

Dialogue essais – calculs

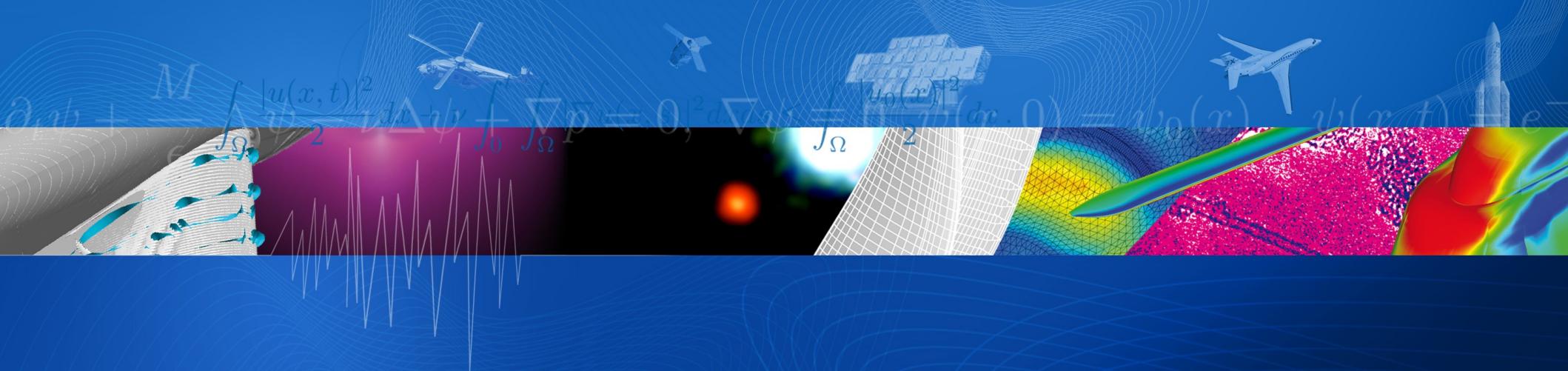
Workshop CSMA Juniors
14 mai 2017

Jean-Didier Garaud
ONERA/DMAS



Plan

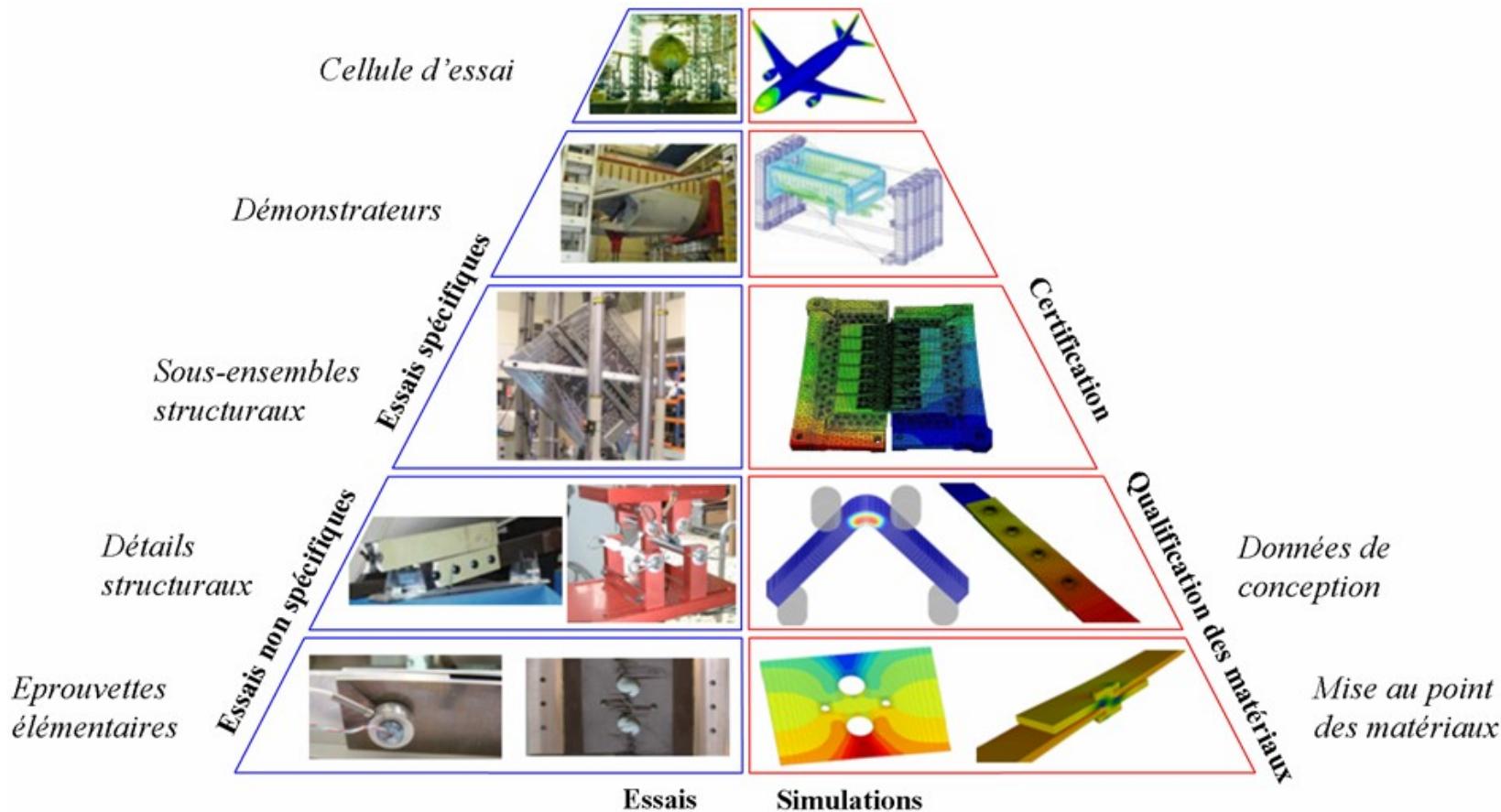
- ▶ objectifs et motivations
- ▶ aperçu transverse des méthodes numériques autour des essais
 - corrélation "locale"
 - corrélation par éléments finis
 - identification par FEMU, inversion, optimisation
- ▶ thèmes de recherche
 - notamment à Giens2017
- ▶ exemples



Objectifs et motivations



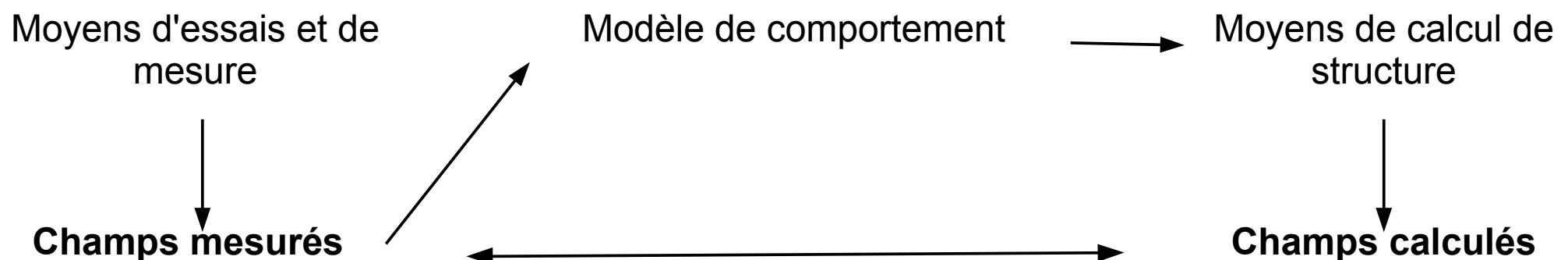
Motivations



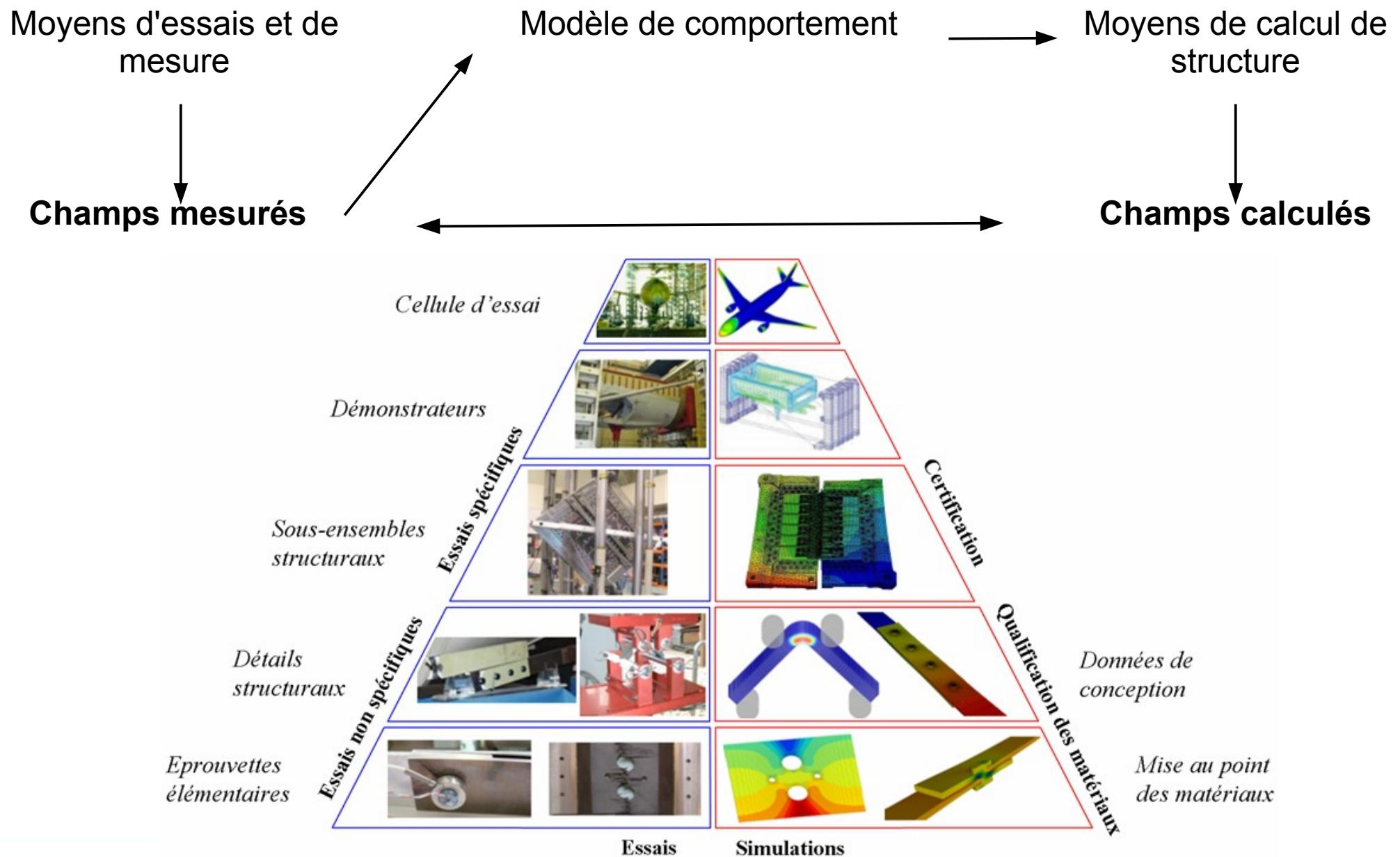
- Passer plus rapidement de l'éprouvette à la structure
- Mieux exploiter les essais sur structures complexes

- Mieux exploiter les conditions réelles d'essai
- Conditions aux limites plus proches de la réalité

Dialogue essai - calcul



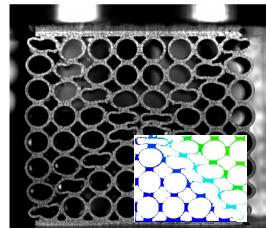
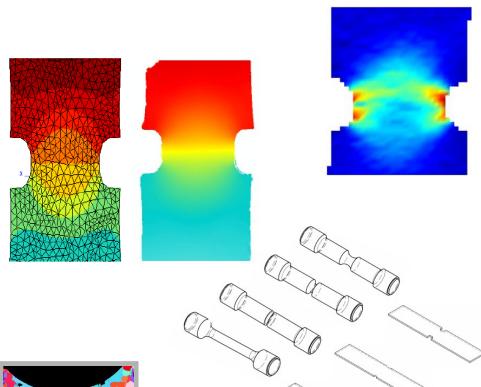
Dialogue essai - calcul



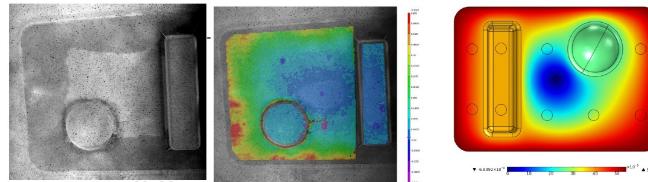
Peut se concevoir à toutes les échelles

Modèles
non-linéaires

Pour obtenir des paramètres matériaux



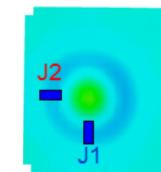
Pour validation et atteindre une meilleure compréhension



MACRO
(~0,5 à 3m)

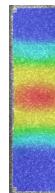
Structure

Sous-ensemble



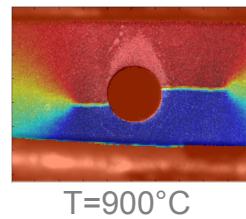
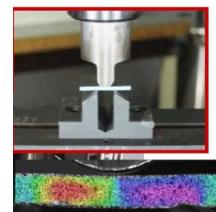
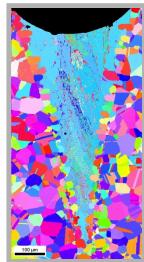
Caméra rapide :
Acquisition ~ 35 000 fps

Détails structuraux

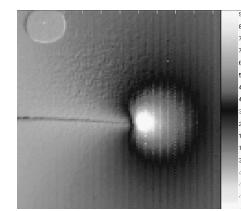


MICRO
(~10 à 100 µm)

Pour faire le lien avec la microstructure



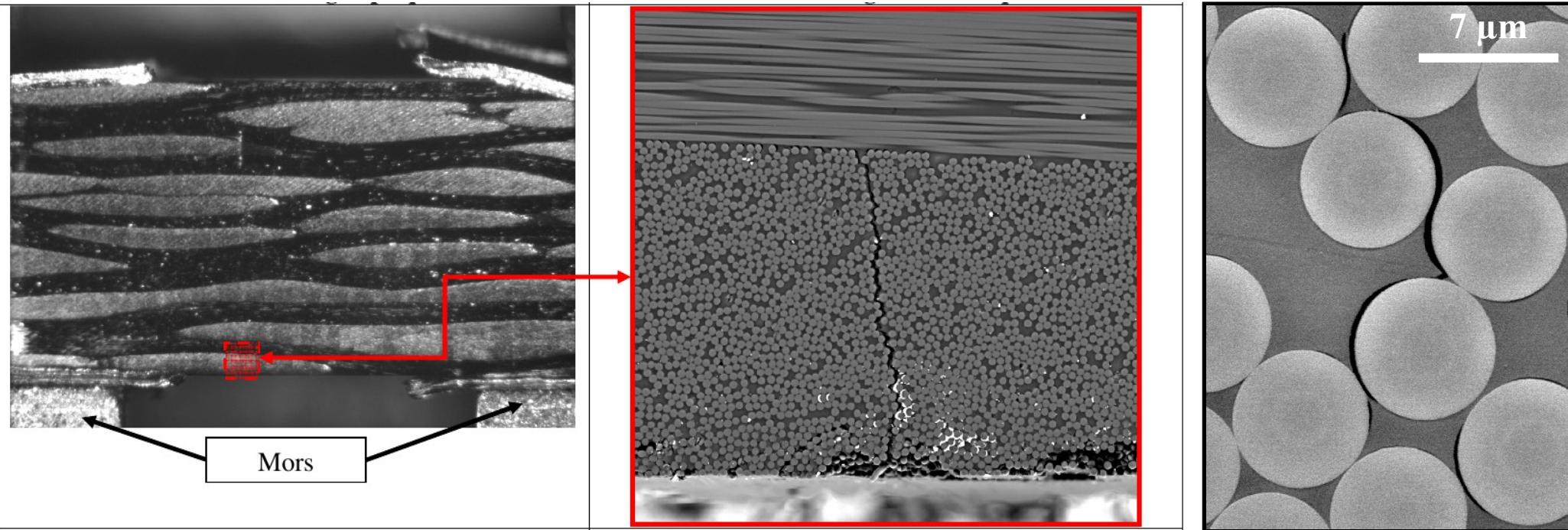
Caméra
infrarouge



Modèles
linéaires

À l'échelle micro

► Par exemple : mécanismes d'endommagement de composites



► Calculs :

- champs de déformations
- détection et comptage de fissures et délaminages
- identification de paramètres de loi de comportement

Tomographie

VIII International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures
FraMCoS-8
J.G.M. Van Mier, G. Ruiz, C. Andrade, R.C. Yu and X.X. Zhang (Eds)

CHARACTERISATION OF 3D FRACTURE EVOLUTION IN CONCRETE USING IN-SITU X-RAY COMPUTED TOMOGRAPHY TESTING AND DIGITAL VOLUME CORRELATION

ZHENJUN YANG*,‡, WENYUAN REN*, MAHMOUD MOSTAFAVI†,
SAMUEL A. McDONALD** AND T. JAMES MARROW†

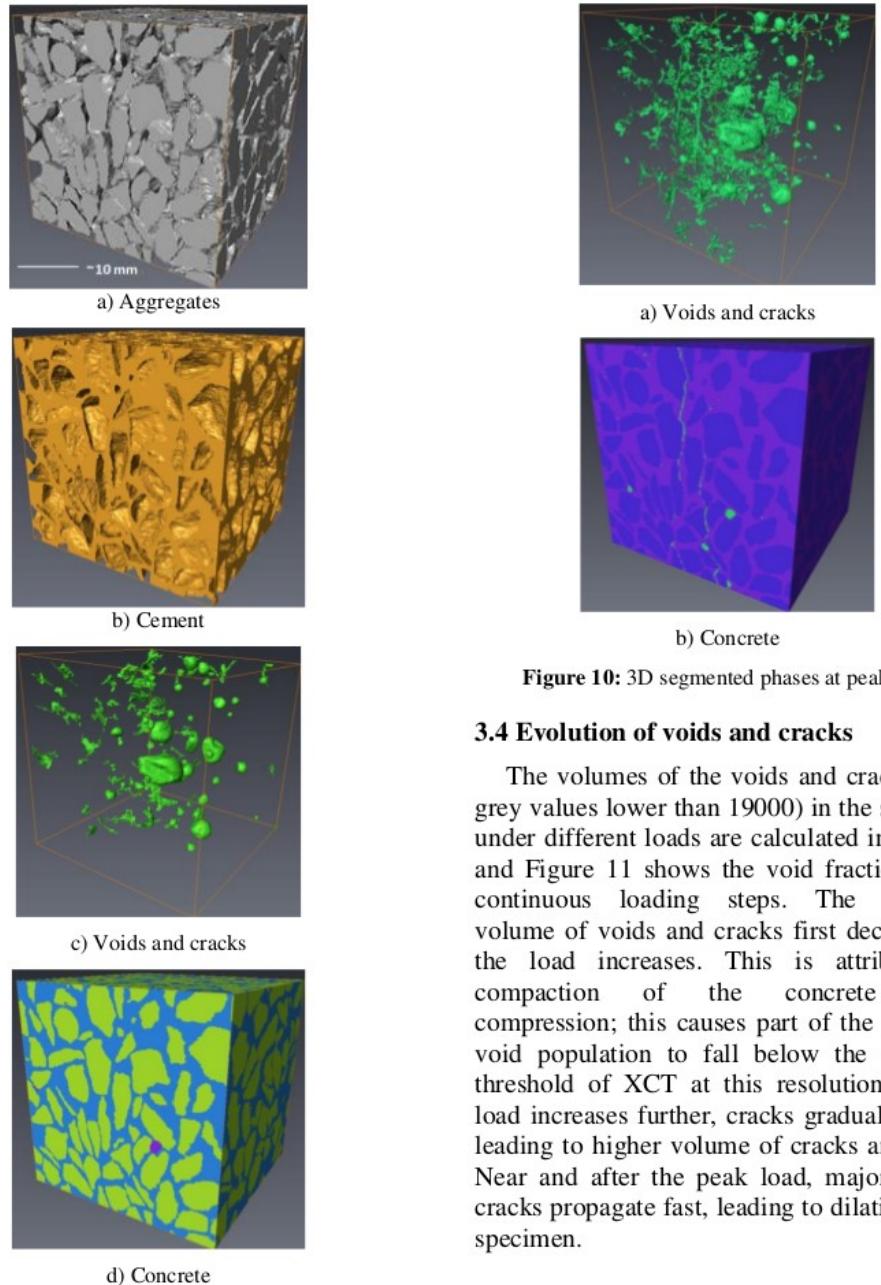
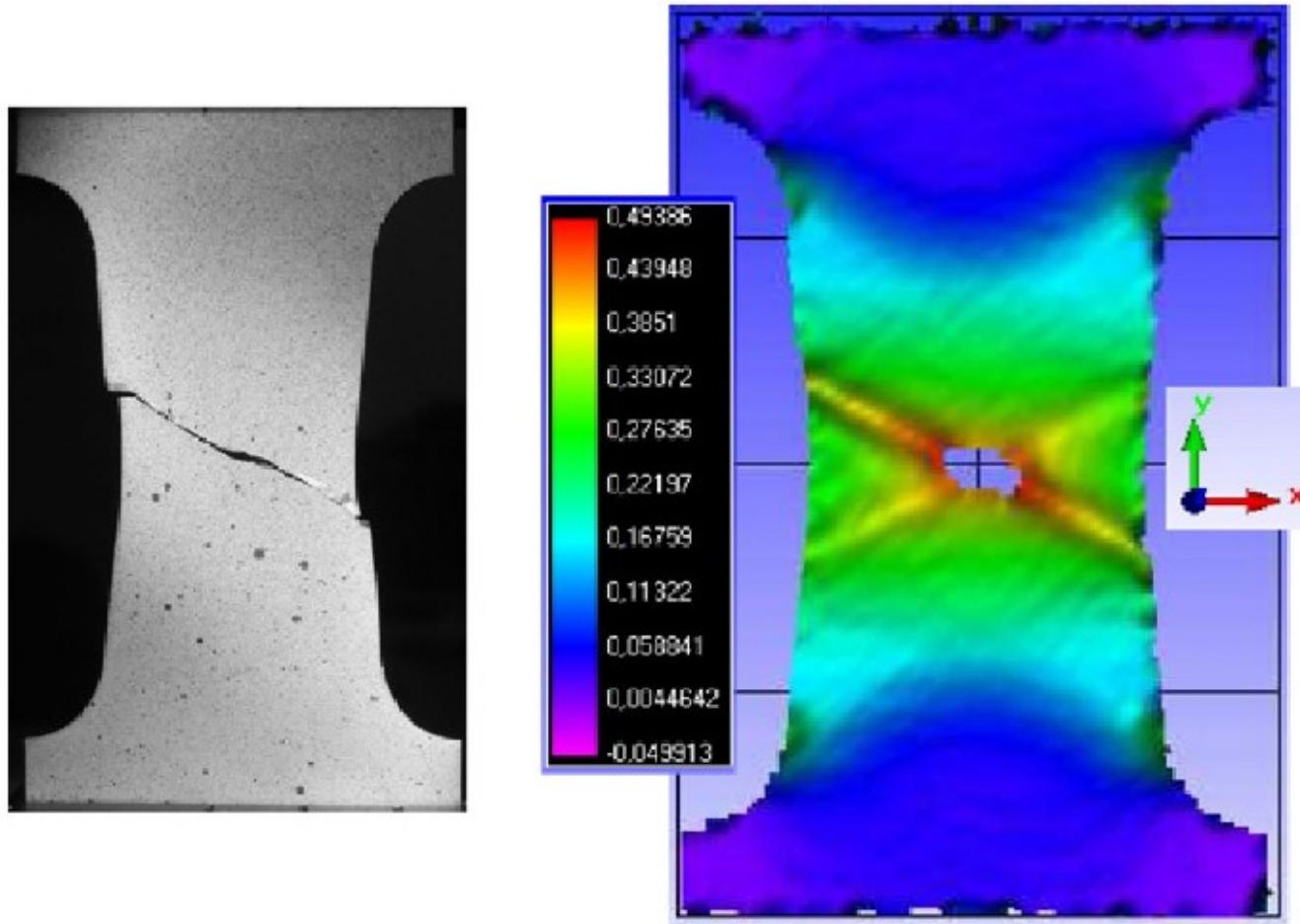


Figure 10: 3D segmented phases at peak load

3.4 Evolution of voids and cracks

The volumes of the voids and cracks (with grey values lower than 19000) in the specimen under different loads are calculated in AVIZO and Figure 11 shows the void fraction under continuous loading steps. The observed volume of voids and cracks first decreases as the load increases. This is attributed to compaction of the concrete under compression; this causes part of the observed void population to fall below the detection threshold of XCT at this resolution. As the load increases further, cracks gradually occur, leading to higher volume of cracks and voids. Near and after the peak load, major vertical cracks propagate fast, leading to dilation in the specimen.

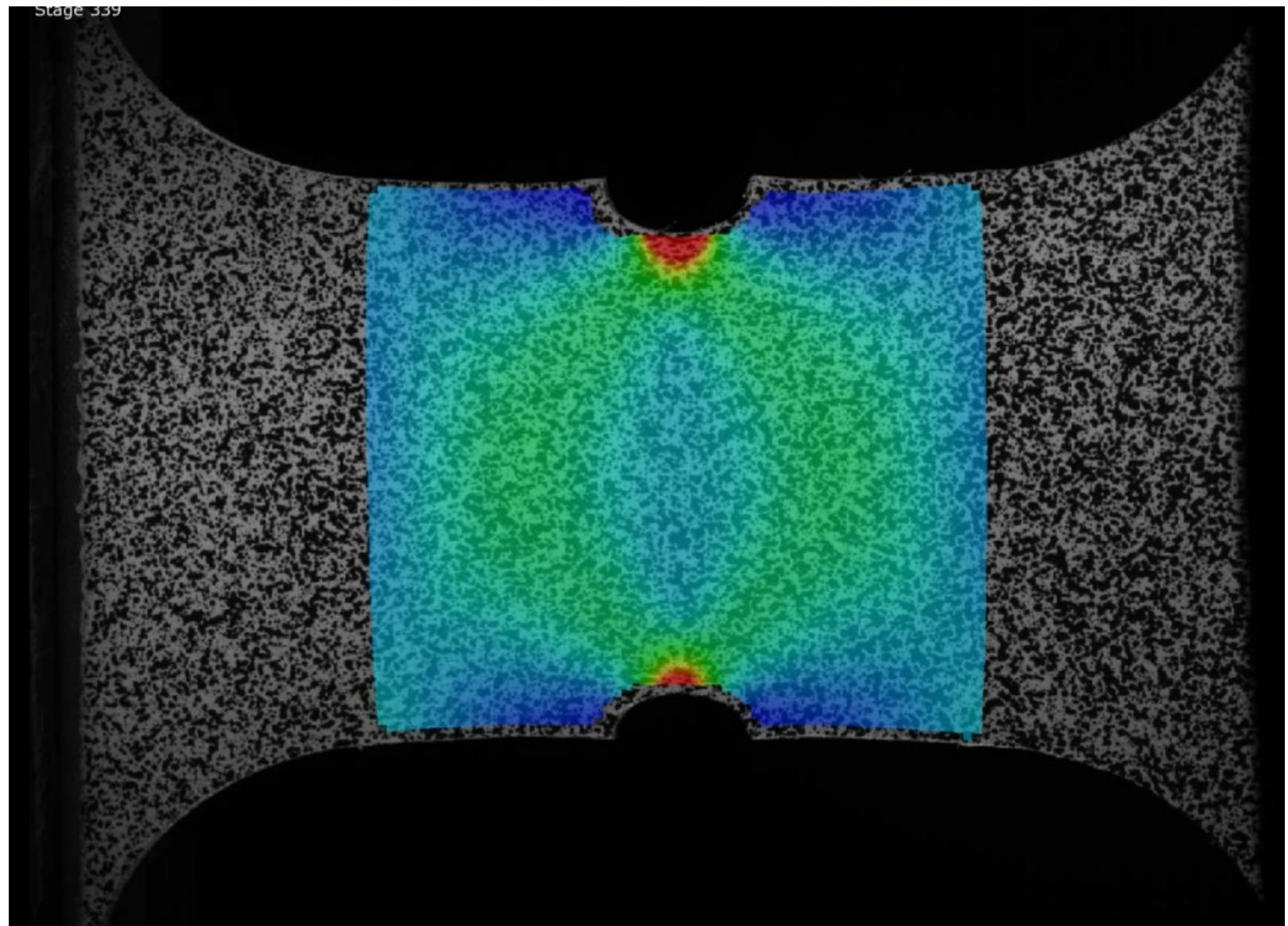
À l'échelle de l'échantillon



$\langle \varepsilon_{yy} \rangle \approx 23\% \text{ (right)}$.

Fissuration d'une éprouvette en
déformations planes (J.L. Dournaux et al.,
Mat. Sci. Eng. A 500, 2009)

À l'échelle de l'échantillon



Essais et vidéos ONERA/DADS
Logiciel : Aramis (GOM)

À l'échelle de l'échantillon

Matériaux
&
Technique

Exemple d'instrumentation

Matériaux & Techniques 104, 403 (2016)
© EDP Sciences, 2016
DOI: 10.1051/matech/2016034
www.matech-journal.org

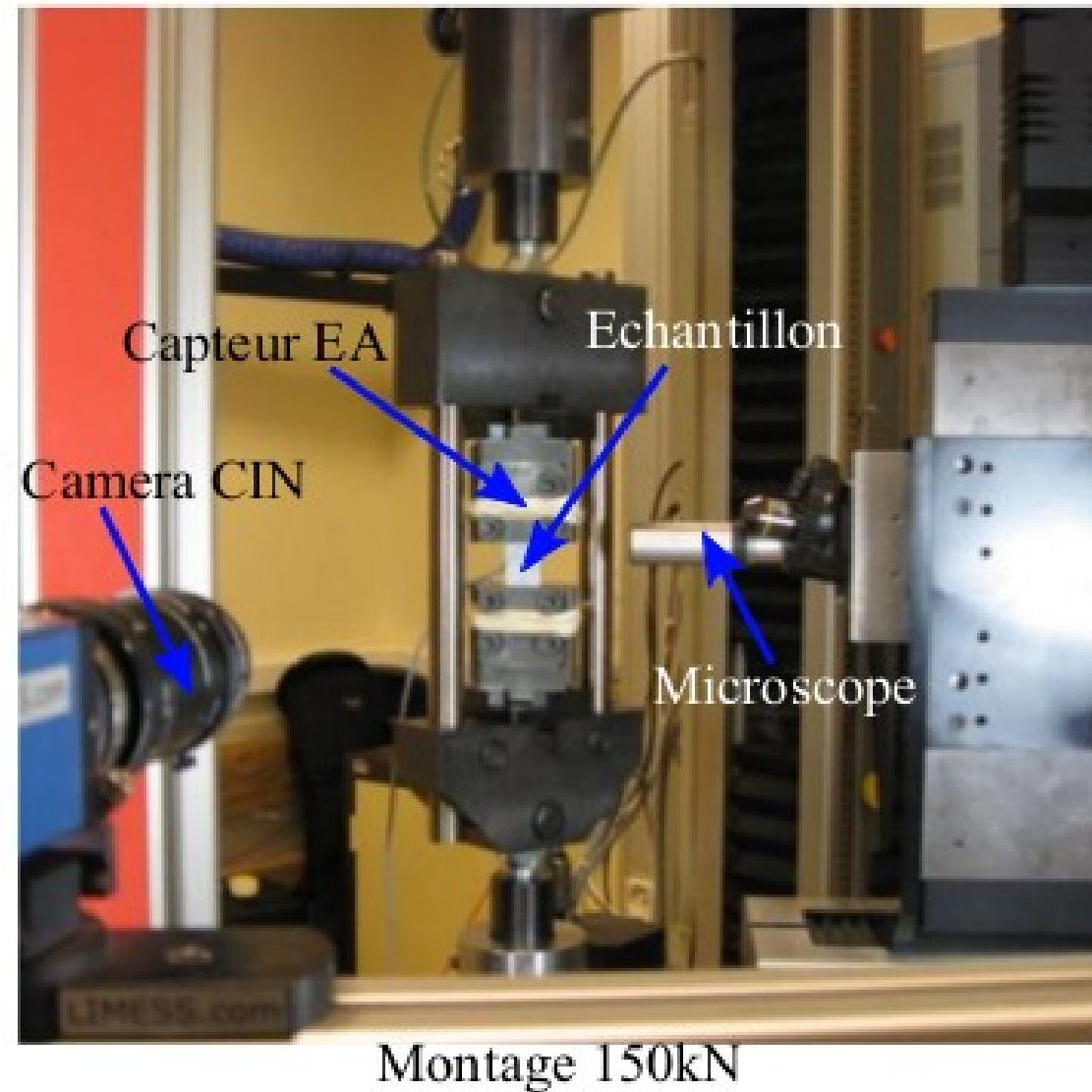


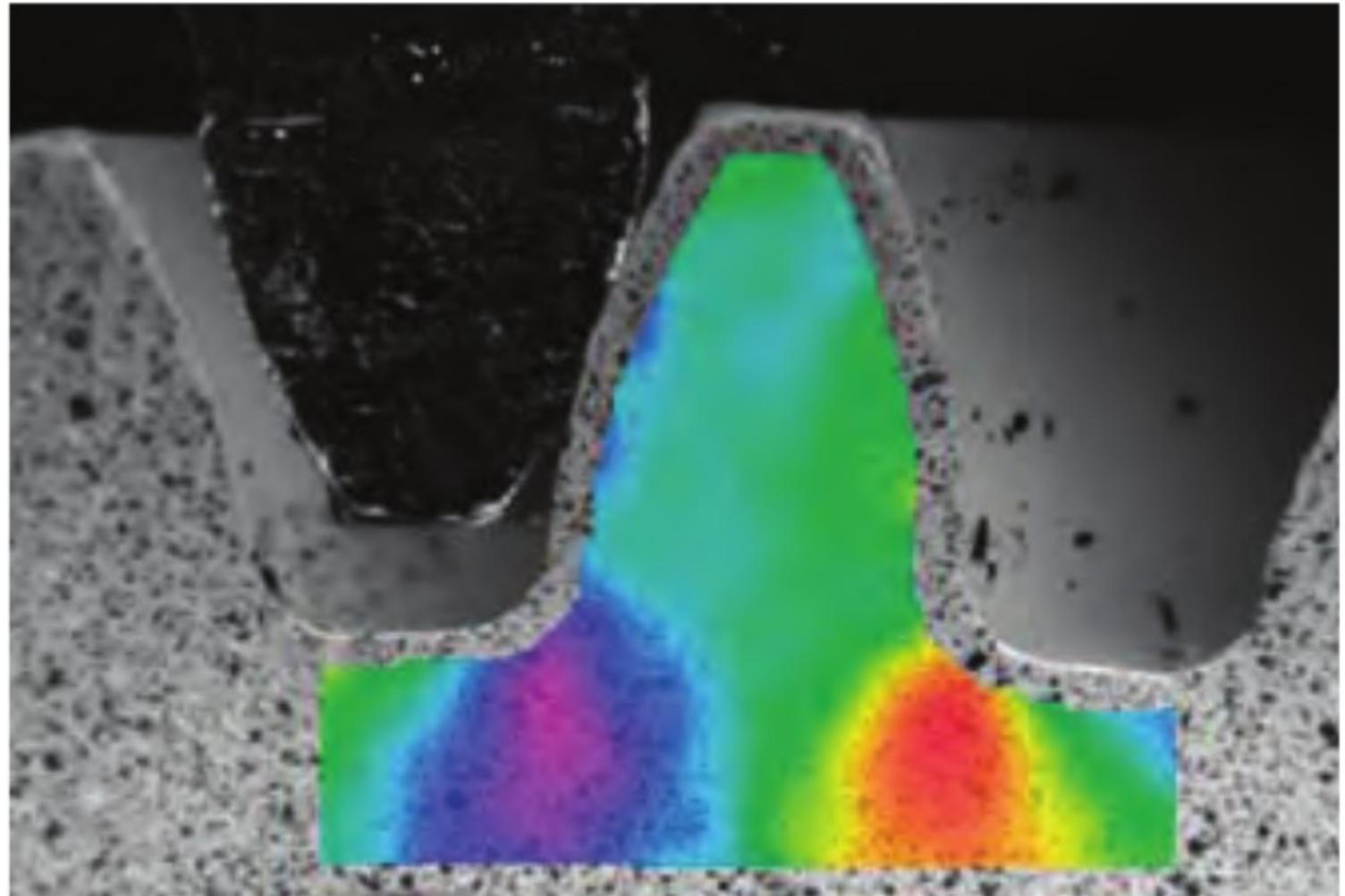
Fig. 1. Configuration expérimentale pour les essais de compression sur éprouvettes lisses tissées 3D.

Analyse de la tenue d'éprouvettes trouées composites tissées 3D sous sollicitations de compression au moyen d'un dialogue essais/calculs

Antoine Hurmane^{1,a}, François-Xavier Irisarri¹, Frédéric Laurin¹, Sylvain Leclercq² et Malik Benzeggagh³

L'ensemble des essais est richement instrumenté avec (i) de la stéréo-corrélation d'images numériques (CIN) avec le logiciel Vic3D[®], (ii) un suivi des émissions acoustiques (EA), et (iii) une observation des mécanismes d'endommagement sur le chant de l'échantillon au microscope, comme illustré sur la Figure 1.

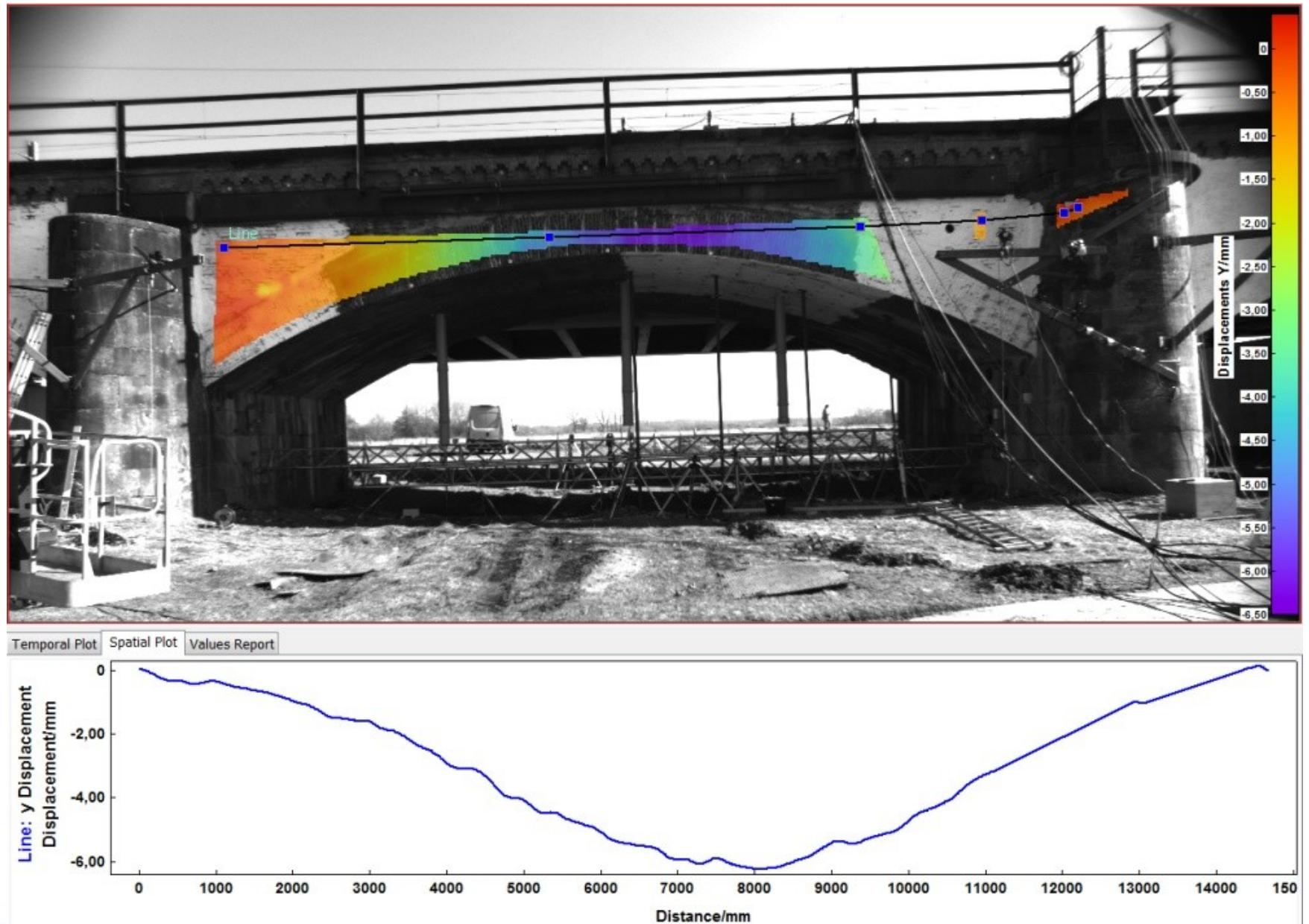
À l'échelle de la pièce



VIC-3D
<http://correlatedsolutions.com/>

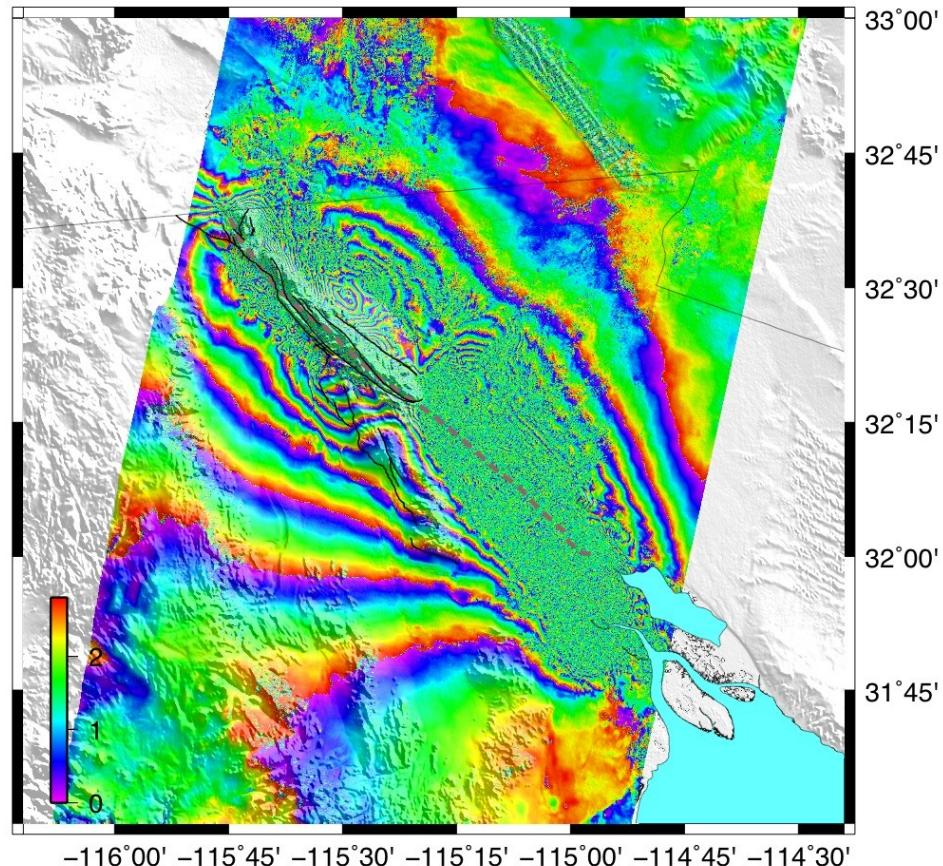
À la pièce en service

<http://www.limess.com/en/applications/deformation-strain-measurement/aller-bridge>



Systèmes d'acquisition "exotiques"

- ▶ INSAR (Interferometric synthetic aperture radar)



- ▶ GPS

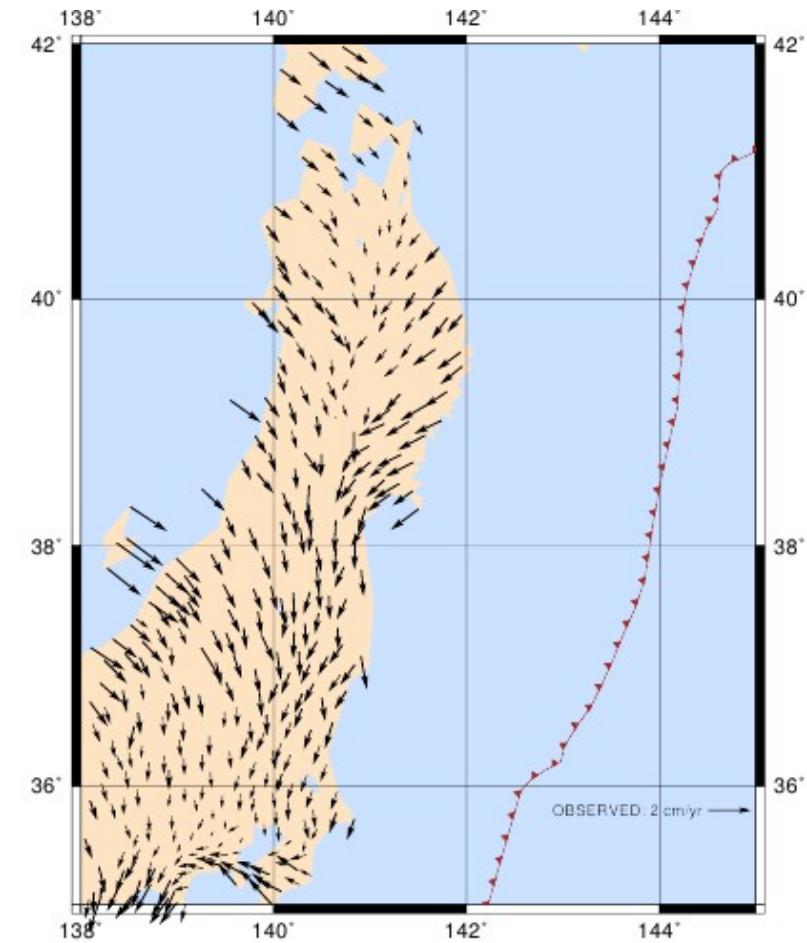


Figure 2.18: Average horizontal velocities in NE Japan for the period 2006-2010 based (GEONET) in ITRF 2000 reference frame

Yuri Fialko, University of California, San Diego, et al.
<https://www.unavco.org/data/imaging/sar/sar.html>

Trubienko 2013

Objectifs, motivations

- ▶ Uniaxial → multiaxial
- ▶ Coupon → structure complexe
- ▶ Faciliter le Virtual testing
- ▶ Conditions aux limites réelles
- ▶ Analyses in-situ, in-vivo
- ▶ Mieux exploiter toute la richesse d'un essai
- ▶ Utiliser des informations denses

► ... de mesure

- Extensomètre : mesure ponctuelle, 1D
- Corrélation d'images numériques 2D
- Stéréo-corrélation d'images
- Tomographie
- MEB
- Émission acoustique
- ...

► ... de calcul

- Éléments finis
- Loi de comportement
- Paramètres matériaux

► Du monologue au dialogue :

- le calcul pour réexploiter l'essai différemment
- le calcul pour corriger des biais expérimentaux
- le calcul pour piloter l'essai
- identification intégrée à la corrélation

► Importance du dialogue

- dès la mesure, les distorsions sont complètement dépendantes du système d'acquisition
 - optique : lentille, effets à chaud ("mirage"),
 - MEB : (mais aussi temps d'acquisition, charge électronique, ...)
 - tomo : artefacts anneaux, (mais aussi temps d'acquisition, chauffe thermique, algo de reconstruction ...)
- donc ne pas ignorer l'acquisition dans la partie calcul

Le dialogue

► 3 sciences numériques impliquées

- modélisation mécanique (éléments finis)
- corrélation d'images numérique
- inversion, optimisation

► donc on verra

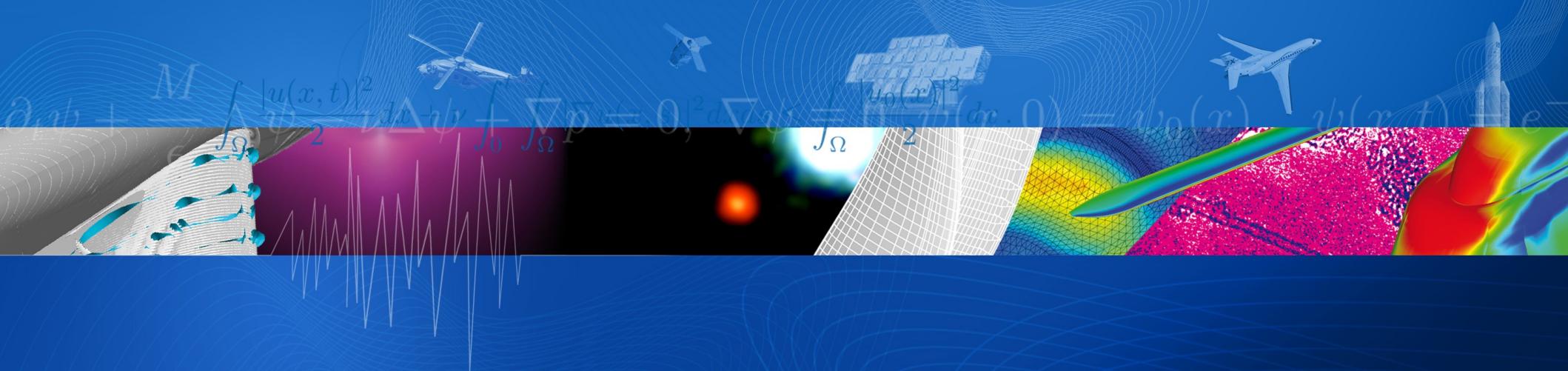
- soit (pdv du spécialiste d'un des domaines) des recherches pour améliorer un des points
- soit (pdv du modélisateur) de quoi alimenter son modèle à partir des calculs et des données expérimentales
- soit (pdv de l'expérimentateur) de l'exploitation des 3 pour une problématique spécifique
- soit (pdv du logiciel) de l'assemblage des 3 composants

CSMA 2017

13ème Colloque National en Calcul des Structures
15-19 Mai 2017, Presqu'île de Giens (Var)

escale : plateforme logicielle pour le dialogue essai – calcul

JD. Garaud¹, S. Feld-Payet¹, F. Bettonte¹, A. Tireira¹, Y. Le Sant², G. Le Besnerais³, S. Belon⁴



Corrélation d'images numériques (Digital Image Correlation)



Corrélation d'images numériques

► Les origines (pour la mécanique), années 80

- [1] Peters WH, Ranson WF. Digital imaging techniques in experimental stress analysis. *Opt Eng* 1982;21(3):427–31.
- [2] Sutton MA, Wolters WJ, Peters WH, Ranson WF, McNeill SR. Determination of displacements using an improved digital correlation method. *Image Vision Comput* 1983;1(3):133–9.
- [3] He Z-H, Sutton MA, Ranson WF, Peters WH. Two-dimensional fluid velocity measurements by use of digital speckle correlation techniques. *Exp Mech* 1984;24(2):117–21.
- [4] Peters WH, Ranson WF, Sutton MA, Chu TC, Anderson J. Application of digital correlation methods to rigid body mechanics. *Opt Eng* 1983;22(6):738–42.

Corrélation d'images numériques

► 2D (1 caméra), dès les 1980'

- restreinte aux éprouvettes planes, et aux mouvements plans, pour une caméra perpendiculaire au plan de l'éprouvette
- l'idée étant qu'on ne sait pas distinguer un rapprochement de l'éprouvette de sa dilatation

► 3D (2 caméras) stéréo-vision

- à partir de 1990'
- préférer le terme stéréo-vision, la 3D faisant référence à la tomographie

Flot optique

- Hypothèse du flot optique :

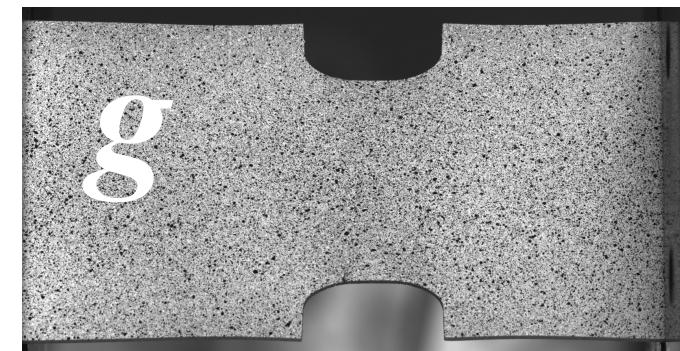
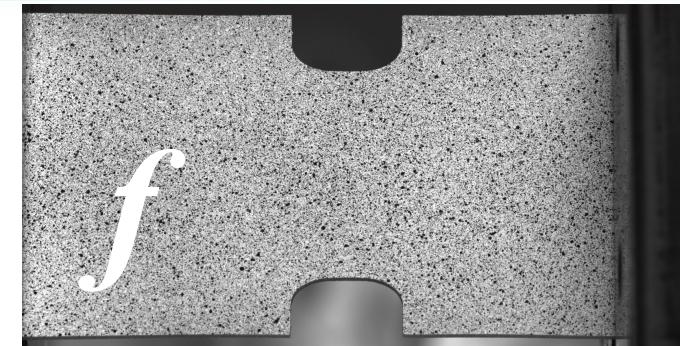
$$f(x) = g(x + u(x))$$

l'intensité des niveaux de gris est conservée au cours des déformations

- But trouver $u(x)$ tel que

$$\eta^2 = \int_{\Omega} [f(x) - g(x + u(x))]^2$$

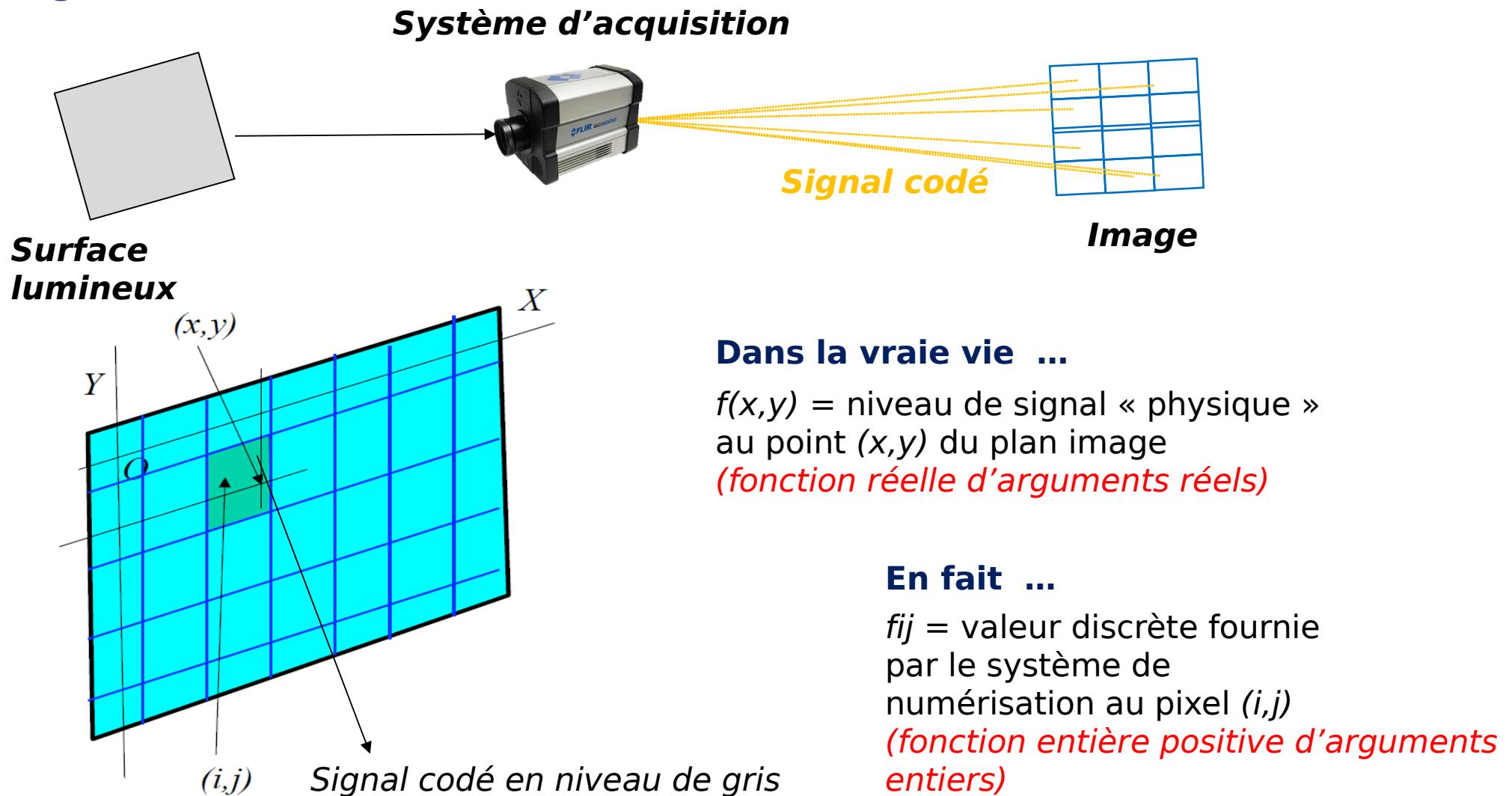
soit minimal

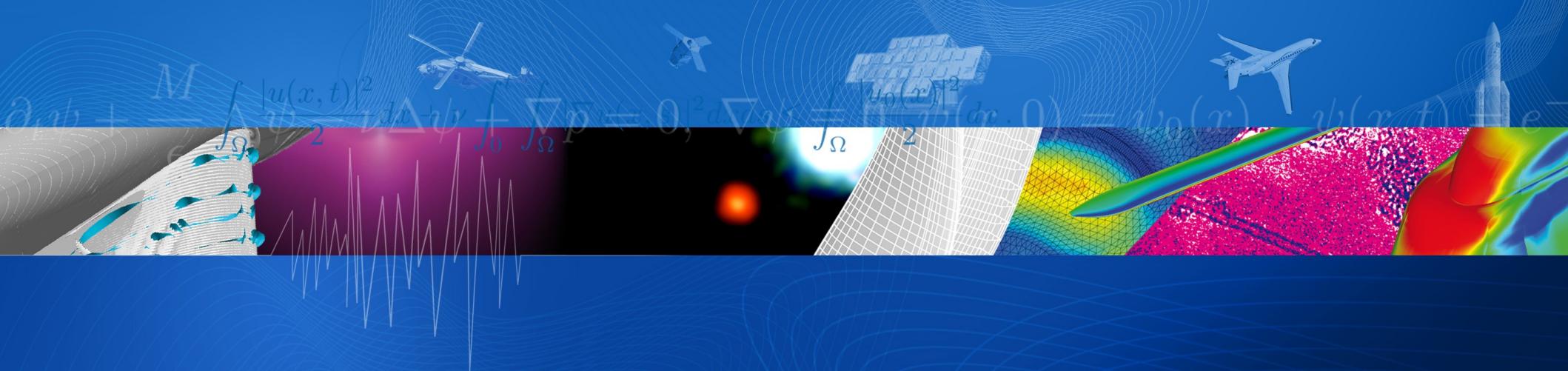


- En l'état le problème est mal posé (sous-déterminé):
 - 1024×768 équations (niveaux de gris)
 - $1024 \times 768 \times 2$ inconnues (u_x, u_y)
 - et l'hypothèse n'est pas nécessairement exacte (éclairage, bruit, ...)
- → Ajouter des contraintes

Images, marquages, essais mécaniques

Image ?





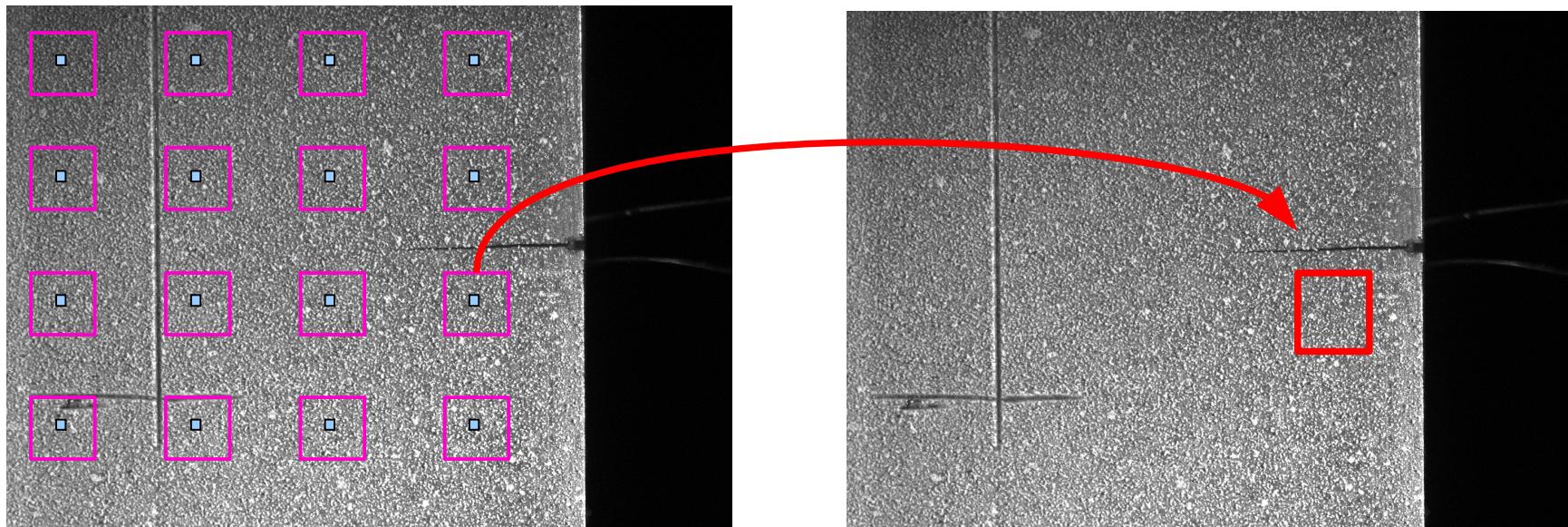
DIC locale (DIC par subsets)



Fenêtre

► Idée

- localiser simultanément un pixel et son voisinage (par ex. 11x11 pixels)
- sous l'hypothèse que toute la fenêtre se déplace de manière simple (affine rigide par ex. : 4 inconnues)



► À la base de nombreux codes commerciaux et académiques

Corrélation locale sur GPU

- exemple de code recherche : Folki-D



- corrélation dense (fenêtres complètement recouvrantes)
 - minimisées indépendamment
- basé sur Lucas-Kanade
- adapté pour parallélisation sur GPU

Corrélation locale

- ▶ Ne pas oublier toute la littérature "computer vision"
- ▶ Bibliothèque openCV
 - par exemple :

DeepFlow: Large displacement optical flow with deep matching

Philippe Weinzaepfel

Jerome Revaud

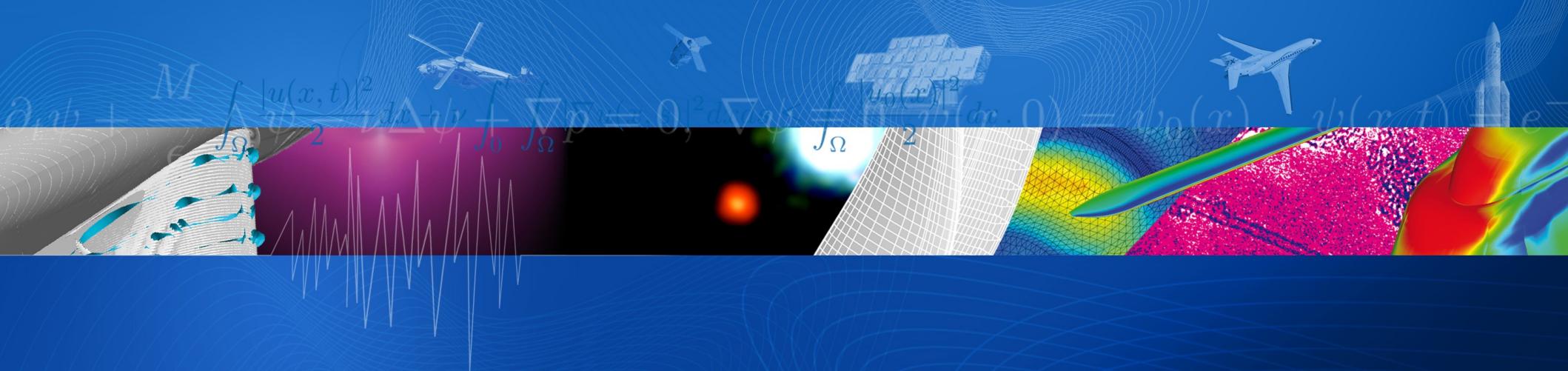
Zaid Harchaoui

Cordelia Schmid

```
import cv2

I1 = imread("img1.tif")
I2 = imread("img2.tif")

deepflow = cv2.optflow.createOptFlow_DeepFlow()
w = deepflow.calc(I1,I2,None)
```



FE-DIC

(DIC par éléments finis)

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Corrélation d'images par EF

Experimental Mechanics (2006) 46: 789–803
DOI 10.1007/s11340-006-9824-8

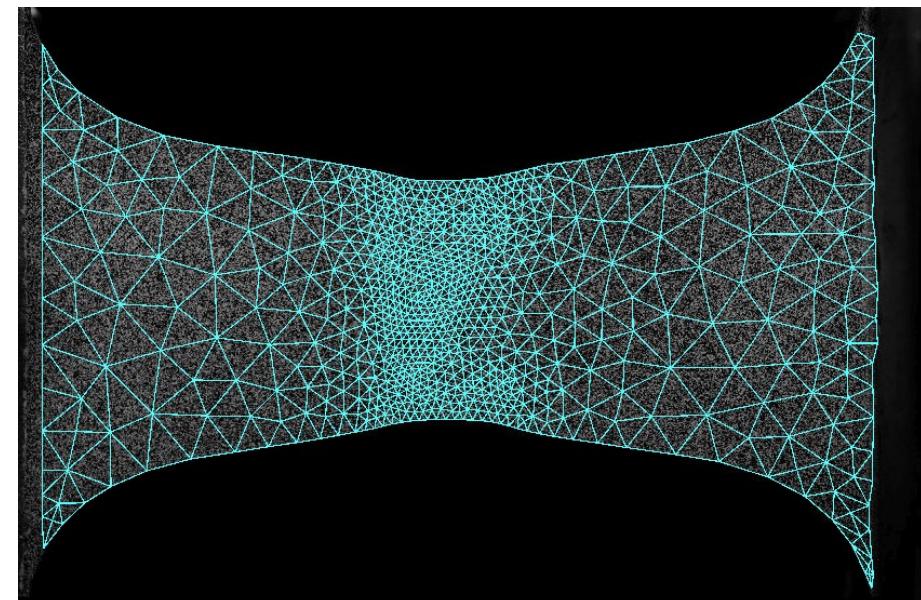
“Finite-Element” Displacement Fields Analysis from Digital Images: Application to Portevin–Le Châtelier Bands

G. Besnard · F. Hild · S. Roux

- ▶ Réduire le nombre d'inconnues (déplacement) en projetant sur la base éléments finis d'un maillage

$$u(x) = \sum u_i N_i(x)$$

- ▶ Hypothèse : déplacement continu P1 entre les noeuds
- ▶ Avantages :
 - lisse les champs
 - facilite le dialogue avec un calcul EF



Corrélation d'images par EF : les équations

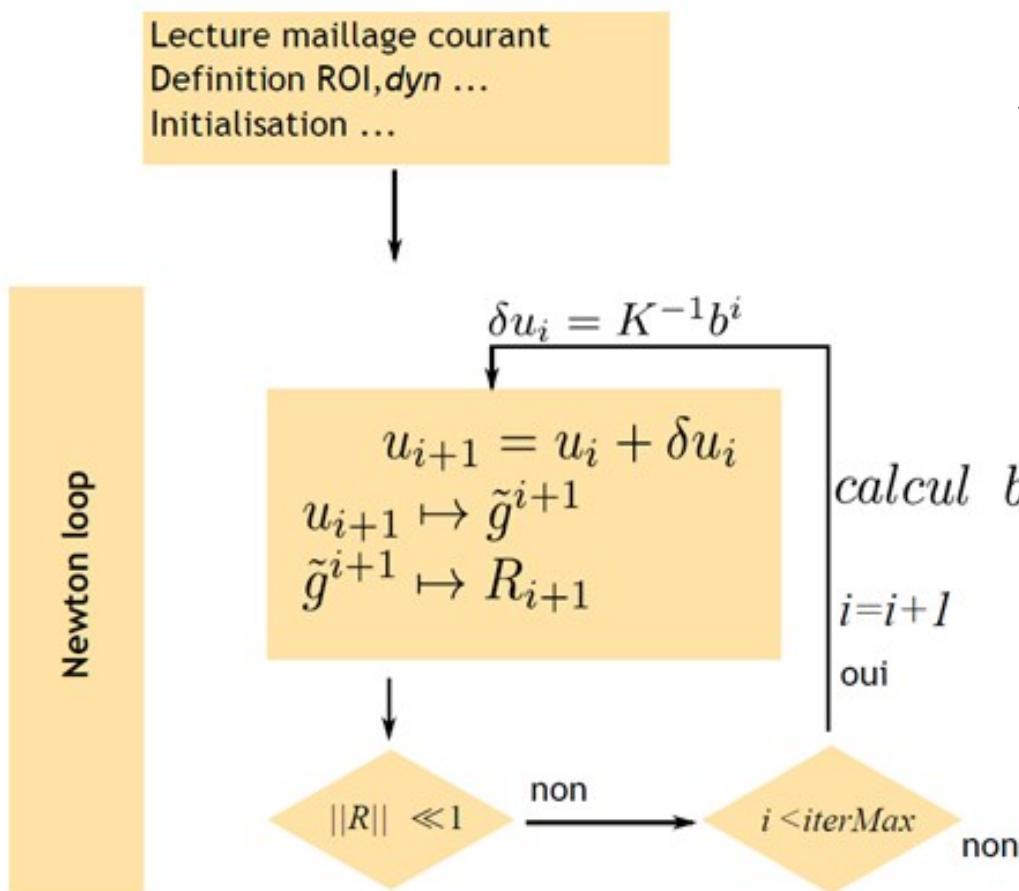
- Minimiser $\eta^2 = \int_{\Omega} [f(x) - g(x + u(x))]^2$
- $$\begin{aligned} g(x + u(x)) &\approx g(x) + u(x) \nabla g(x) \\ &\approx g(x) + u(x) \nabla f(x) \\ &\approx g(x) + \sum_i u_i N_i(x) \nabla f(x) \end{aligned}$$
$$u = \sum u_i N_i$$
- $$\begin{aligned} \eta^2 &\approx \int_{\Omega} [f - g]^2 + \int_{\Omega} [u_i N_i \nabla f]^2 - \int_{\Omega} 2(f - g) N_i u_i \nabla f \\ &\approx \text{cste} + u^T K u - b u \end{aligned}$$

► Revient donc à $Ku = b$

$$K_{ij} = \int_{\Omega} \nabla f N_i \nabla f N_j \quad b_i = \int_{\Omega} (f(x) - g(x + u)) \nabla f N_i$$

Corrélation d'images par EF : algorithme de résolution

► Algorithme de résolution



► Contributions élémentaires

$$K_{ij}^e = \int_e \nabla f N_i \nabla f N_j$$
$$b_i^e = \int_e (f(\cdot) - g(\cdot + u)) \nabla f N_i$$

► Résidu

$$R = \int_{\Omega} (f(\cdot) - g(\cdot + u))$$

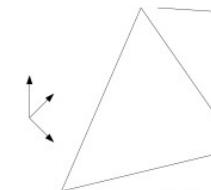
Formules de quadrature

$$\int_e f N_i = \sum_{p \in \text{GPs}(e)} f(p) N_i(p) \omega(p)$$

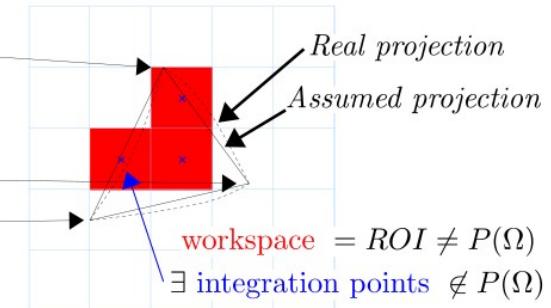
pas assez d'informations image

$$\int_e f N_i = \sum_{px \in e} f(px) N_i(px)$$

Mesh: Ω

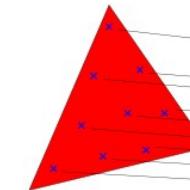


Projection of the nodes of the mesh:



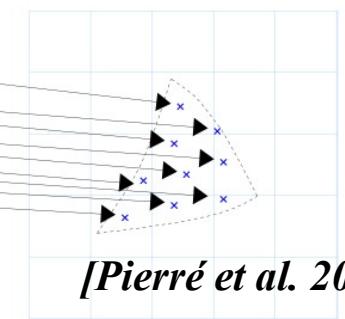
$$\int_e f N_i = \sum_{ip \in e} f(ip) N_i(ip) \omega(ip)$$

Mesh: Ω

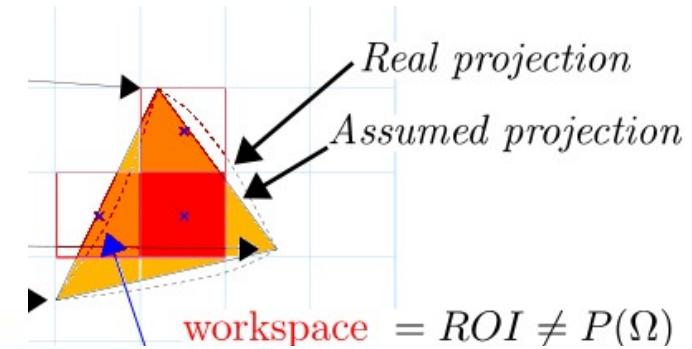


workspace = Ω
integration points $\in \Omega$

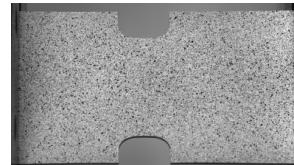
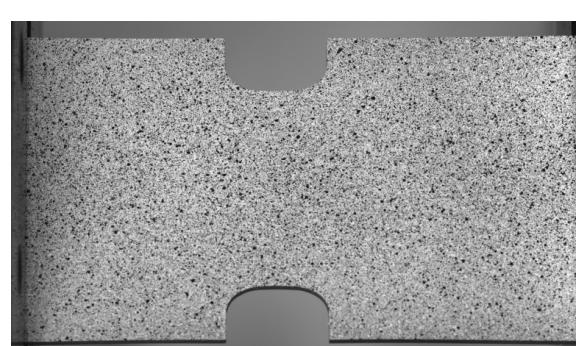
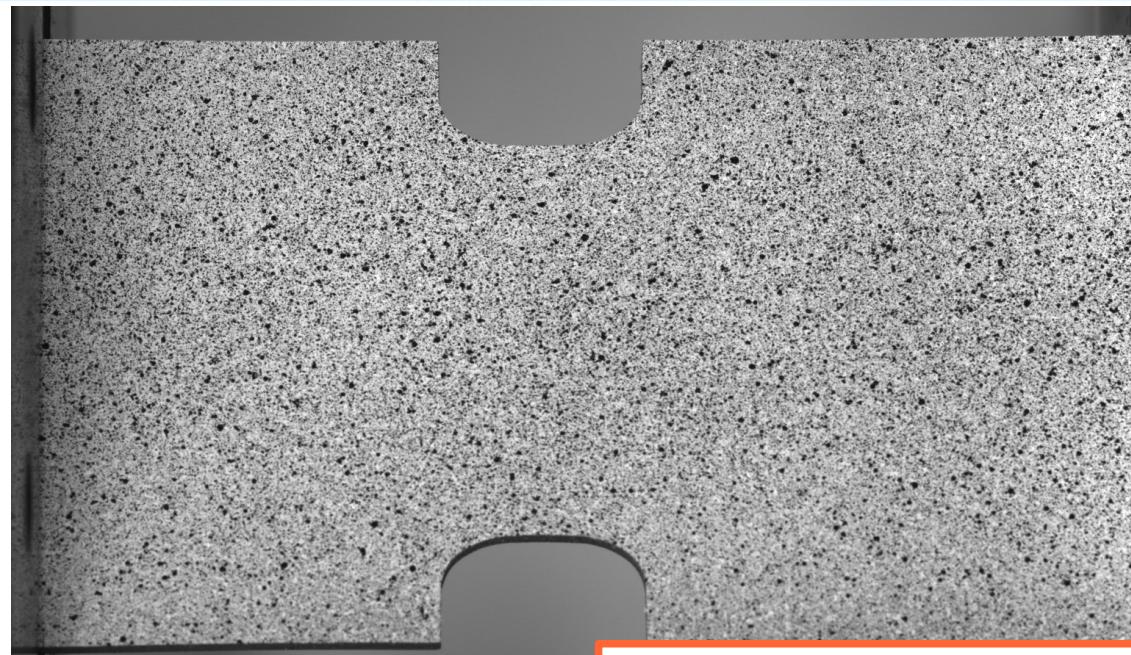
Projection of the integration points:



$$\int_e f N_i = \sum_{px \in e} f(px) N_i(px) \mathcal{A}(px \cap e)$$



Préconditionnement : les pyramides



- Principe : trouver un premier *guess* sur une image réduite sur laquelle :
 - déplacements plus petits
 - intégrales sont plus rapides à calculer

```
from skimage.transform import downscale_local_mean
from skimage.io import imsave, imread
import numpy as np

img=imread('data/PAE2_1_Cam1-000100.bmp', as_grey = True)

img=img[140:1040,400:]
imsave('entier.png',img.astype(np.uint8))

scale=2
coarseImg=downscale_local_mean(img, (scale,scale))
# on repasse en uint8, juste pour la sauvegarde
imsave('demi.png',coarseImg.astype(np.uint8))

scale=4
coarseImg=downscale_local_mean(img, (scale,scale))
imsave('quart.png',coarseImg.astype(np.uint8))
```

Convergence au maillage Régularisation mécanique

- ▶ Raffiner le maillage permet d'améliorer la description du déplacement ...
 - ▶ ... mais le problème devient mal posé si le nombre de pixels par éléments est insuffisant
 - ▶ Une solution : ajouter un terme de régularisation à la forme quadratique
- $$\lambda u^T K_{\text{meca}} u + u^T K_{\text{img}} u - bu$$
- Experimental Mechanics (2017) 57:443–456
DOI 10.1007/s11340-016-0246-y
- Finite Element Stereo Digital Image Correlation Framework and Mechanical Regularization**
- J.-E. Pierré¹ · J.-C. Passieux¹ · J.-N. Périé¹
- ▶ pénalise les solutions mécaniquement énergétiques
 - ▶ Idée similaire existe en corrélation locale [bib]

Pour plus de détails



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Optics and Lasers in Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/optlaseng

Unstructured finite element-based digital image correlation with enhanced management of quadrature and lens distortions

J.-E. Pierré ^{*}, J.-C. Passieux, J.-N. Périé, F. Bugarin, L. Robert [†]

"Classical" Pixel Integration

Mesh: Ω

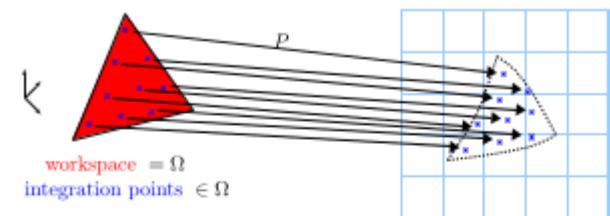
Projection of the nodes of the mesh:



Mesh Based Quadrature

Mesh: Ω

Projection of the integration points:



INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING

Int. J. Numer. Meth. Engng 2013; **96**:739–762

Published online 10 October 2013 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI: 10.1002/nme.4577

Global 2D digital image correlation for motion estimation in a finite element framework: a variational formulation and a regularized, pyramidal, multi-grid implementation

R. Fedele^{*,†}, L. Galantucci and A. Ciani

Aspects mathématiques

Extensions : X-DIC = X-FEM + FE-DIC

► En présence de fissure : l'hypothèse continu-P1 est fausse !

INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING
Int. J. Numer. Meth. Engng 2008; 73:248–272
Published online 4 May 2007 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/nme.2070

Extended digital image correlation with crack shape optimization

Julien Réthoré¹, François Hild^{1,*†} and Stéphane Roux²

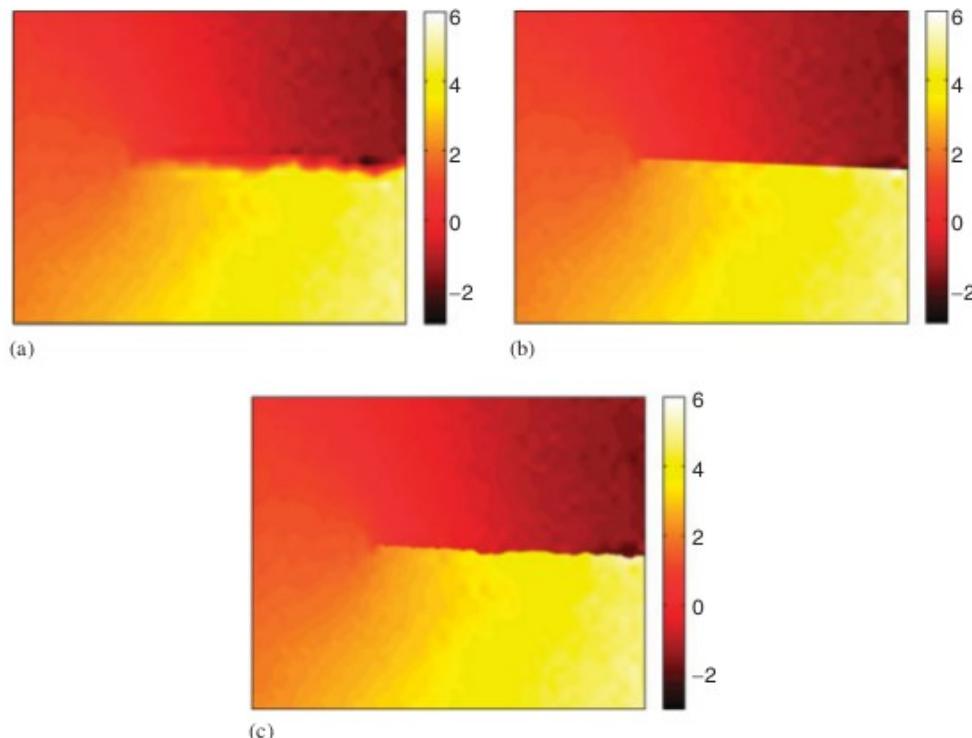


Figure 18. Normal displacement map for the CCT specimen using: (a) 32-pixel elements with a standard Q4 interpolation; (b) 32-pixel elements with discontinuous enrichment; and (c) same as (b) but using crack shape detection. The conversion factor is $p = 2.08 \mu\text{m}/\text{pixel}$.

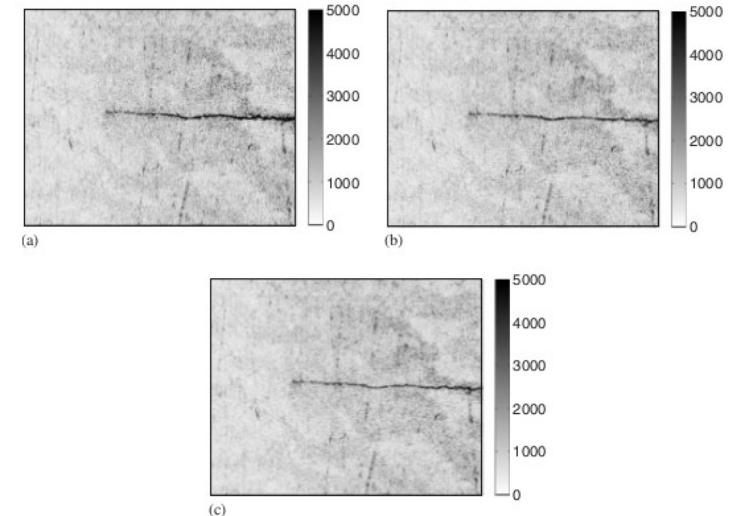


Figure 19. Error map Φ in gray levels for the CCT specimen: (a) Q4 elements; (b) Q4 elements with discontinuous enrichment; and (c) Q4 elements with discontinuous enrichment and crack shape detection. The dynamic range of the analyzed pictures is 16 bits.

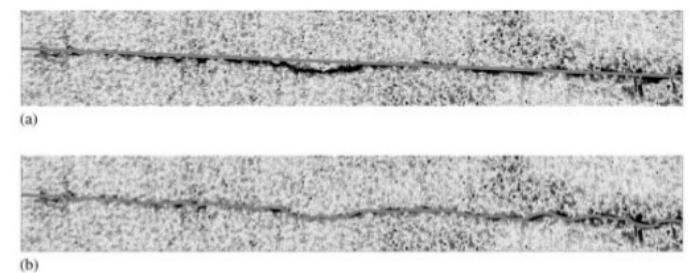


Figure 20. Straight (a) and optimized (b) crack path for the CCT specimen plotted on the error maps. The solid line is the 0-contour of the crack level set (ψ_c) the error scale is the same as in Figure 19 and the size of the zone is 868×124 pixel.

Extensions : décomposition de domaines + DIC

Objectifs :

- ▶ accélérer le calcul des contributions élémentaires
- ▶ accélérer la résolution du système linéaire

CSMA 2017

13ème Colloque National en Calcul des Structures
15-19 Mai 2017, Presqu'île de Giens (Var)

Une méthode de couplage de domaines pour la mesure de champs par corrélation d'images numériques éléments finis

R. Bouclier¹, J.C. Passieux², J.N. Périé²

Extensions

► Nurbs + DIC

Experimental Mechanics (2015) 55:1657–1668
DOI 10.1007/s11340-015-0065-6

CAD-based Displacement Measurements with Stereo-DIC **Principle and First Validations**

John-Eric Dufour^{1,3} · Benoît Beaubier^{1,2} · François Hild¹ · Stéphane Roux¹

► Réduction de modèles + DIC ??

Extensions : adaptation de maillage

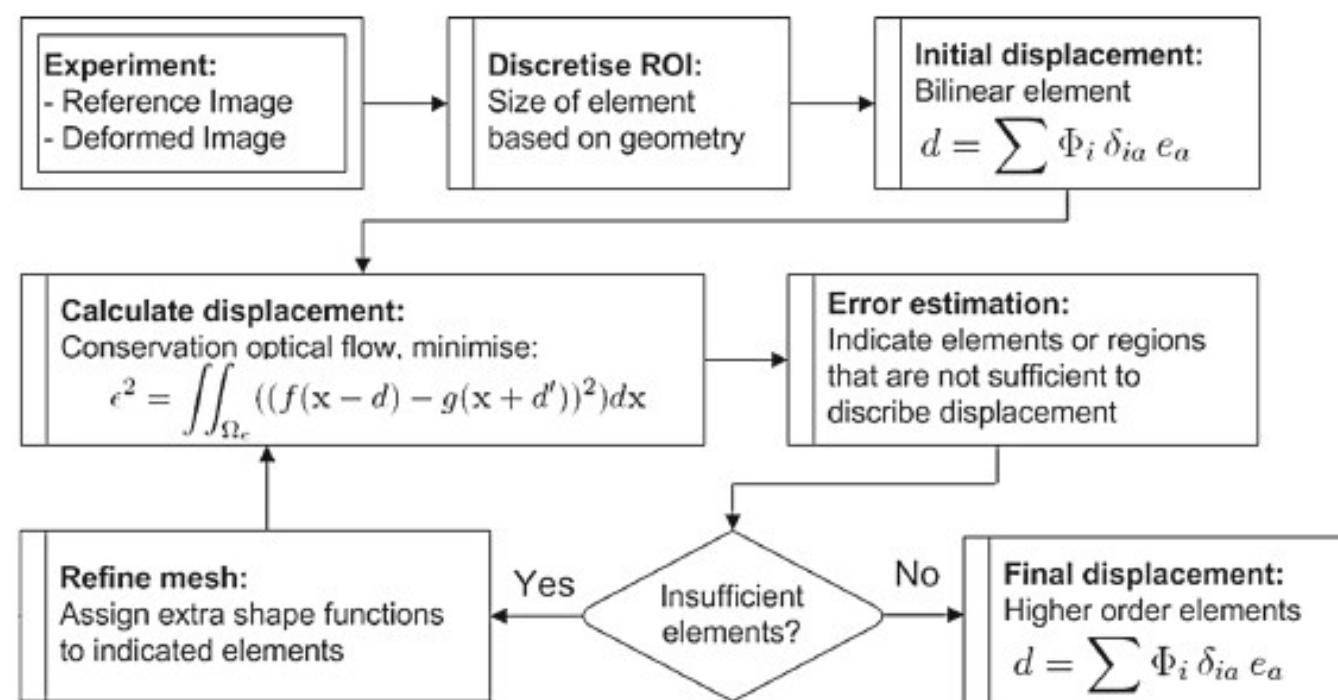
- Adaptation de maillage (montée en ordre), p-raffinement
- Wittevrongel & al.

Experimental Mechanics (2015) 55:361–378
DOI 10.1007/s11340-014-9946-3

A Self Adaptive Global Digital Image Correlation Algorithm

L. Wittevrongel · P. Lava · S.V. Lomov · D. Debruyne

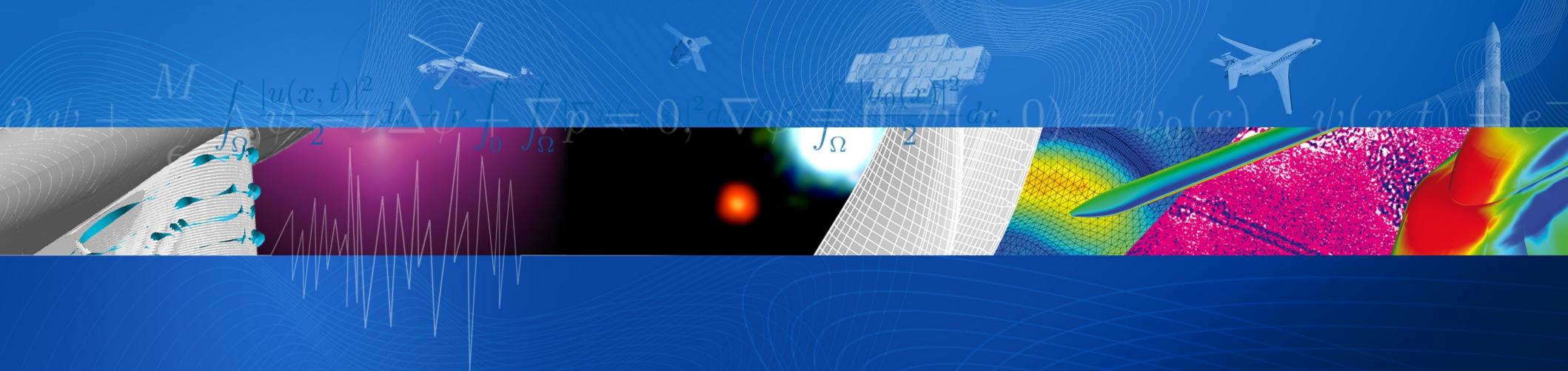
Fig. 7 Flowchart of the proposed p-DIC method



Nombreux autres "détails"

► En pratique, chaque cas a ses subtilités :

- bi-spline pour les interpolations subpixelliques
- formules d'intégration pour les contrib élémentaires
- normalisations des images (défauts d'éclairage)
- correction des défauts d'acquisition (notamment MEB)
- qualité du mouchetis
- coût calcul
- régularisation mécanique
- grands déplacements
- **stéréo-correlation**
- calibration
- **correction des distorsions optiques** (pin-hole effect)
- occultations
- **proximité des bords**
- **discontinuités** des déplacements



Quelques précisions

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

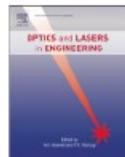
Subtilité : gestion des effets hors plan

Optics and Lasers in Engineering 46 (2008) 746–757

Contents lists available at ScienceDirect

Optics and Lasers in Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/optlaseng



The effect of out-of-plane motion on 2D and 3D digital image correlation measurements

M.A. Sutton^{a,*}, J.H. Yan^a, V. Tiwari^a, H.W. Schreier^b, J.J. Orteu^c

^a Department of Mechanical Engineering, University of South Carolina, 300 South Main Street, Columbia, SC 29208, USA

^b Correlated Solutions Inc, 109 Kaminer Way, Columbia, SC, USA

^c Ecole de Mines D'Albi, Albi, France

strain

An International Journal for Experimental Mechanics

Evaluation of Methodologies for Compensation of Out of Plane Motions in a 2D Digital Image Correlation Setup

L. Wittevrongel^{*}, M. Badaloni^{*†}, R. Balcaen^{*}, P. Lava^{*} and D. Debruyne^{*}

^{*}Department of Materials Engineering, University of Leuven, Belgium

[†]DIISM, Università Politecnica delle Marche, Italy

► Problématique : 1 seule caméra ne suffit pas à distinguer les déplacements hors plan

Solutions

- Stéréo-corrélation
- Objectif télécentrique
- Compensation numérique

Transferts pixel ↔ maillage

► maillage → image (par ex. pour la visu)

- passer (évidemment) par les fonctions de forme

► image → maillage

- surtout ne pas prendre le "pixel sous le nœud" (bruit !)
- peut s'écrire au sens faible

$$\int_{\Omega} f_{\text{EF}} \cdot N_j = \int_{\Omega} f_{px} \cdot N_j \quad \forall N_j$$

$$f_{\text{EF}} = \sum f_i N_i \quad M_{ij} = \int_{\Omega} N_i N_j$$

$$f_i = M_{ij}^{-1} \int_{\Omega} f_{px} \cdot N_j$$

Vérifications de précision

- ▶ Images et mouchetis synthétiques
- ▶ Déplacements analytiques

Experimental Mechanics (2009) 49:353–370
DOI 10.1007/s11340-008-9204-7

Assessment of Digital Image Correlation Measurement Errors: Methodology and Results

M. Bornert · F. Brémand · P. Doumalin · J.-C. Dupré · M. Fazzini ·
M. Grédiac · F. Hild · S. Mistou · J. Molimard · J.-J. Orteu · L. Robert ·
Y. Surrel · P. Vacher · B. Wattrisse



Assessment of Digital Image Correlation Measurement Accuracy in the Ultimate Error Regime: Main Results of a Collaborative Benchmark

F. Amiot*, M. Bornert†, P. Doumalin‡, J. -C. Dupré‡, M. Fazzini§, J. -J. Orteu¶, C. Poilâne**‡, L. Robert¶,
R. Rotinat||, E. Toussaint||, B. Wattrisse|| and J. S. Wienin***

(2013)

Corrections des différences d'exposition/luminosité

zero centred normalised cross-correlation coefficient:

$$\begin{aligned} C(\Phi) &= 1 - \frac{\langle (f - \langle f \rangle) \cdot (g \circ \Phi - \langle g \circ \Phi \rangle) \rangle}{\sqrt{\langle (f - \langle f \rangle)^2 \rangle \cdot \langle (g \circ \Phi - \langle g \circ \Phi \rangle)^2 \rangle}} \\ &= 1 - \frac{\langle f \cdot g \circ \Phi \rangle - \langle f \rangle \cdot \langle g \circ \Phi \rangle}{\sqrt{\langle (f^2) - \langle f \rangle^2 \rangle \cdot \langle (g \circ \Phi)^2 \rangle - \langle g \circ \Phi \rangle^2}} \end{aligned} \quad (3)$$

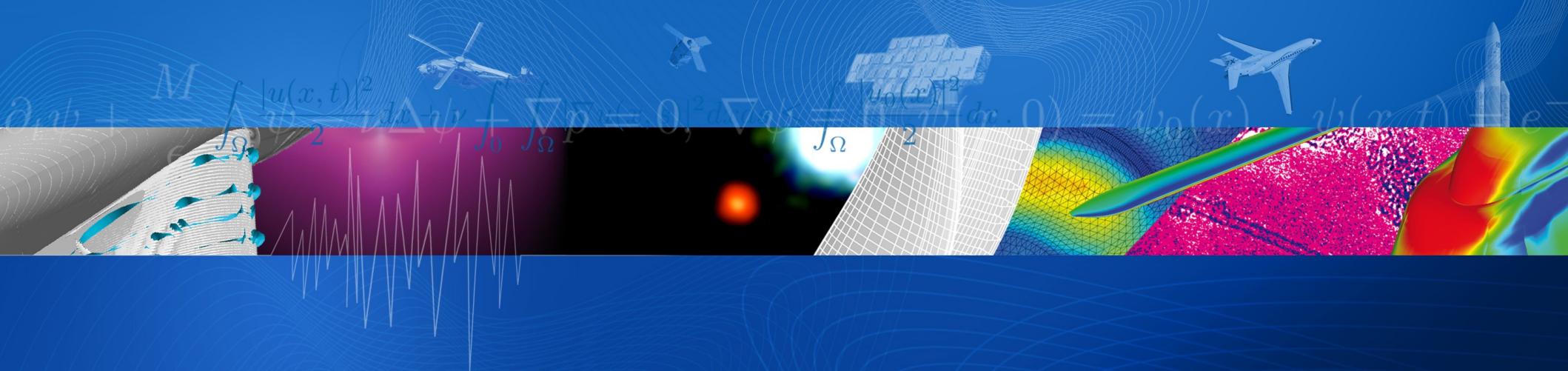
Volumetric Digital Image Correlation Applied to X-ray Microtomography Images from Triaxial Compression Tests on Argillaceous Rock

N. Lenoir^{*†}, M. Bornert[‡], J. Desrues[†], P. Bésuelle[†] and G. Viggiani[†]

^{*}ANDRA, Châtenay-Malabry, France

[†]Laboratoire 3S, CNRS-UJF-INPG, B.P. 53, 38041 Grenoble, France

[‡]LMS, Ecole Polytechnique, Palaiseau, France



Reconstructions géométriques



Extractions de contour d'une image expérimentale

Optics and Lasers in Engineering 52 (2014) 145–155



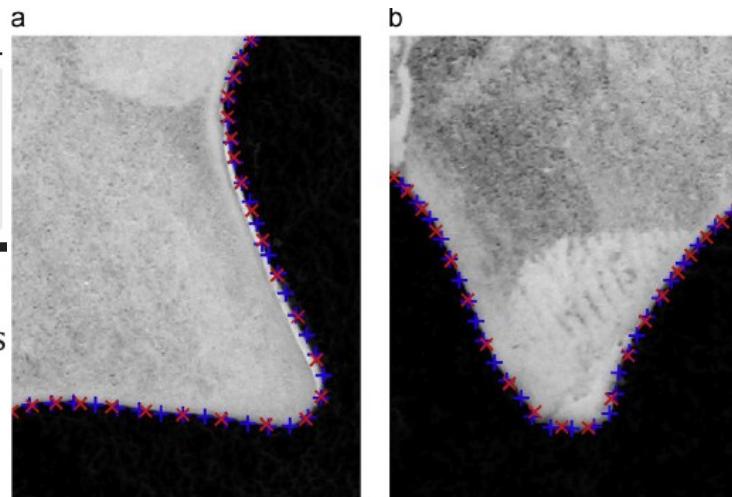
Contents lists available at ScienceDirect

Optics and Lasers in Engineering

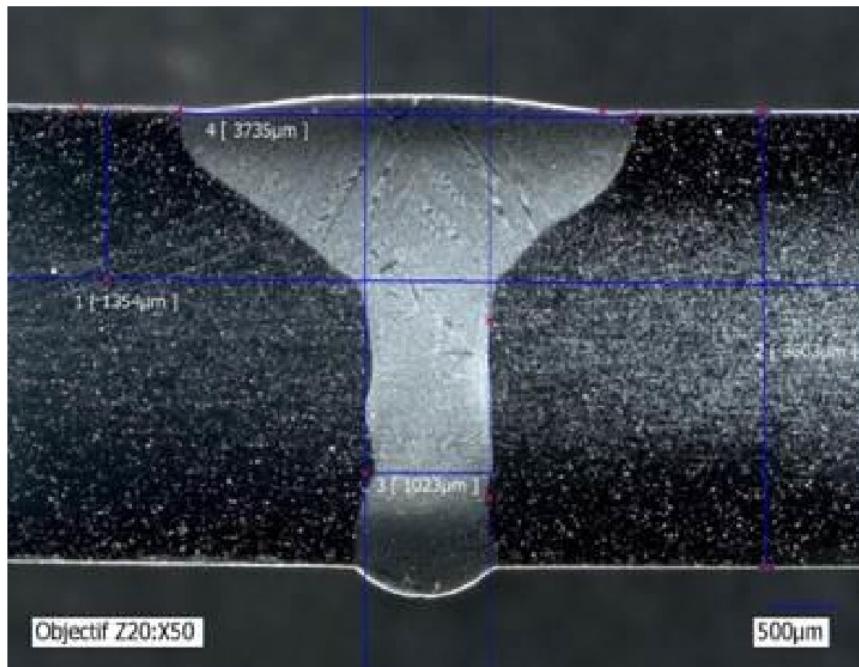
journal homepage: www.elsevier.com/locate/optlaseng

Curve and boundaries measurement using B-splines and virtual images

Julien Réthoré ^{a,*}, Marc François ^b



Micrographie du bain fondu par soudage laser



De manière manuelle, en première approche :
image de départ
→ floutée
→ gradient
→ extraction min/max sur chaque ligne
→ contour

`traitement_micrographie.py`

Reconstruction de géométries à partir d'images

► images tomographie

CSMA 2017

13ème Colloque National en Calcul des Structures
15-19 Mai 2017, Presqu'île de Giens (Var)

Implicit kriging model of fibrous reinforcements in composites based on X-ray microtomography

A. Madra^{1,2}, F. Trochu², P. Breitkopf¹

► pour les images (2D), accès aux outils graphiques de morphologie, détection de contours, ...

```
import cv2
from skimage import morphology
cv2.adaptiveThreshold(img, ...)
morphology.binary_dilation(img, ...)
morphology.binary_erosion(img, ...)
morphology.remove_small_objects(...)
```

Création d'un masque

```
import cv2
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

img=cv2.imread("./data/PAE2_1_Cam1-000100.bmp", 0)
if img is None: raise StandardError("Image not found")

img2 = cv2.adaptiveThreshold(img, 255,
                             cv2.ADAPTIVE_THRESH_GAUSSIAN_C,
                             cv2.THRESH_BINARY, blockSize= 9, C=-4)

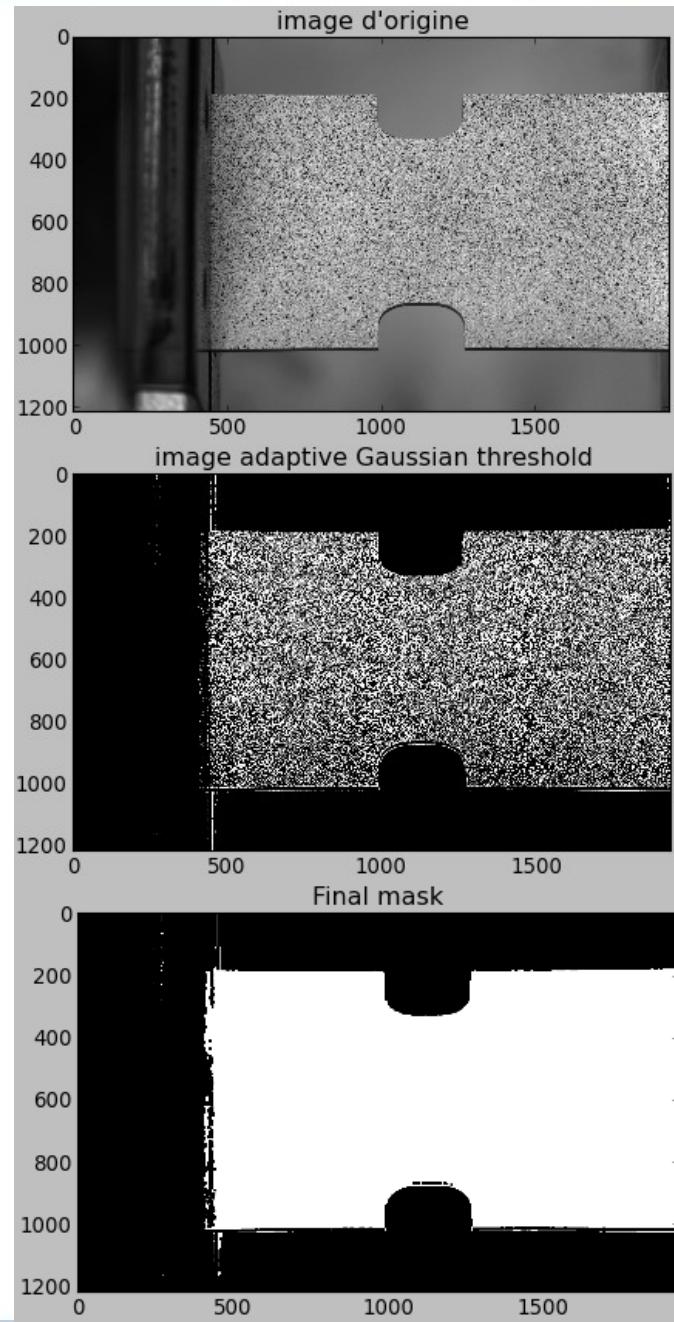
kernel = np.ones((9,9),np.uint8)
img3 = cv2.morphologyEx(img2, cv2.MORPH_CLOSE, kernel)

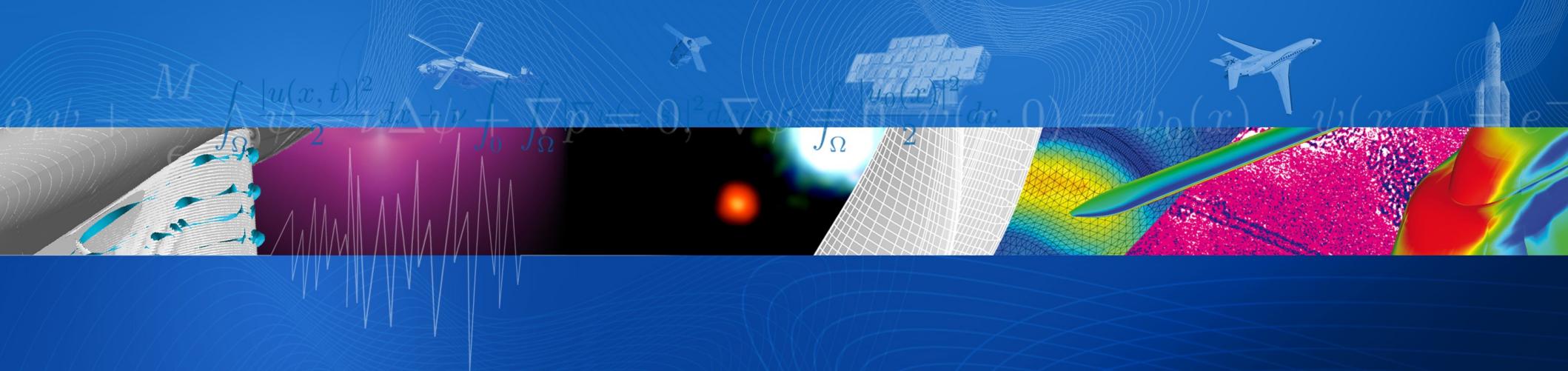
plt.figure()
plt.imshow(img, cmap=plt.cm.gray)
plt.title("image d'origine")

plt.figure()
plt.imshow(img2, cmap=plt.cm.gray)
plt.title("image adaptive Gaussian threshold")

plt.figure()
plt.imshow(img3, cmap=plt.cm.gray)
plt.title("Final mask")

plt.show()
```





Identification de paramètres matériaux

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

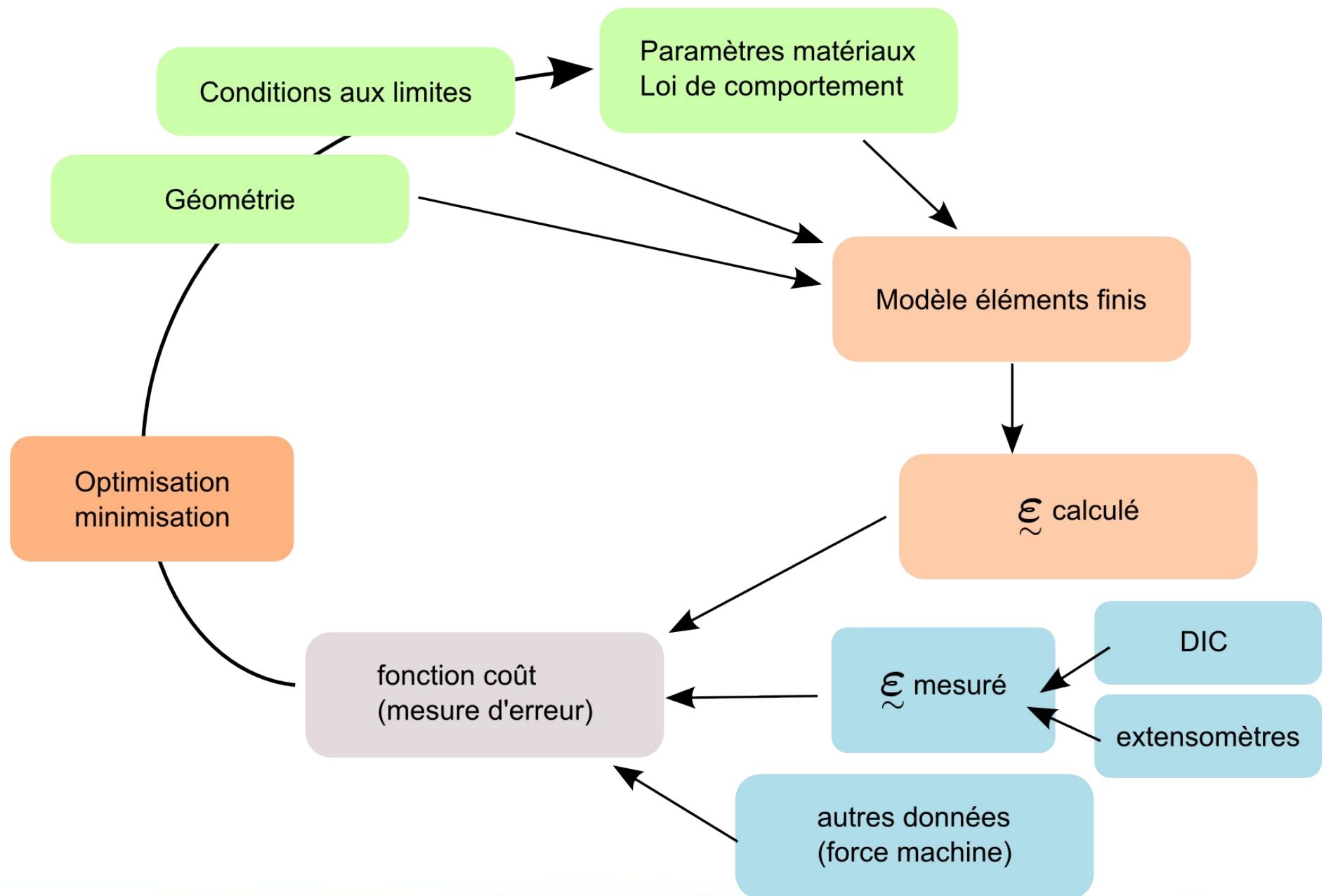
Experimental Mechanics (2008) 48:381–402
DOI 10.1007/s11340-008-9148-y

Overview of Identification Methods of Mechanical Parameters Based on Full-field Measurements

Stéphane Avril · Marc Bonnet · Anne-Sophie Bretelle · Michel Grédiac ·
François Hild · Patrick Ienny · Félix Latourte · Didier Lemosse ·
Stéphane Pagano · Emmanuel Pagnacco · Fabrice Pierron

- Cadre général de description de plusieurs méthodes
 - Méthode des champs virtuels
 - Finite Element Model Updating (FEMU)
 - Constitutive equation gap method
 - Reciprocity Gap method
- et expériences comparatives

FEMU : schéma de principe



FEMU : les ingrédients

► Fonction coût

- par ex : $\|U_{\text{expe}} - U_{\text{calc}}\|^2$

$$\|U_{\text{expe}} - U_{\text{calc}}\|^2 + \lambda \|F_{\text{machine}} - F_{\text{calc}}\|^2$$

► Code éléments finis

► Code d'optimisation

- Par ex si la fonction coût est assez régulière (convexe des paramètres)

`scipy.optimize.leastsq`

calcule les dérivées par perturbations

► Les avantages

- assez facile (instinctif) à mettre en œuvre
- code EF peut être utilisé en boîte noire

► Attention à la sensibilité des paramètres

FEMU : code typique

```
import numpy as np
from scipy.optimize import leastsq
import dic
import FEM

Uexpe = dic.getDisplacements()

def costFunction(params):
    FEM.writeMaterialFile(params)
    FEM.runCalcul()
    Ucalc = FEM.getDisplacements()
    normdiff = np.linalg.norm(Ucalc - Uexpe)
    return normdiff

guess = [ 200000, 0.3 ]
optParams, success = leastsq(costFunction, guess)

if not (success in (1,2,3,4) ) : # cf. la doc de la fonction leastsq
    raise StandardError("L'optimisation a rate !")

print "Parametres optimises :", optParams[0]
```

CSMA 2017

13ème Colloque National en Calcul des Structures
15-19 mai 2017, Presqu'île de Giens (Var)

Identification inverse d'un comportement asymétrique

V. Magnier¹, J-F. Witz², M. Langlois³, S. Selezneff⁴, Y. Desplanques⁵, P. Dufrenoy⁶

CSMA 2017

13ème Colloque National en Calcul des Structures
15-19 Mai 2017, Presqu'île de Giens (Var)

Analyse de l'impact du filtrage de conditions au bord bruitées sur un calcul éléments finis

F. Bettonte¹, S. Feld-Payet¹, S. Andrieux¹, D. Lévêque¹, J. Besson²

Pour aller plus loin



Available online at www.sciencedirect.com



International Journal of Solids and Structures 44 (2007) 4978–5002



General framework for the identification of constitutive parameters from full-field measurements in linear elasticity

S. Avril ^{*}, F. Pierron

LMPF-ENSA, rue Saint Dominique, BP 508, 51006 Châlons en Champagne, France

Received 26 June 2006; received in revised form 12 September 2006
Available online 22 December 2006

► Cadre mathématique



Contents lists available at ScienceDirect

Mechanical Systems and Signal Processing

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jnlabrymssp



► Analyse de sensibilité

The sensitivity method in finite element model updating: A tutorial

John E. Mottershead ^{a,*}, Michael Link ^b, Michael I. Friswell ^c

^a Centre for Engineering Dynamics, University of Liverpool, UK

^b Institute for Statics and Structural Dynamics, University of Kassel, Germany

^c School of Engineering, Swansea University, Wales, UK

Pour aller plus loin

► Identification intégrée

- utiliser la connaissance a-priori du comportement pour alimenter une FE-DIC

Integrated Digital Image Correlation for the Identification of Mechanical Properties

Hugo Leclerc, Jean-Noël Périé, Stéphane Roux, and François Hild

Experimental Mechanics (2015) 55:105–119
DOI 10.1007/s11340-014-9888-9

Estimation of Elastoplastic Parameters via Weighted FEMU and Integrated-DIC

F. Mathieu · H. Leclerc · F. Hild · S. Roux

► Méthode des champs virtuels

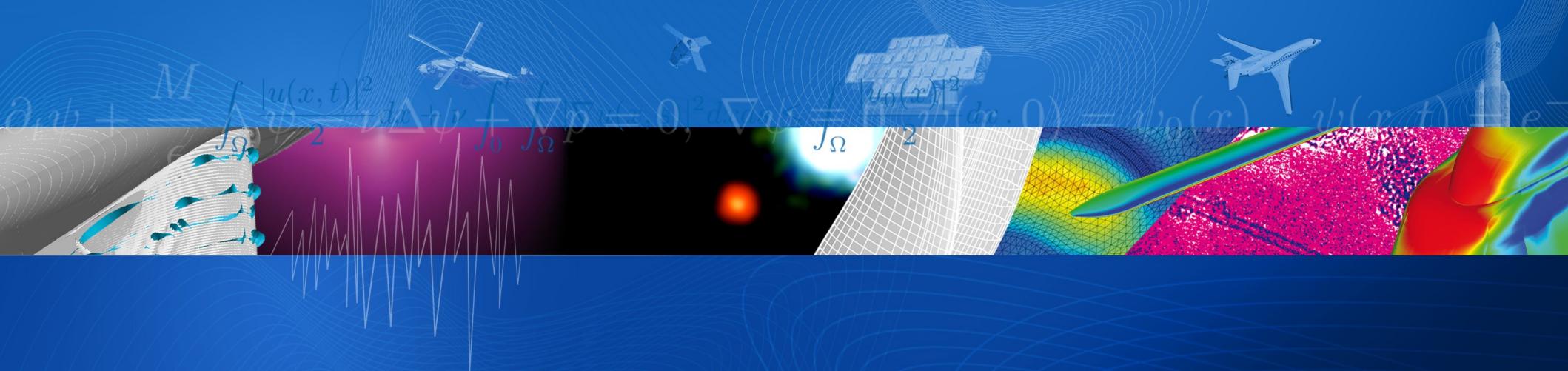


The Virtual Fields Method for Extracting Constitutive Parameters From Full-Field Measurements: a Review

M. Grédiac, F. Pierron, S. Avril, E. Toussaint

First published: November 2006 [Full publication history](#)

DOI: 10.1111/j.1475-1305.2006.tb01504.x [View/save citation](#)



en guise de résumé



<http://www.institut-clement-ader.org/vertex/index.php?id=results>



vidéo

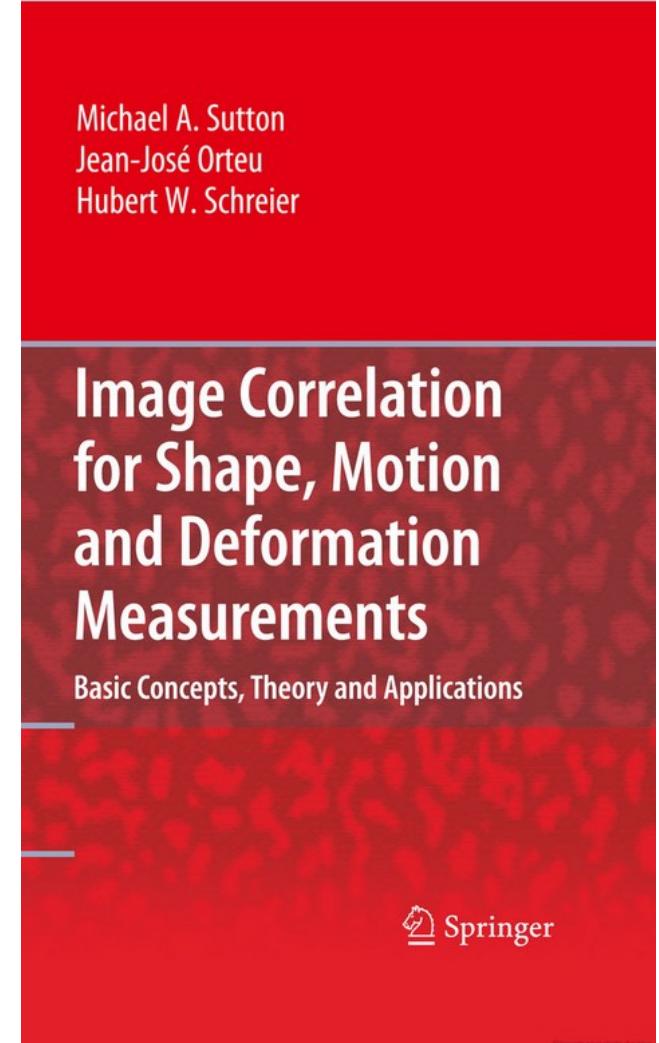
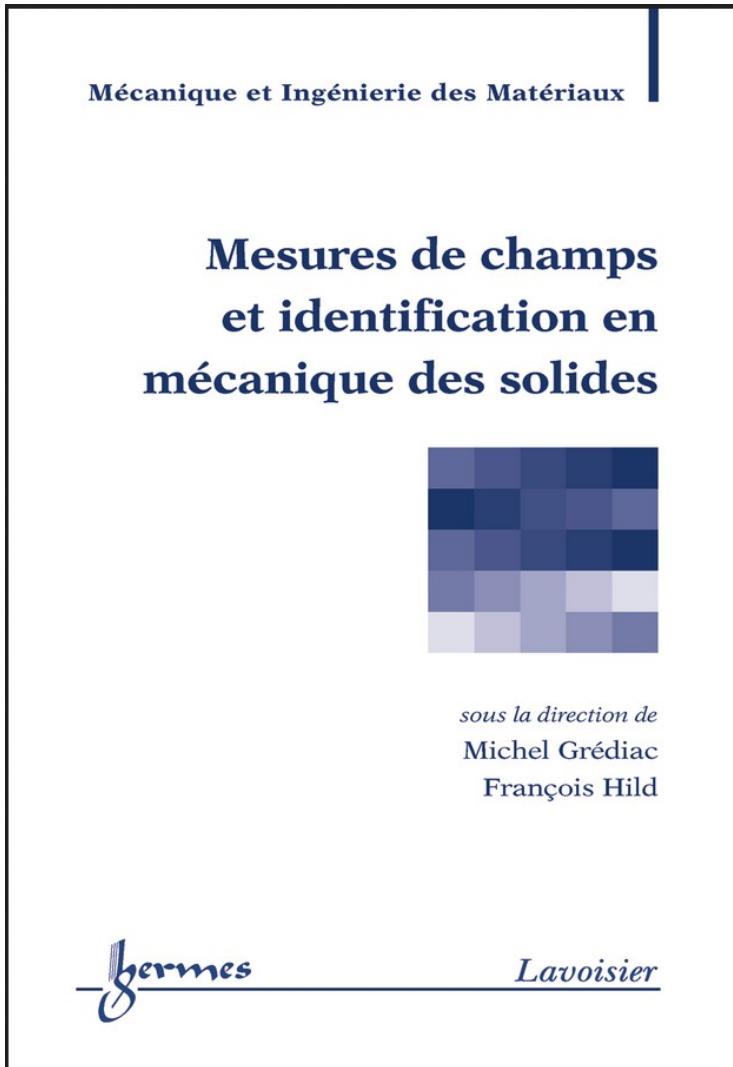
- ▶ Des essais (cisaillement, traction-cisaillement)
- ▶ Des mesures
- ▶ Des modèles matériaux (composites)
- ▶ De la détection de fissure
- ▶ Des logiciels

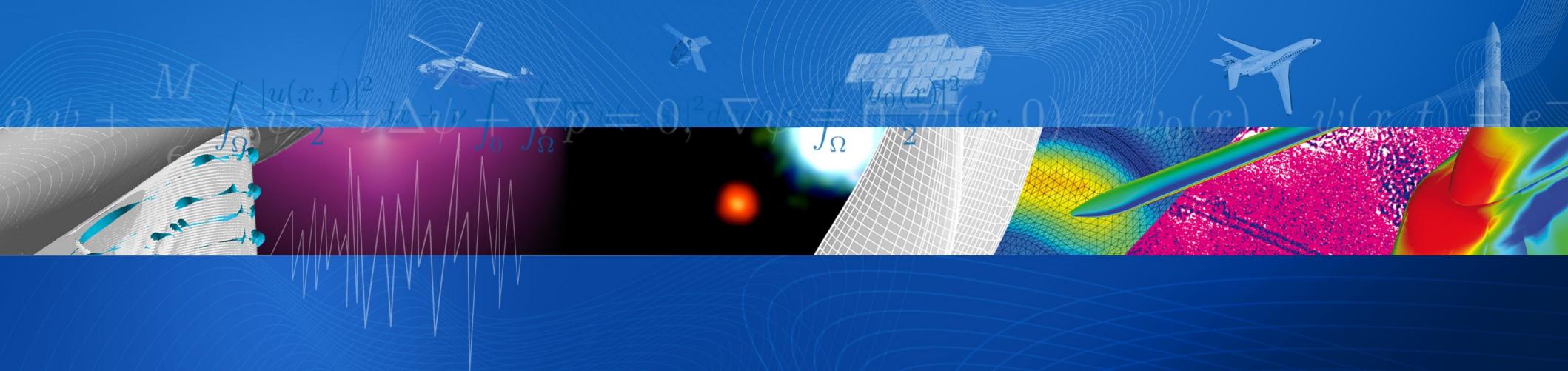
CSMA 2017

13ème Colloque National en Calcul des Structures
15-19 mai 2017, Presqu'île de Giens (Var)

Sur le dialogue essais-calculation dans les essais structuraux complexes

J. Serra, J.E. Pierré, J.N. Périé, J.C Passieux, C. Bouvet, B. Castanié





merci de votre attention

