



HAL
open science

Corrélation d'images pour la détection de contour

Julien Réthoré, Marc François

► **To cite this version:**

Julien Réthoré, Marc François. Corrélation d'images pour la détection de contour. CFM 2011 - 20ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2011, Besançon, France. hal-03421231

HAL Id: hal-03421231

<https://hal.science/hal-03421231>

Submitted on 9 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Corrélation d'images pour la détection de contour

J. RÉTHORÉ^a, M. FRANÇOIS^b

a. LaMCoS, INSA Lyon, France

b. FAST, Université Pierre et Marie Curie, Université Paris-Sud 11, France

Résumé :

La détection de contour est un sujet largement débattu en traitement d'images. Les techniques habituelles détectent les zones à fort gradient de niveau de gris. Ces méthodes s'intéressent en général plus à la capacité de détection d'objets mal définis (floutés, bruités...) qu'à la précision de la mesure. Dans cette contribution nous proposons une méthode, issue des techniques de corrélation d'images largement utilisées en Mécanique, qui permet une métrologie précise du contour de l'objet photographié.

Abstract :

The detection of contour is of interest in various scientific domains, for example map making, physics (the detection of fronts in chemistry), automotive engineering (computer aided driving), production engineering (control). Most of the existing methods focus on the capacity to detect ill-defined boundaries. Their structure leads in general to half pixel precision at the best. On the contrary, the present approach is focused on precise identification of rather well-defined, smooth and, for instance starred boundaries.

Mots clefs : Corrélation d'images, Contour, NURBS

1 Introduction

Dans de nombreux domaines scientifiques, il peut être intéressant de pouvoir détecter les contours d'un objet à partir d'une image. Par exemple : pour la réalisation de cartes, la détection de fronts de réaction chimique, l'assistance à la conduite, le contrôle de production dans l'industrie. La plupart des techniques existantes se focalisent sur la capacité à détecter des contours mal définis. En général, des précisions de l'ordre d'un demi-pixel sont obtenues. Au contraire, l'approche proposée se concentre sur l'identification précise d'une forme assez bien définie et continue. L'hypothèse de continuité permet d'accroître les performances de la méthode proposée pour atteindre des précisions de l'ordre du 1/1000 de pixel sur des cas artificiels.

On s'intéresse ici à une extension des travaux initiés dans [6, 7]. Dans ces références, la forme à détecter est paramétrisée par une description en série de sa courbure. Ici, on propose de définir le contour avec des fonctions NURBS pour Non-Uniform Rational B-Spline. Ce type de description est largement utilisé en Conception Assistée par Ordinateur (CAO). Récemment, ces fonctions ont été utilisées pour la simulation numérique dans le cadre de l'analyse dite isogéométrique [8]. Les niveaux de continuité élevés de ces fonctions leur donnent des capacités remarquables pour traiter certains problèmes en mécanique des fluides [2] ou en mécanique des solides [1, 4, 9]. Plus récemment encore, Elguedj *et al.* [5, 11] ont proposé d'intégrer les fonctions NURBS pour la mesure de champs de déplacement par corrélation d'images numériques. Encore une fois, leur haut degré de continuité permet d'atteindre des performances remarquables notamment si on s'intéresse à la mesure des déformations.

On propose ici de combiner les techniques de mesure de forme développées dans [6] avec la technologie NURBS. Le but étant de tirer partie du degré de continuité élevé des fonctions NURBS pour améliorer les performances métrologiques de la mesure de forme. On décrira d'abord le principe de la méthode avant d'en illustrer les propriétés sur un cas artificiel et sur des cas réels.

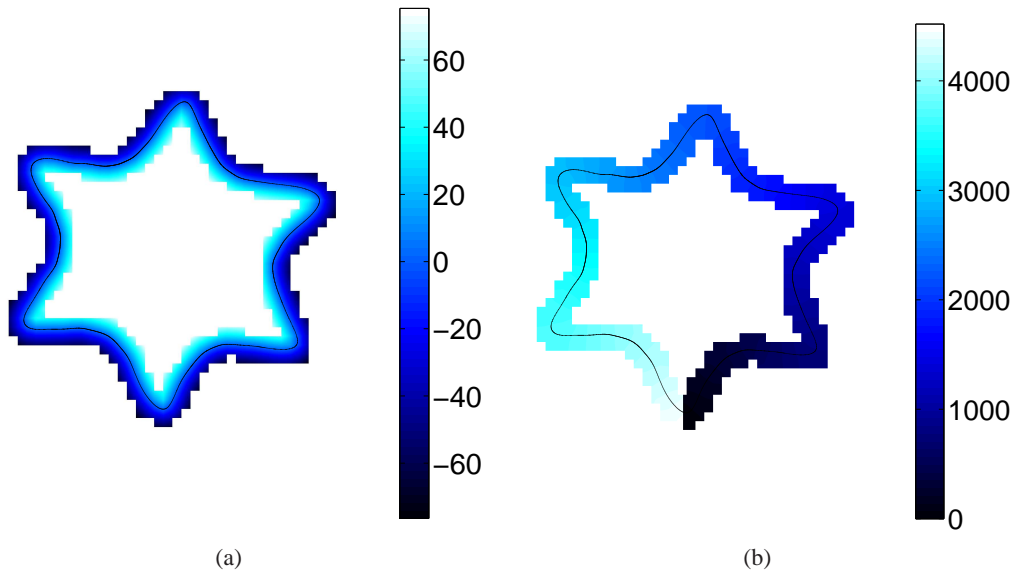


FIGURE 1 – Fonctions de niveaux t (a) et s (b) pour un contour fermé en forme d'étoile. L'unité de ces fonctions est le pixel.

2 Principe

2.1 Descripteurs et optimisation

L'idée de la méthode proposée est de déformer une forme décrite à l'aide de fonction NURBS de manière à ce qu'une image virtuelle créée à partir de cette forme (avec des variations de niveau de gris idéalisées entre l'intérieur et l'extérieur de la forme) "ressemble" le plus possible à l'image réelle de la forme. Pour cela, on se donne un jeu de points de contrôle initial P_i^0 décrivant la forme virtuelle initiale et on cherche une amélioration de la position de ces points de contrôle. En d'autres termes, on cherche le déplacement de la forme (par rapport à sa position initiale) qui permet de minimiser l'écart en niveau de gris entre l'image virtuelle et l'image réelle. Le champs de déplacement est donc décrit par

$$\mathbf{u}(\mathbf{x}) = \sum_{n \in \mathcal{N}} u_n \phi_n(\mathbf{x}) = [\phi(\mathbf{x})]\{\mathbf{U}\}. \quad (1)$$

où ϕ_n sont des fonctions NURBS et u_n sont leur degré de liberté associé. On peut aussi écrire que la position de point de contrôle à l'itération courante k est $P_i^k = P_i^0 + u_i$. A l'aide de cette description, on essaye de minimiser la fonctionnelle

$$\iint [g^*(\mathbf{x}) - g(\mathbf{x} + \mathbf{u}(\mathbf{x}))]^2 d\mathbf{x}, \quad (2)$$

avec, g^* l'image virtuelle et g l'image réelle. Dans le cadre d'un processus itératif, la fonctionnelle à minimiser est linéarisée et une succession de système linéaire est résolu jusqu'à convergence de l'algorithme.

2.2 Image virtuelle et fonctions de niveaux

Un des points clés de la méthode proposée ici est la génération de l'image virtuelle g^* . Il est nécessaire de créer des gradients de niveau de gris dans le voisinage immédiat de la forme virtuelle. Le vecteur gradient de niveau de gris est choisi orthogonal à la forme. Pour automatiser cette procédure et améliorer l'efficacité du calcul on utilise des fonctions de niveaux [12]. On notera t la fonction donnant la distance signée à la forme. Cette fonction peut être calculée pixel par pixel dans une bande mince autour de la forme. Le gradient de cette fonction t donne directement le gradient normé à la forme. On pourra écrire

$$g^*(t(x)) = \begin{cases} 0 & \text{if } t < 0 \\ 255 * 0.5 * (1 - \cos \frac{\pi t(x)}{\tau}) & \text{if } 0 \leq t \leq \tau \\ 255 & \text{if } t > \tau \end{cases} \quad (3)$$

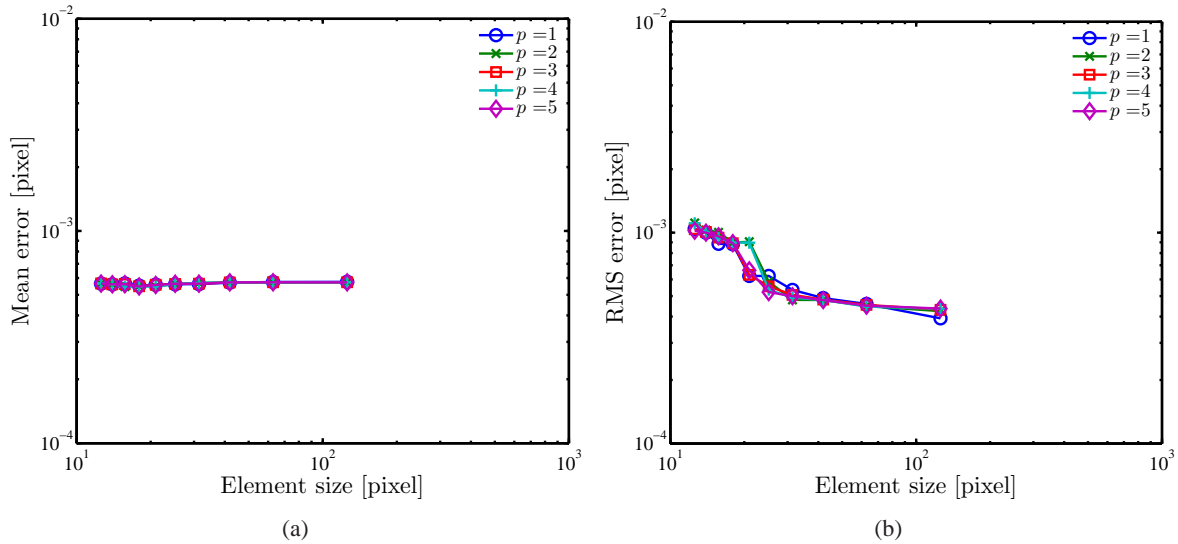


FIGURE 2 – Erreur moyenne et erreur RMS sur la détection d'un cercle. Ces erreurs sont tracées en fonction de la taille des éléments NURBS pour différents degrés p .

pour des variations sinusoïdales de g^* . τ est l'épaisseur de la zone de transition entre noir et blanc.

Pour des questions pratiques, une seconde fonction de niveaux s est créée. En effet, la génération de l'image virtuelle nécessite uniquement une information de distance par rapport à la forme. En revanche, pour créer les fonctions NURBS et les étendre dans le voisinage de la forme à l'intérieur duquel les niveaux de gris varient, on a besoin de l'abscisse curviligne de chacun des pixels de ce voisinage. Pour ce faire, on crée une seconde fonction de niveaux s dont le gradient est orthogonal au gradient de la première (t). Ainsi en chaque pixel du voisinage de la forme on dispose d'un système de coordonnées curvilignes permettant de construire l'image virtuelle g^* (en utilisant t) et les fonctions NURBS (en utilisant s). La fonction de niveaux s est obtenue par la minimisation de

$$\int_{\Omega_{band}} \|\nabla s - \nabla t \wedge e_z\|^2 d\Omega \quad (4)$$

complétée par une condition aux limites (le point de départ de l'abscisse curviligne) arbitraire. e_z est le vecteur unitaire normal au plan de l'image, Ω_{band} définit le voisinage de la forme dans lequel le calcul est effectué. Notons que pour décrire des contours fermés, une discontinuité dans la description de s est introduite grâce à une technique d'enrichissement de type X-FEM [3, 10] (voir Figure 1).

2.3 Performances

L'image d'un objet de forme circulaire parfaite est générée artificiellement. On cherche à détecter sa forme qui est connue pour évaluer les performances de la méthode proposée.

L'épaisseur du contour τ est choisie identique pour l'image réelle et l'image virtuelle. Elle est fixée à 10 pixels. La Figure 2 montre l'évolution de l'erreur moyenne et de l'erreur RMS sur le positionnement de la forme en fonction de la taille des éléments NURBS utilisés et pour différents degrés d'interpolation p . On observe que l'erreur moyenne est presque indépendante de la taille des éléments et du degré (cf. Figure 2(a)). La moyenne de cette erreur est d'environ $5.5 \cdot 10^{-3}$ pixel. Concernant l'erreur RMS (voir Figure 2(b)), on constate que augmenter la taille des éléments permet de diminuer les incertitudes de positionnement. On obtient des valeurs entre $1.0 \cdot 10^{-3}$ et $4.0 \cdot 10^{-4}$ pixel. En effet, la taille des éléments influe directement sur la quantité d'information disponible pour contraindre chacune des inconnues à déterminer et donc diminuer les fluctuations dues au caractère mal posé du problème à résoudre. En revanche, la technologie des fonctions NURBS permet d'augmenter le degré d'interpolation pour un coût très faible (une seule inconnue supplémentaire quand on augmente le degré de 1). L'influence de p sur les performances de la méthode en terme d'incertitude est donc très faible et on a tout intérêt pour augmenter la résolution de la mesure (le plus petit détail détectable) à augmenter le degré plutôt que de diminuer la taille des éléments.

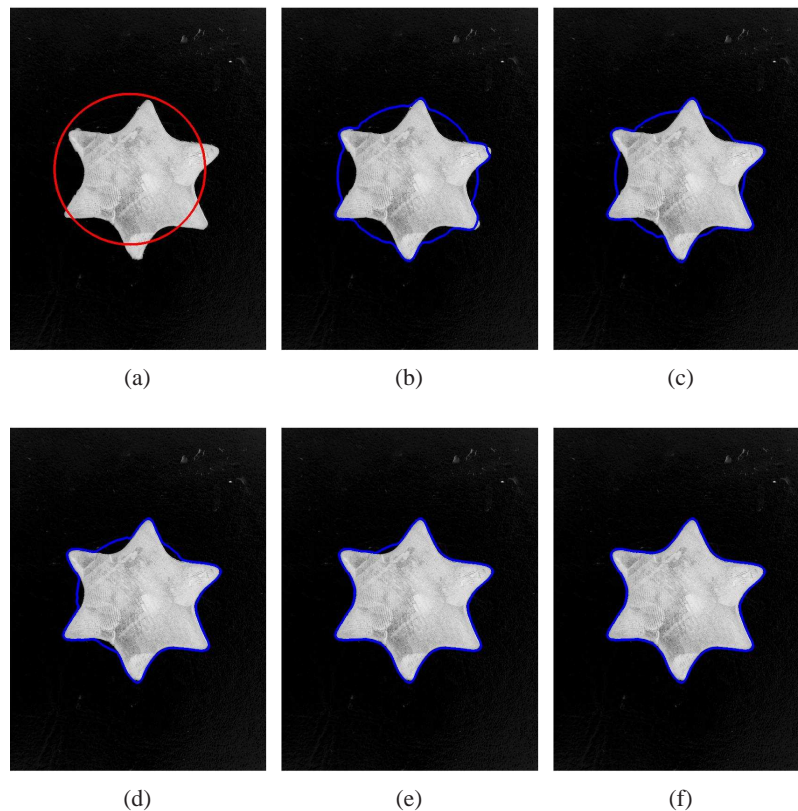


FIGURE 3 – Contours détectés après 0, 5, 10, 15, 20 et 25 itérations à partir d'une forme initiale circulaire.

3 Exemples

3.1 Contour d'une étoile

Dans ce premier exemple, on cherche à détecter le contour d'une étoile en pâte à modeler. L'image, au format jpeg, est constituée de 1704×2272 pixels. Initialement en couleur et encodée sur 16 bits, l'image a été convertie en niveau de gris et encodée sur 8 bits. La forme de l'objet est décrite avec 100 éléments NURBS de degrés 3. L'épaisseur du contour virtuel est fixée à 5 pixels.

Pour cette analyse, l'initialisation est effectuée avec un contour circulaire de 500 pixels de rayon. La Figure 3 montre l'évolution de la forme détectée au cours des itérations. On peut ainsi apprécier comment l'algorithme permet à la forme virtuelle d'épouser progressivement la forme réelle. La Figure 4 montre des détails des formes réelles et virtuelles. On constate qualitativement une très bonne adéquation du contour détecté avec la forme réelle.

3.2 Analyse d'un essai à haute température

L'analyse d'essais à haute température est généralement délicate. Premièrement, la surface de l'échantillon émet des rayonnements infrarouges qu'il est nécessaire de filtrer. Si la température varie dans une large gamme durant l'essai, ce filtrage devrait être adapté ce qui s'avère extrêmement complexe. De plus, quand on atteint de très hautes températures (environ 1000°C), il est également difficile de mettre au point une technique permettant d'appliquer à la surface de l'échantillon le mouchetis nécessaire pour la corrélation d'images. Néanmoins, il est généralement possible d'obtenir des images sur lesquelles l'échantillon apparaît en blanc sur fond noir. Dans ce cas, il est possible d'utiliser la technique proposée ici pour faire la détection du contour de l'éprouvette et de sa déformation au cours d'une sollicitation mécanique, par exemple.

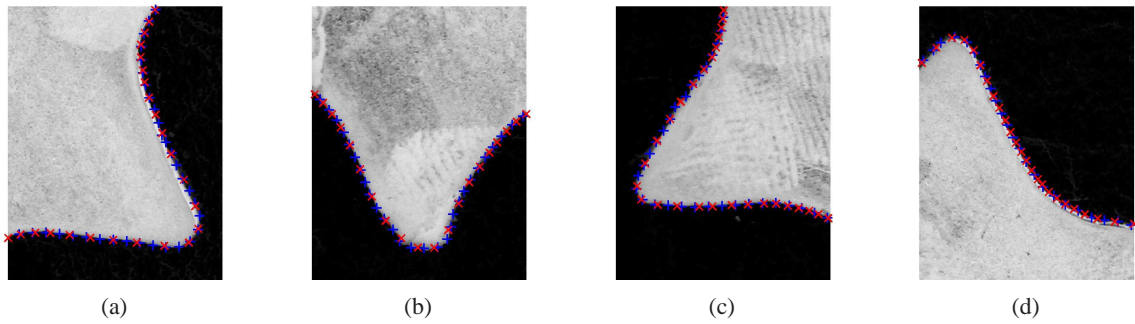


FIGURE 4 – Détails montrant l'adéquation entre la forme détectée et la forme réelle.

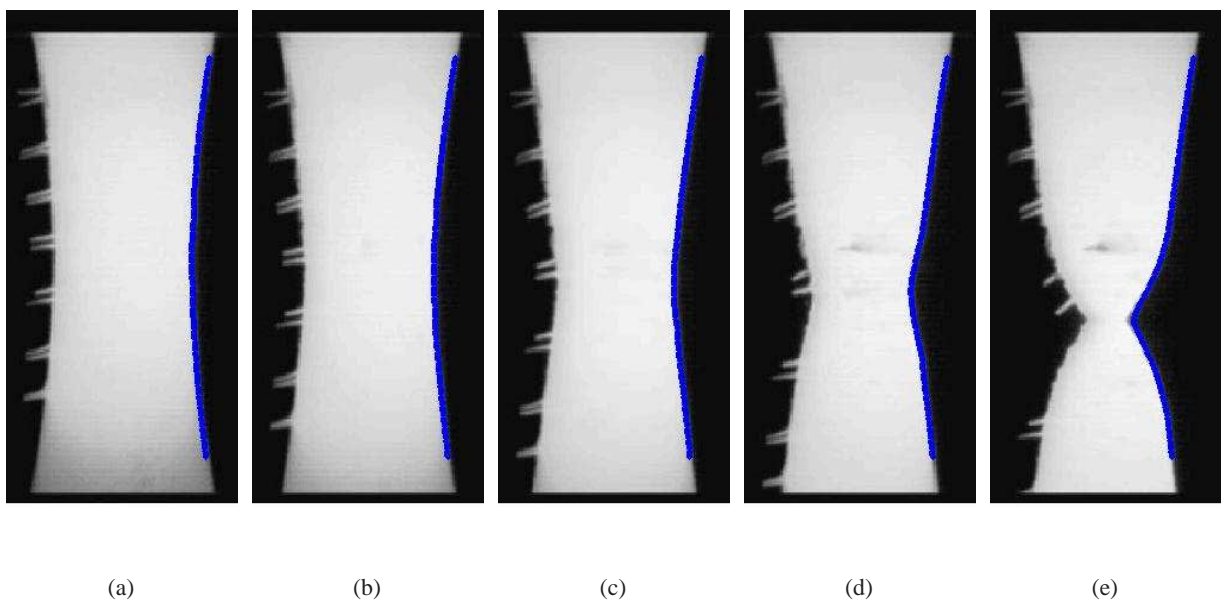


FIGURE 5 – Contours d'une éprouvette en traction à haute température détectés pour 5 images successives.

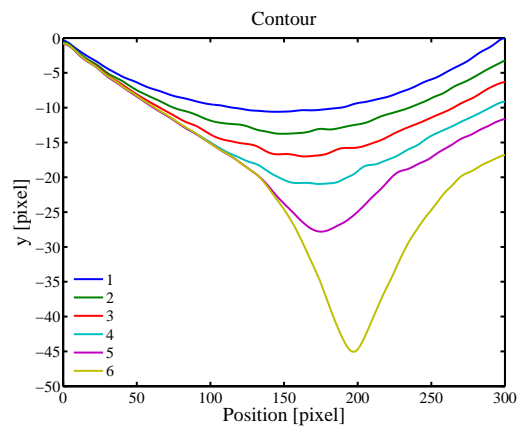


FIGURE 6 – Comparaison des contours détectés pour les différentes images.

4 Conclusion

Dans cette contribution on propose une méthode de mesure de forme basée sur la corrélation d'images et utilisant les technologies NURBS. Il s'agit d'ajuster une forme décrite par des NURBS de manière à assurer une corrélation entre l'image réelle de la forme et une image virtuelle de cette forme. Comme pour les techniques de corrélation, on montre que les précisions atteintes sur un cas artificiel sont largement sub-pixel. De plus, les NURBS autorisent des descriptions riches en degré d'interpolation et en degré de continuité. Ceci permet de mesurer des formes complexes comme illustré dans les deux exemples proposés.

Références

- [1] Auricchio, F., Beirão da Veiga, L., Buffa, A., Lovadina, C., Reali, A., Sangalli, G. 2007 A fully locking-free isogeometric approach for plane linear elasticity problems : a strain function formulation. *Comp. Meth. App. Mech. Eng.* **197** 160-172
- [2] Bazilevs, Y., Calo, V.M., Cottrell, J.A., Hughes, T.J.R., Reali, A., Scovazzi, G. 2007 Variational multiscale residual-based turbulence modeling for large eddy simulation of incompressible flows. *Comp. Meth. App. Mech. Eng.* **197** 173-201
- [3] Black, T., Belytschko, T. 1999 Elastic crack growth in finite elements with minimal remeshing. *Int. J. Num. Meth. Eng.* **45** 601-620
- [4] Elguedj, T., Bazilevs, Y., Calo, V.M., Hughes, T.J.R. 2008 B-bar and F-bar projection methods for nearly incompressible linear and non-linear elasticity and plasticity based on higher-order NURBS elements. *Comp. Meth. App. Mech. Eng.* **197** 2732-2762
- [5] Elguedj, T., Réthoré, J., Buteri, A. 2011 Isogeometric analysis for strain field measurements. *Comp. Meth. App. Mech. Eng.* **200** 40-56
- [6] François, M., Semin, B., Auradou, H. 2010 Identification of the shape of curvilinear beams and fibers. *App. Mech. Mat.* **24-25** 359-364
- [7] Semin, B., Auradou, H., François, M. Accurate shape measurement of elongated objects proposé dans *Patt. Recog.*
- [8] Hughes, T.J.R., Cottrell, J.A., Bazilevs, Y. 2005 Isogeometric analysis : CAD, finite elements, NURBS, exact geometry and mesh refinement. *Comp. Meth. App. Mech. Eng.* **194** 4135-4195
- [9] Hughes, T.J.R., Reali, A., Sangalli, G. 2008 Duality and unified analysis of discrete approximations in structural dynamics and wave propagation : Comparison of p-method finite elements with k-method NURBS. *Comp. Meth. App. Mech. Eng.* **197** 4104-4124
- [10] Moës, N., Dolbow, J., Belytschko, T. 1999 A finite element method for crack growth without remeshing. *Int. J. Num. Meth. Eng.* **46** 133-150
- [11] Réthoré, J., Elguedj, T., Simon, P., Coret, M. 2009 On the use of nurbs functions for displacement derivatives measurement by digital image correlation. *Exp. Mech.* **50** 1099-1116
- [12] Sethian J.A. 1996 *Level set methods and fast marching methods : evolving interfaces in computational geometry, fluid mechanics, computer vision, and material science*. Cambridge University Press, Cambridge.