

TP 6, Mécanique Expérimentale 2007-2008

Mesure de champs par corrélation d'images numériques d'une éprouvette en traction avec concentrateur de contraintes

Matériel disponible: Banc de traction pour éprouvette en élastomère, caméra CCD Philips, Ordinateur, Logiciels : Matlab 7.1, logiciel de corrélation d'images numériques **CORINA** (application Matlab réalisée au labo de Photomécanique - INSA Rouen), logiciel d'acquisition d'images numériques **ANIMAL** (application Matlab réalisée au labo de Photomécanique - INSA Rouen).

Notes concernant l'utilisation des deux logiciels

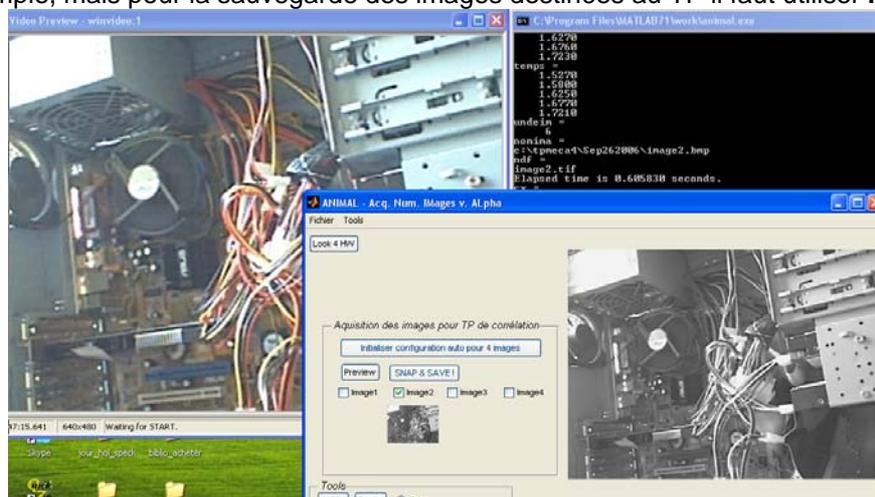
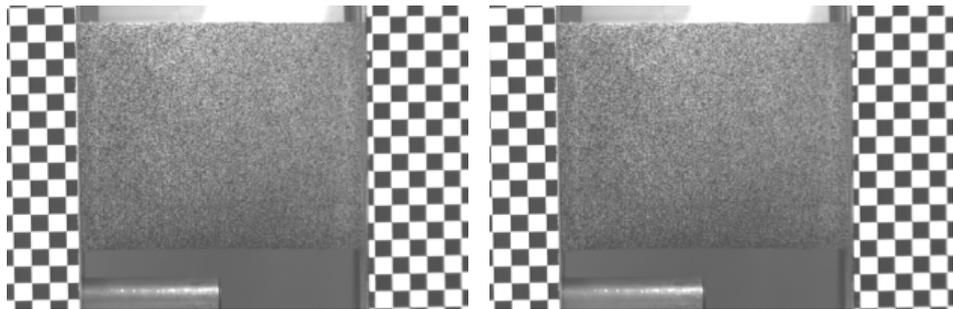
- Les deux logiciels sont des versions que je continue à développer, d'où la possibilité des changements en cours de semestre;
- Ils sont exclusivement destinés à fonctionner sur l'ordinateur installé dans la salle de TP de Mécanique Expérimentale du département de Mécanique de l'INSA de Rouen.
- Les deux logiciels utilisent beaucoup de ressources de l'ordinateur; il est donc conseillé d'attendre patiemment, sans cliquer dans les différentes fenêtres avant la fin des calculs plus longs. Dans le cas contraire il y a risque d'erreurs et parfois on doit même quitter et relancer l'application en perdant les calculs déjà faits.

1) Acquisition de quelques images au cours d'un essai de traction d'une éprouvette en matériau composite élastomère, avec et sans concentrateur de contraintes; on doit utiliser le logiciel d'acquisition ANIMAL (Acquisition Numérique d'Images v. ALpha) – réalisé en Matlab 7.n

Vous pouvez aussi examiner, pour comparer les deux environnements de développement, le logiciel d'acquisition USBACQIMA (réalisé en LabView 8)

ANIMAL: Lors de chaque TP le logiciel crée automatiquement un répertoire dans lequel il peut sauvegarder un maximum de 4 images appelées (d'office) ima1...ima4.bmp, qui seront utilisées par le logiciel de corrélation CORINA. Il est recommandé que ima1 corresponde à l'éprouvette à l'état initial, et les autres à des sollicitations de plus en plus grandes. Attention au limiteur de déplacement situé derrière l'éprouvette. Les meilleurs résultats sont obtenus lorsque le déplacement maximum entre deux images successives est compris entre 10 et 15 pixels.

Prenez toutes les mesures (réglages de la clarté, de la position, de l'éclairage, etc) pour obtenir des images de bonne qualité, avec l'objet encadré à peu près comme dans les images présentées plus haut. En particulier vérifiez attentivement si la position de la caméra est telle que le côté supérieur de l'éprouvette soit horizontal. Pour cette vérification vous pouvez aussi utiliser le module d'acquisition TWAIN de Paint Shop Pro, c'est très simple, mais pour la sauvegarde des images destinées au TP il faut utiliser l'**Animal** (!).



Merci de me signaler à la fin de votre compte-rendu une description des bugs que vous avez pu constater dans les deux logiciels; cela va m'aider à les améliorer en cours de route. Pareil, concernant le dispositif d'essai

2) Prise en mains du logiciel CORINA (CORrélation d'Images Numériques – v. Alpha) installé sur l'ordinateur Photomeca6 dans la salle de TP.

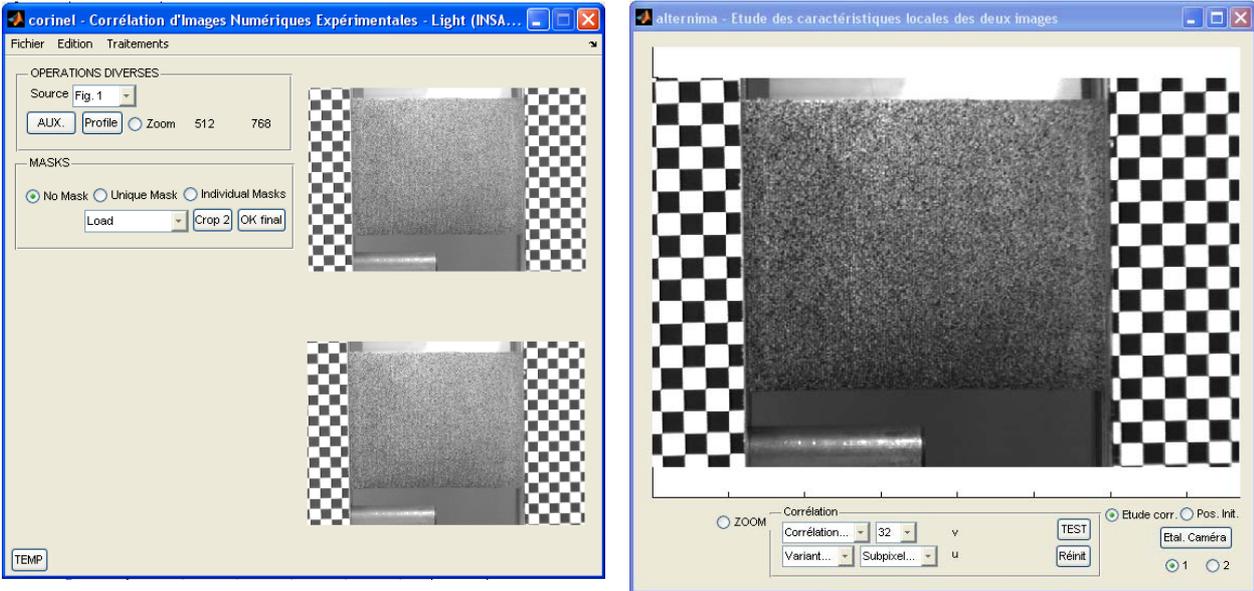
En F1

Fichier / Ouvrir 2 images / ... Pour ouvrir dans l'ordre les deux images à analyser

Ensuite : Pushbutton AUX – ouvre une nouvelle fenêtre (F2) nommée "alternima"

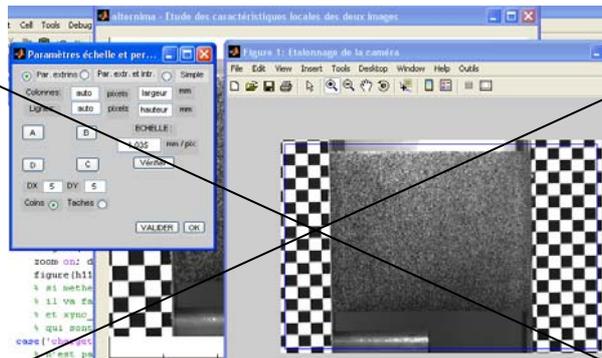
En F2, en actionnant plusieurs fois de suite sur l'un des radiobuttons "1" ou "2" on peut déjà se faire une idée sur les différences entre les deux images et sur les parties fixes (ou presque fixes) des deux images, etc.

Pushbutton "Etal. Caméra" ouvre une nouvelle interface graphique F3 ("Paramètres échelle et perspective" et une image de l'objet (dans la fenêtre F4 "Etalonnage de la caméra").



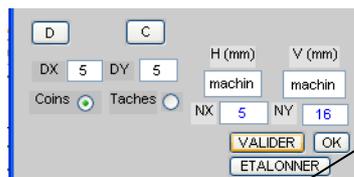
LES OPERATIONS DECRITES DANS LE PARAGRAPHE SUIVANT ONT ETE ELIMINEES

2.1 Familiarisation avec quelques éléments de vision par ordinateur: Etalonnage de la caméra, correction des distorsions et rectification de la perspective

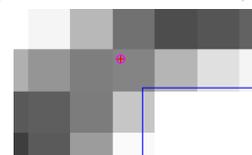


On choisit en F3 le radiobutton "Par. Extr. et Intr." (Paramètres extrinsèques et intrinsèques). En F4 on fait un zoom sur un coin situé entre 4 carrés, dans la partie NW (à gauche et en haut) des carrés les plus nombreux. En F3 on appuie sur le pushbutton "A" puis en F4 on clique 1 fois près (à maximum 2-3 pixels) du coin visé. On procède de la même manière pour faire le choix initial des autres coins (B, C et D) d'un rectangle aussi grand que possible.

On introduit DX et DY (les dimensions des carrés, mesurés En F3, avec le radiobutton "Coins" activé, on clique sur très distorsionnée et si l'on a bien choisi les 4 coins, le carrés sur l'horizontale (NX) et sur la verticale (NY) et EditText respectifs. En faisant un zoom autour de l'un des C ou D) on peut constater que les points en précision sous-pixel) déterminés par Corina sont en général différents de ceux introduits à la main (qui sont les coins du rectangle en bleu).



sur la manip). "Valider". Si l'image n'est pas logiciel compte le nombre de l'affiche en bleu dans les deux coins initialement choisis (A, B,



Dans le cas où les nombres apparaissent en rouge, il convient de les réintroduire à la main après leur comptage visuel. Si les coins marqués en rouge sur F4 ne correspondent pas aux coins des carrés intermédiaires, on ferme les figures F4 et F3 et on reprend 2.1.

On appuie sur "ETALONNER" en lançant ainsi une procédure d'optimisation qui utilise tous les coins préalablement trouvés pour trouver les paramètres extrinsèques (la matrice de rotation et le vecteur de translation qui lient le repère de la caméra et le repère du

monde, dans lequel se trouve la manip). Par la même occasion on trouve les paramètres intrinsèques de la caméra et de l'objectif (distances focales, distorsions, position du centre optique). Ces deux familles de paramètres permettent l'établissement des relations entre un pixel (I, J) de l'image numérique et le point (X, Y, Z) représenté; elles permettent aussi d'éliminer les distorsions dues à l'objectif et de rectifier l'image, en éliminant les effets de la perspective. Ce sont des éléments fondamentaux dans l'imagerie 3-D et la vision par ordinateur.

On ferme F4 et F3. En F2, on sélectionne le radiobutton "Pos. Init". On joue 3-4 fois avec les radiobuttons "1" ou "2" pour revoir quelle est la partie qui devrait être considérée comme fixe (normalement, celle qui est couverte de carrés dans la partie droite de l'image).

2.1 Elimination d'un éventuel décalage accidentel (translations suivant x et y, mais pas des rotations !) entre les deux images

Le but est de minimiser l'éventuel décalage en traduisant la première image d'un nombre entiers de pixels en direction horizontale et verticale.



On clique sur le pushbutton "Nouveau point", puis sur un point dans la zone censée être fixe. Le point doit être relativement proche (pas plus de 4-5 pixels de distance) d'un coin.

L'écart entre le point respectif sur les deux images apparaît affiché. S'il correspond à l'impression



initiale (d'habitude (0, 0) on fait "Accepter" et il apparaîtra en bleu. On répète "Nouveau point" et l'on choisit ensuite un autre point, puis "Accepter" (ou non, cas dans lequel le point respectif reste en rouge !). Les valeurs moyennes des décalages apparaissent affichés (colonne à droite du pushbutton "OK"), ce qui facilite la décision concernant les points suivants. Après un certain nombre de points (5 – 10) si les résultats restent

cohérents, on arrête la procédure en faisant "OK". Les points disparaissent et l'image 1 est éventuellement décalée de la moyenne (arrondie au pixel) de l'écart ainsi déterminé. Le résultat est transmis aussi à Corina en F1.

2.2 Etalonnage spatial

En F1, dans le menu "Etalonnage spatial", on fait "Load étalonnage simple" et on charge le fichier d'étalonnage mis à la disposition (comap.map) dans le répertoire "c:\tpmeca4". Une fois chargé ce fichier, on fait "Appliquer étalonnage simple", ce qui permet d'appliquer les transformations spatiales convenable pour réaliser le passage de l'espace "pixels" dans un espace métrique (mm).

2.3 Introduction dans la corrélation d'images numériques. Exploration comparative de quelques modalités de corrélation (amplitude, phase) et de diverses variantes d'interpolation sous-pixel.

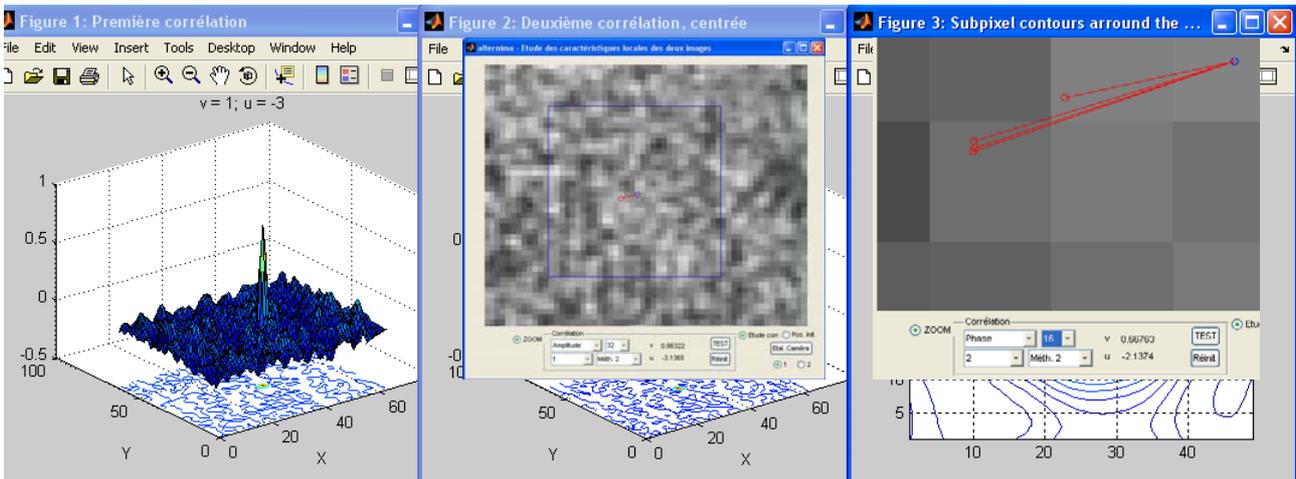
Sélectionnez en F2 le radiobutton "Etude corr."

Cette fois on va comparer les différents types de corrélation (d'intensité ou de phase), chaque type avec plusieurs options (variantes) et modalités d'interpolation au niveau sous-pixel pour obtenir des résultats précis. La comparaison se fera en cliquant sur différents points placés sur l'éprouvette, dans la zone qui présente une texture aléatoire (mouchetis).

On peut choisir pour commencer "Corrélation d'amplitude", "Variant 1", "Subpixel: Méth. 2", "32". On appuie sur "TEST" et on clique sur un point.

Au cours des calculs, trois fenêtres apparaissent:

- Figure 1: Première corrélation. Elle représente la corrélation entre la zone de dimensions 32X32 pixels située sur l'image 1 et la zone occupant la même position sur l'image 2. On constate (en tournant en 3-d) que ce premier pic en général n'est pas centré, il est décalé de U et V entre les deux images.
- Figure 2: Deuxième corrélation, centrée. Elle représente la corrélation entre la même zone de la figure 1 et une zone décalée de (U, V) sur la deuxième image. En général, le pic de corrélation est parfaitement centré (nouvelles valeurs U=0, V=0).
- Figure 3: Subpixel contours around the correlation pic. Ce sont les courbes de niveau interpolées autour du pic de la deuxième corrélation.



Dans la figure F2, le résultat apparaît affiché, et sur la figure on peut voir le point sélectionné sur l'image 1 et la zone utilisée (en bleu), et en rouge le déplacement calculé et la position finale sur l'image 2. En cliquant alternativement sur "1" ou "2" on peut apprécier visuellement le résultat du calcul de corrélation.

On peut répéter cette opération pour plusieurs points, en différentes zones de l'éprouvette (à éviter les points situés trop près, à moins de 16 pixels des bords). On peut examiner les résultats obtenus en choisissant une autre dimension de la zone utilisée. Tirez les conclusions qui s'imposent pour le choix de la méthode qui sera utilisée pour la mesure du champ de déplacements.

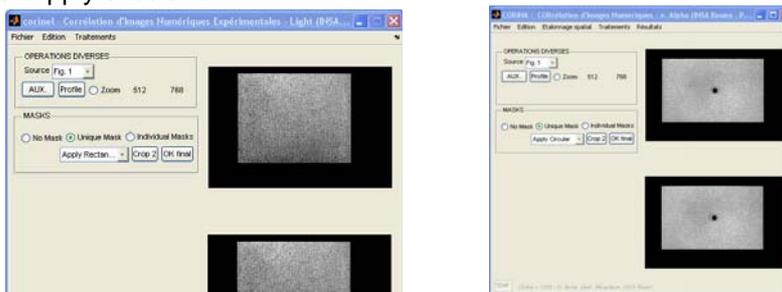
Si le résultat de la deuxième corrélation n'est pas (0, 0) l'interpolation sous-pixel n'est pas effectuée, il faut choisir un autre point, ou une autre méthode...

2.4 Construction d'un masque pour séparer l'objet concerné par la mesure du reste du paysage montré dans les images

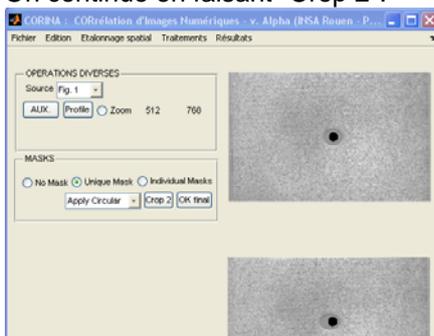
Fermez la fenêtre F2 et les Figures 1, 2 et 3. La seule fenêtre qui reste ouverte est celle de Corina.

On va construire un masque rectangulaire, le même pour les deux images, pour isoler l'objet. On sélectionne le radiobutton "Unique Mask". Dans le popuvmenu "Load", on sélectionne "Create Rectangular". Dans la nouvelle fenêtre, on agit sur les 4 sliders pour déplacer les 2 curseurs horizontaux et les deux curseurs verticaux jusqu'aux limites de l'objet. Les 4 curseurs définissent ainsi 9 zones de l'image. On clique dans le groupe de pushbuttons marqués "X" sur ceux qui correspondent aux zones qu'on veut éliminer. Ensuite, en Corina on sélectionne "Apply rectangular".

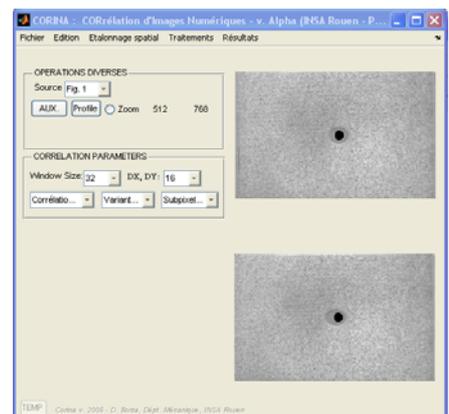
Si l'éprouvette a un trou, on peut l'éliminer en continuant avec "Create circular ext". Dans la nouvelle fenêtre on commence par faire "Cercle" ensuite on peut régler le diamètre et la position du cercle. Si l'on veut éliminer la zone circulaire, on clique sur n'importe quel des pushbuttons marqués "X". Ensuite, en Corina on sélectionne "Apply circular".



On continue en faisant "Crop 2".



Enfin, on termine le masque et on valide les résultats avec "OK final". Cela permet l'apparition d'un panneau avec les réglages des paramètres de l'opération de corrélation (pour plusieurs zones) entre les deux images. C'est cette opération qui permettra l'estimation du champ de déplacements. On sélectionne la méthode de corrélation voulue. Si l'on prend pour "Window Size" 32, alors il est recommandé de choisir DX, DY: 16 (donc deux zones adjacentes de corrélation vont se superposer à 50 %).

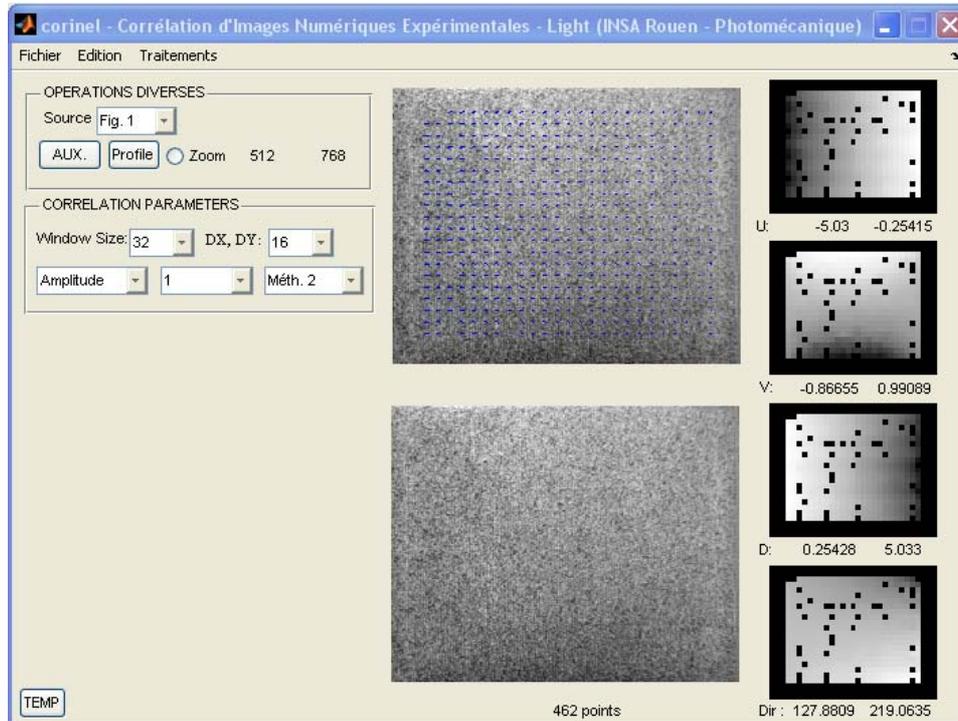


2.5 Corrélation des deux images représentant l'objet dans les deux états (de référence et déformé)

On lance la corrélation dans le menu "Traitements", "Corrélation images".

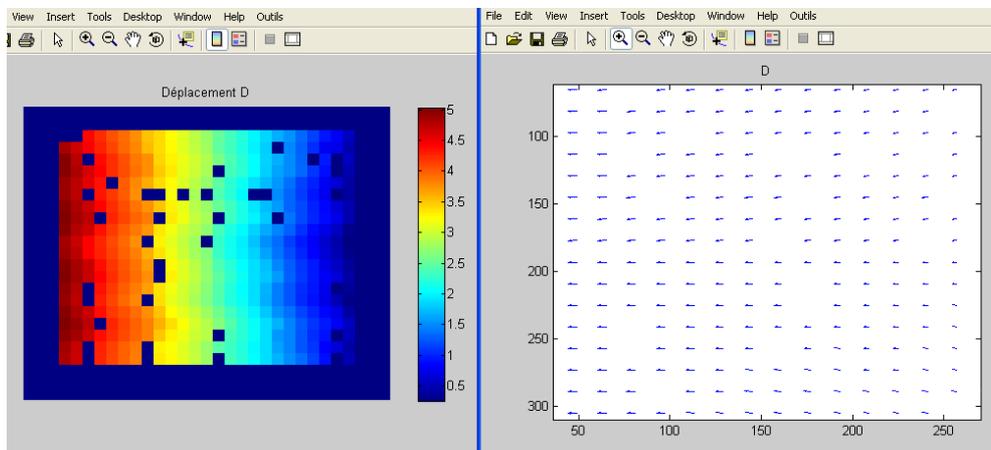
ATTENTION: En fonction des dimensions des images et des options de calcul sélectionnées, les calculs peuvent être assez longs; Il est fortement conseillé de ne cliquer pendant leur durée (signalée par le texte en rouge "WAIT...") dans aucune fenêtre, car cela risquerait de compromettre les calculs, le stockage interne des résultats et les représentations graphiques, et il faudra dans ce cas tout recommencer !).

Lorsque le calcul est fini, les champs de déplacements "U" (en direction horizontale), "V" (en direction verticale), "D" (dans le plan), et " Φ " (la direction du déplacement D) sont affichés dans la fenêtre F1 (en axes3...axes6). Certaines valeurs sont des NaN; le nombre total de "points" de mesure est affiché dans la partie inférieure de la fenêtre.



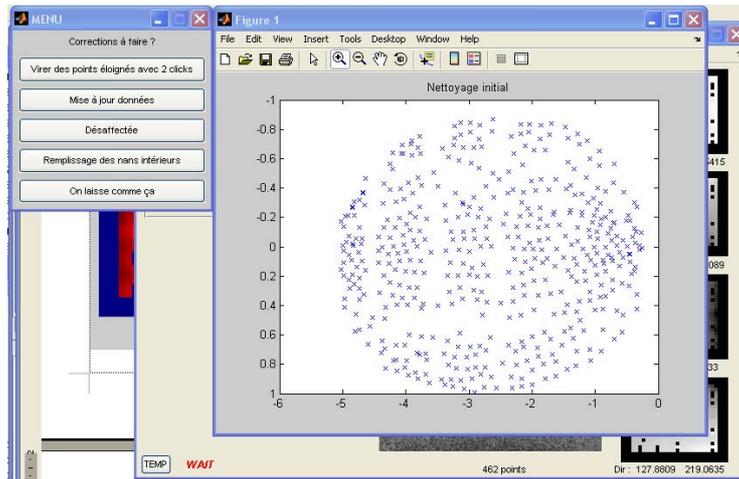
Ce nombre peut être considéré comme le nombre de rosettes de 2 jauges extensométriques ayant effectué les mesures: ici il est de 462; les dimensions d'une rosette correspondent à Window Size (32x32 pixels); elles sont distribuées sur toute la surface de la pièce et se chevauchent partiellement (si DX a été choisi la moitié de Window Size).

Chacun des champs calculés peut être sauvé et / ou examiné en le sélectionnant d'abord à l'aide du popupmenu "Source", puis à l'aide du menu "Fichier" respectivement "Edition" – Profile dynamique ou Figure Extérieure.

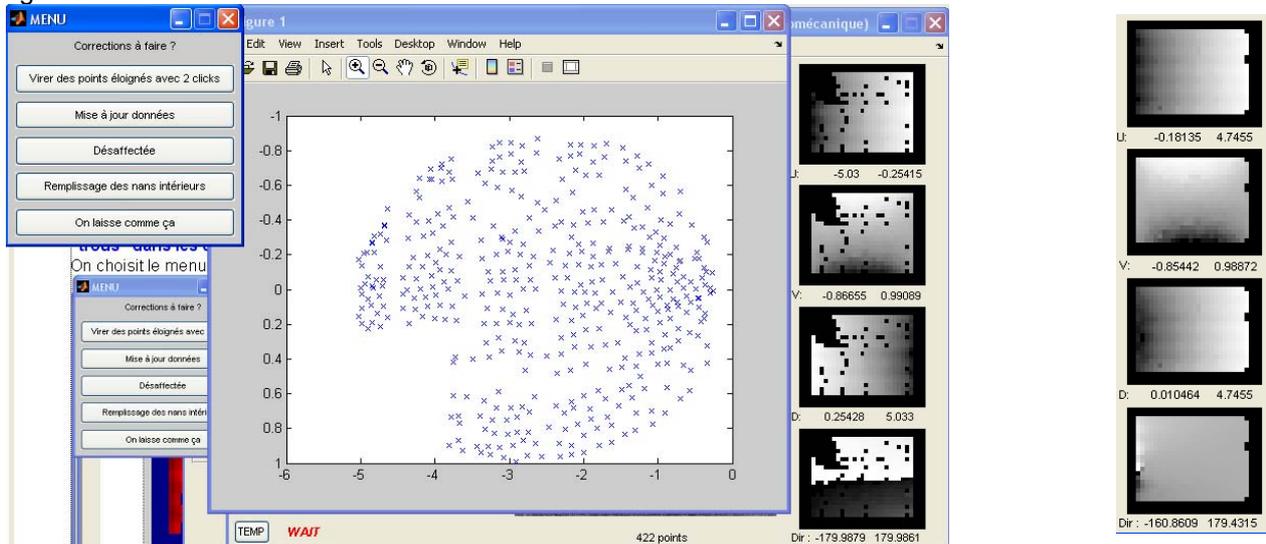


2.6 Post-traitement des données: Elimination des points aberrants, remplissage des "trous" dans les champs de données

On choisit le menu "Traitements", "Filtrage dans le plan UV".



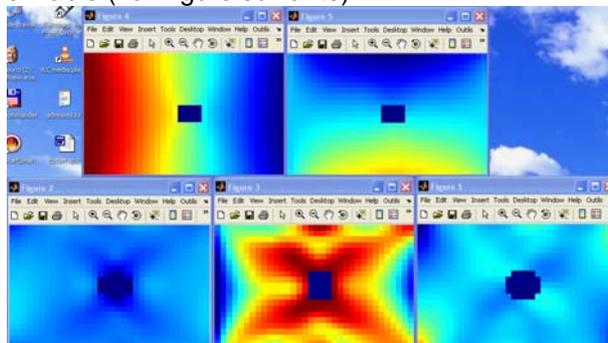
Dans le cas présenté, il n'y a pas de points éloignés à virer, mais l'effet d'une telle action (en cliquant deux fois pour définir la diagonale d'un rectangle contenant les points qui doivent être éliminés) est visible dans la figure suivante.



Il faut ensuite faire "Mise à jour données". On peut continuer en faisant (une ou plusieurs fois) "Remplissage des nans intérieurs" et ensuite "Mise à jour données". On termine avec "On laisse comme ça". Les 4 images ci-dessus à droite, montrent le résultat.

Parfois les interpolations des données manquantes situées vers les bords de la zone de calcul produisent des résultats éloignés de la réalité, qu'on peut éliminer en utilisant encore une fois le menu "Traitements", "Filtrage dans le plan UV", "Virer des points éloignés", "Mise à jour données".

Vous avez aussi la possibilité d'appliquer un filtrage de type "Gridfit" qui produit un champ de déplacements interpolé, de haute qualité, dérivable (voir figure suivante).



Traitez les deux points suivants sur la base des résultats fournis par Corina :

- 2.6 Analyse et interprétation du nombre, des dimensions et des positions des jauges extensométriques équivalentes à la mesure de champs optique.
- 2.7 Analyse et interprétation des résultats – estimation des déformations spécifiques, caractéristiques de ce type de mesures, etc. Conclusions concernant ce type de mesures. Conclusions concernant l'essai mécanique.
- 2.8 Si possible, comparaison avec des résultats obtenus à partir d'un modèle numérique