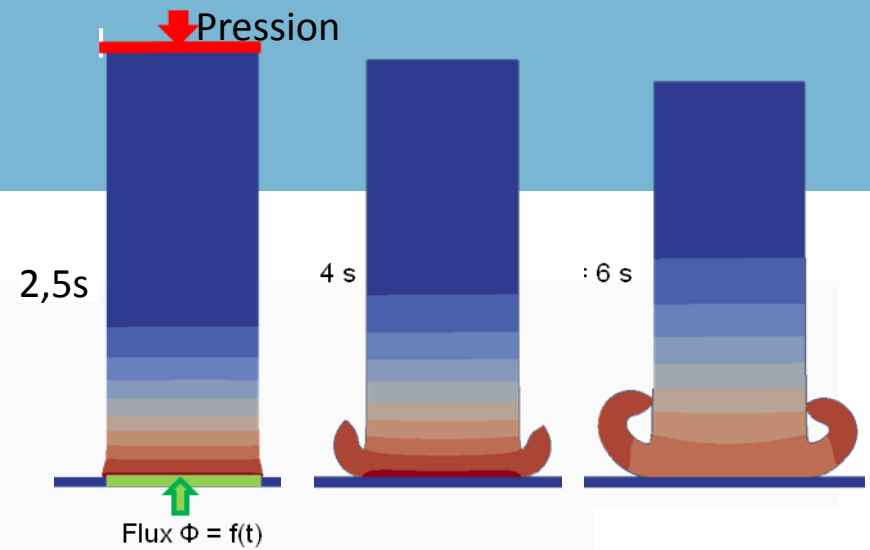
Construire le modèle

Valider les
hypothèses de base

Comparer les mesures
expérimentales et
numériques

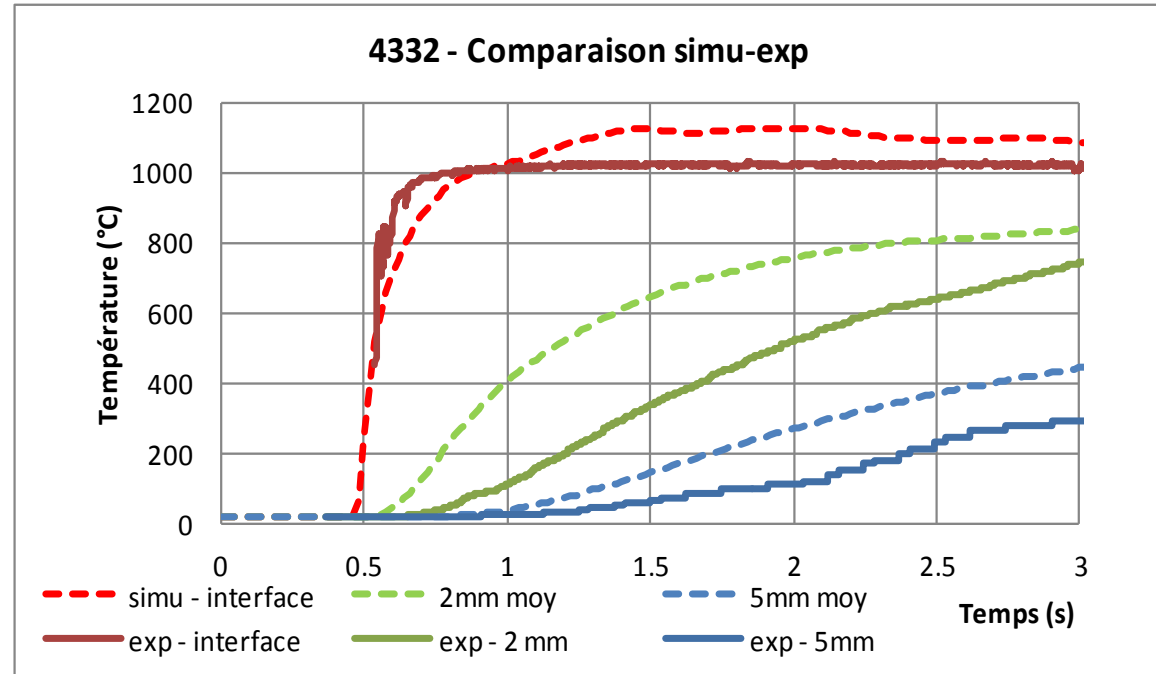
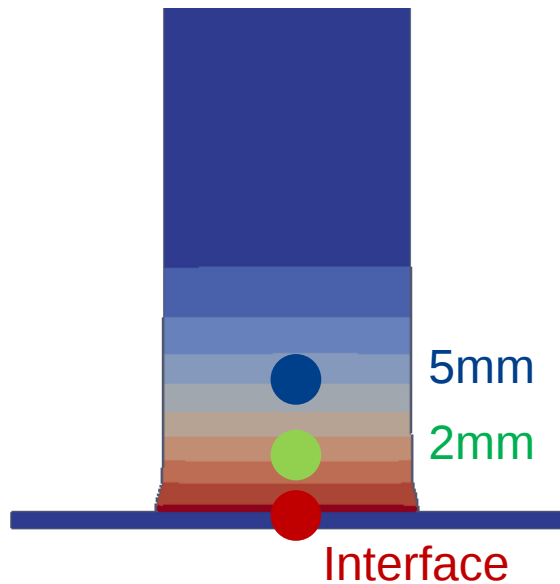
Objectif

Disposer d'un modèle numérique validé expérimentalement



COMPARAISON EXPÉRIMENTALE-NUMÉRIQUE

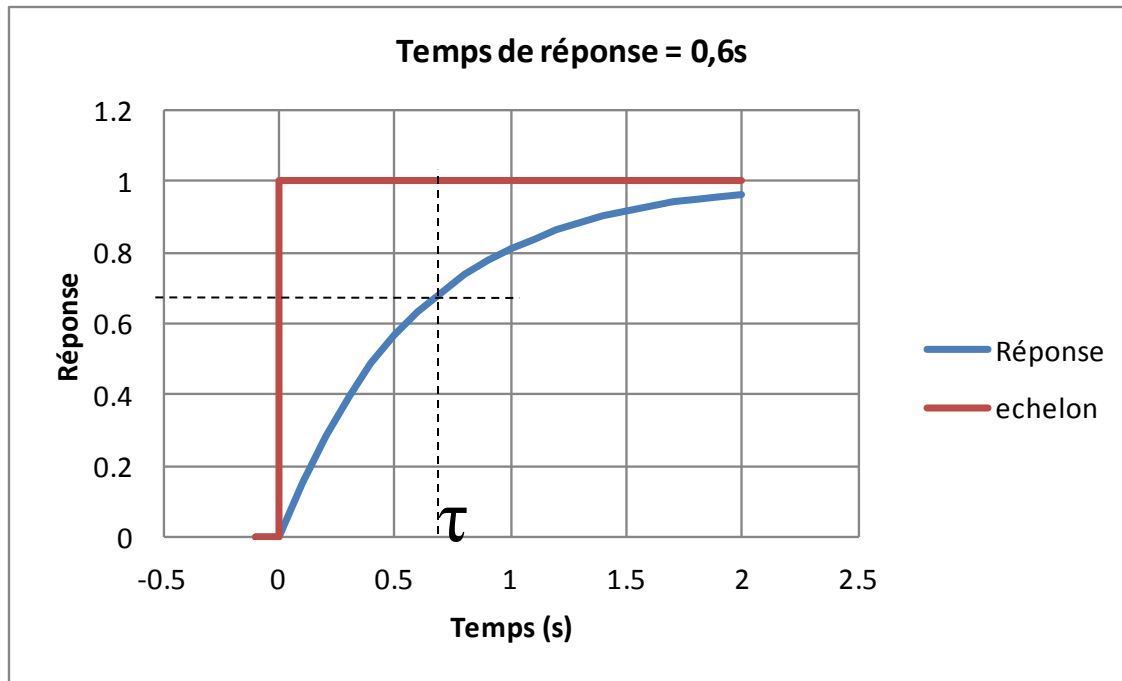
→ Comparaison portant sur les température durant la phase sans déformation



➔ Simulation de la T interface plutôt bonne ;
Simulation des T des volumes plus élevés et échauffement plus rapide

COMPARAISON EXPÉRIMENTALE-NUMÉRIQUE

→ Prise en compte du temps de réponse du capteur (thermocouple) par un modèle d'échauffement par conduction linéaire



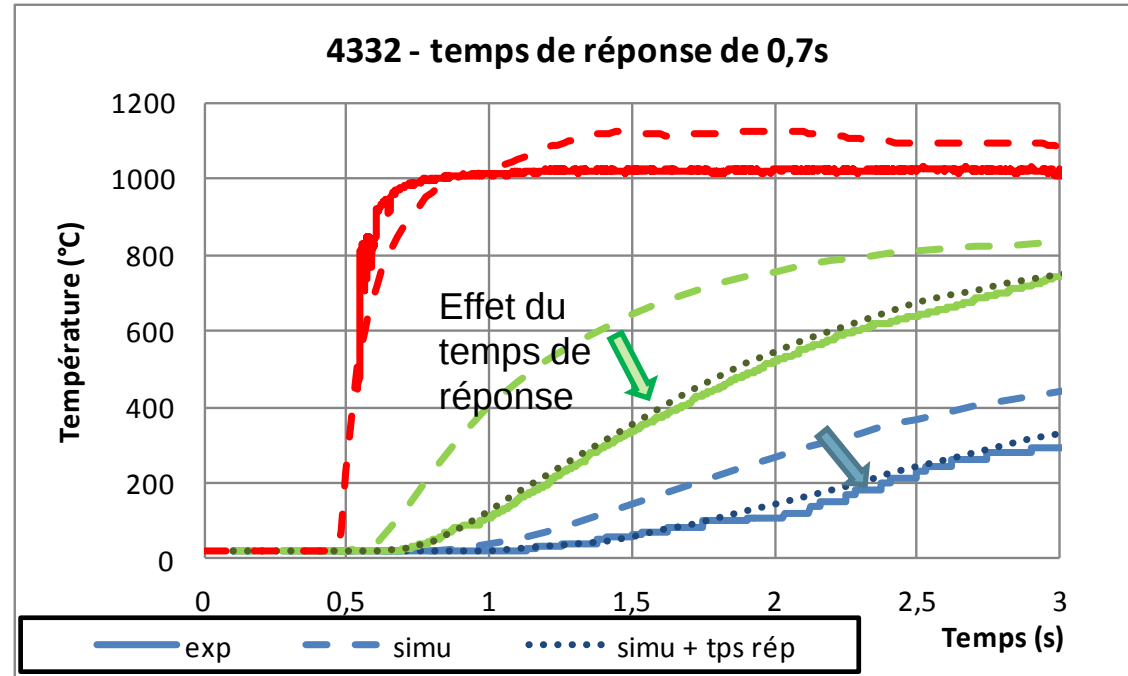
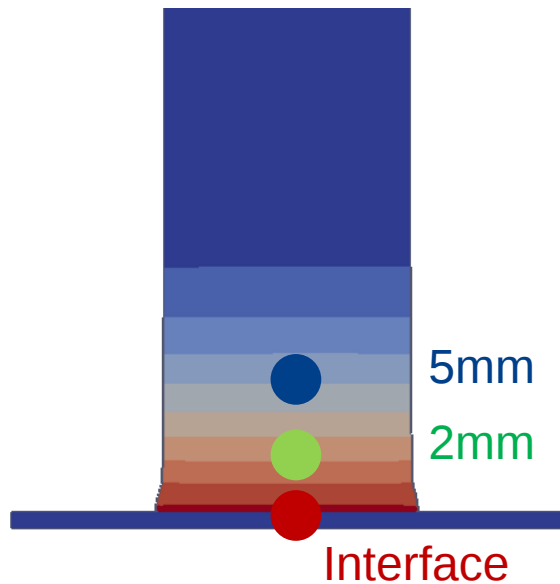
$$\frac{dT_{TC}}{dt} = C \times [T_{reel} - T_{TC}]$$

$$T_{TC} = T_{reel} \times \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]$$

➔ Le temps de réponse induit un retard à l'échauffement et des température mesurée plus basse qu'en réalité

COMPARAISON EXPÉRIMENTALE-NUMÉRIQUE

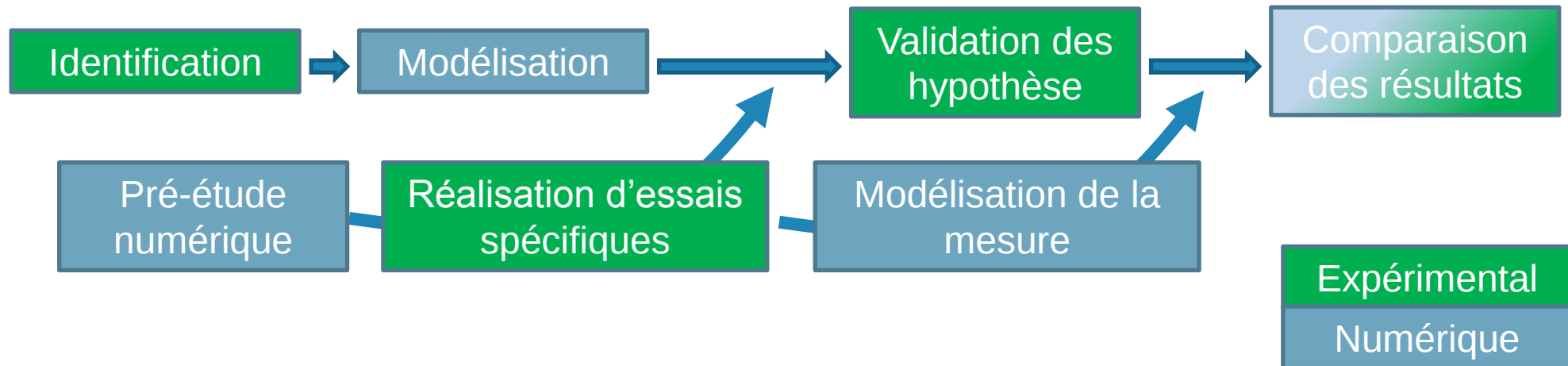
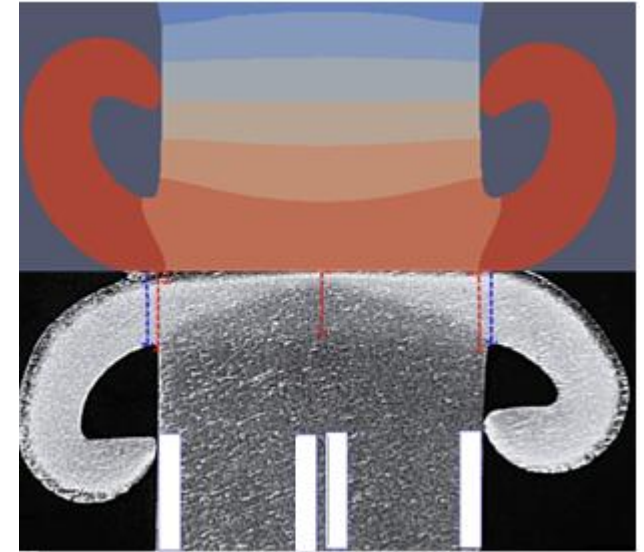
→ Prise en compte du temps de réponse



➔ La prise en compte du temps de réponse explique entièrement les différences observées

CONCLUSIONS

- La simulation du soudage friction peut être réalisée à l'aide d'un modèle simplifié où la friction est remplacée par une source équivalente de chaleur et des forces de friction
- Importance de coupler dès la construction du modèle l'approche numérique et l'approche expérimentale
- Importance de bien prendre en compte la physique de la mesure ou de modéliser la mesure





MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Contacts :
Francois.pichot@sneema.fr
Fabien.corpace@sneema.fr