

Mecapix - Une application web pour l'apprentissage de la cinématique par les images

G. Marckmann¹, M. Coret¹

¹ GeM - NU/ECN/CNRS-UMR6183, gilles.marckmann@ec-nantes.fr; michel.coret@ec-nantes.fr

Résumé —

Mécapix est une application web à but pédagogique développée avec le framework Django. L'objectif de Mecapix est l'apprentissage de la cinématique basée sur l'analyse de films de solides rigides en mouvements ou d'images de solides déformables dans plusieurs configurations. Les modules d'analyse reposent sur des algorithmes de tracking et de corrélation d'images, ils permettent également de qualifier le système optique par sa calibration et son bruit intrinsèque. Ce logiciel permet aussi de découvrir la corrélation d'images et de tester les paramètres principaux de la méthode.

Mots clés — application web, cinématique des solides rigides et déformables, DIC.

1 Objectifs pédagogiques de Mecapix

La cinématique est l'étude des mouvements, et l'étudiant en physique, ou plus spécifiquement en mécanique, apprend cette discipline durant plusieurs années. La cinématique du point et des solides rigides est étudiée en début de licence et la cinématique des milieux continus en fin de licence et en master (ou en cours du cycle ingénieur). Aujourd'hui encore, une part importante de l'apprentissage de la cinématique passe par des cours et des travaux dirigés où le mouvement est figé sur une feuille ou un tableau. L'étudiant est alors face à l'apprentissage contradictoire de la cinématique immobile. Il est donc aujourd'hui crucial de permettre aux étudiants de tous niveaux de faire des analyses cinématiques chez eux, en TD ou en TP à partir d'images ou de films, le plus simplement possible. Il faut pour cela disposer d'imageurs et de logiciels d'analyse facilement accessibles et adaptés au niveau d'étude.

Il n'est pas rare aujourd'hui de posséder plusieurs caméras sur son smartphone, sa tablette ou son ordinateur, si bien que l'acquisition d'images n'est pas un point bloquant. Pour des travaux pratiques où les enseignants préfèrent disposer de caméras fixes, de simples webcam coûtant moins de 50€ suffisent en général. Il reste la question du logiciel d'analyse qui doit être simple d'utilisation, adapté au niveau des étudiants et fonctionner comme une application web qui ne nécessite pas d'installation. Le logiciel Tracker Online [1] répond partiellement au cahier des charges car il est destiné à l'analyse de la cinématique du point mais ne propose pas de module de corrélation d'images. C'est pour ces raisons que nous avons développé le logiciel Mecapix qui est décrit en suivant.

2 Architecture de Mecapix

Mécapix [2] est une application web développée à l'aide du framework Django [3]; il est disponible à l'adresse <https://mecapix.ec-nantes.fr/> (l'ordinateur doit être connecté à internet via le réseau RENA-TER).

Django est un framework web open source écrit en Python qui vise à simplifier le développement par la réutilisation de code. Dans le cas présent, de nombreuses fonctionnalités graphiques ou de simulation numériques reposent sur des modules Python existants. Ainsi, Mecapix utilise les bibliothèques standards Numpy et Matplotlib et la bibliothèque développée pour la vision par ordinateur OpenCV [4]. Concernant plus spécifiquement la corrélation d'images, les modules Pydic [5] (corrélation locale), et Pyxel-DIC [6] (corrélation globale) ont été intégrés. Un autre module très simple de corrélation a été développé avec l'aide de Julien Réthoré. Enfin, pour que les étudiants puissent accéder aisément aux outils d'analyses dont ils ont besoin, Mecapix propose des modules spécifiques aux fonctionnalités limitées (fig. 1). Ces

modules sont décrits dans la partie suivante.

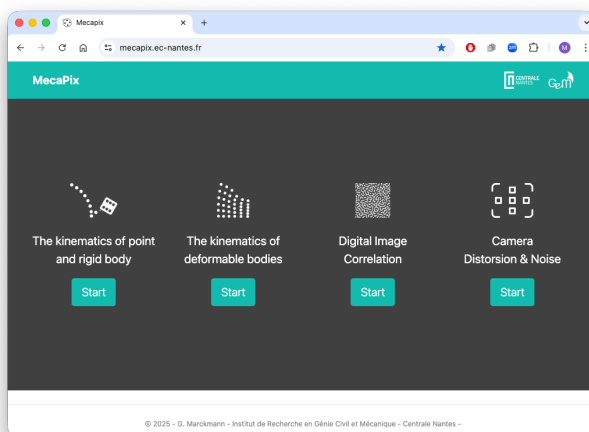


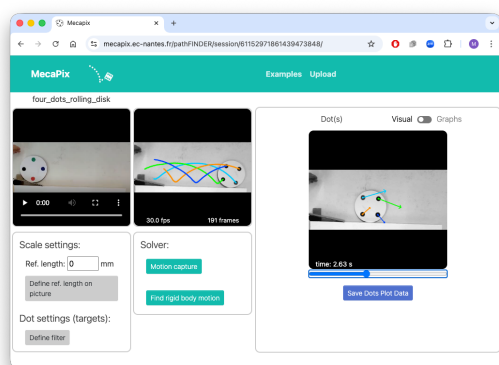
FIGURE 1 – Les quatre modules de Mecipix

3 Présentation des modules de Mecipix

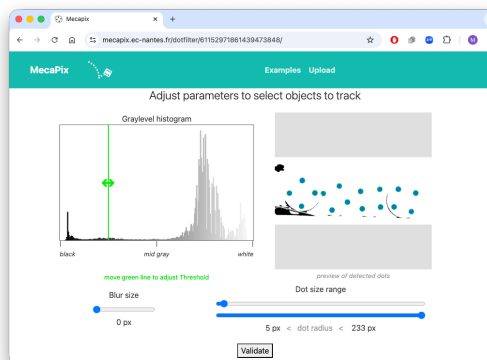
3.1 Module *Kinematics of point and rigid body*

Le module *Kinematics of point and rigid body* est dédié à l’analyse cinématique de mouvements plans de points ou de solides rigides (fig. 2a). Ce module exploite des films dans lesquels des masses ponctuelles ou des solides sont marqués de points noirs sur des fonds unis. La reconnaissance des points étant basée sur une binarisation des images, le seuillage de l’image et la taille recherchée des points sont des paramètres accessibles avec Mecipix (fig. 2b).

Dans tous les cas, ce module permet de trouver automatiquement le vecteur position et le vecteur vitesse des différents points. Si l’on observe un solide rigide, le logiciel permet aussi de calculer automatiquement le vecteur position du centre de gravité des points, ainsi que son vecteur vitesse et son vecteur rotation. Toutes ses données sont visualisées dans l’interface et il est possible de sauvegarder les résultats dans un fichier au format csv.



(a) Module de cinématique du point et des solides rigides



(b) Fenêtre d’ajustement des paramètres

3.2 Module *Kinematics of deformable bodies*

Le module *Kinematics of deformable bodies* est destiné à l’étude des déformations d’un solide. Ce module repose sur une série d’images d’un solide marqué de points contrastés et permet de trouver la position des points (fig. 3). Si la camera de l’utilisateur est reconnue par son ordinateur, Mecipix permet

d'acquérir les images, sinon, il faut les uploader. Le calcul fournit à l'utilisateur le champ de déplacements des points ainsi que le champ de déformation basé sur une interpolation linéaire des déplacements. Ce module fonctionne avec un grand nombre de points mais aussi quelques unités. Ainsi, le suivi de 2 points permet par exemple de créer un extensomètre vidéo.

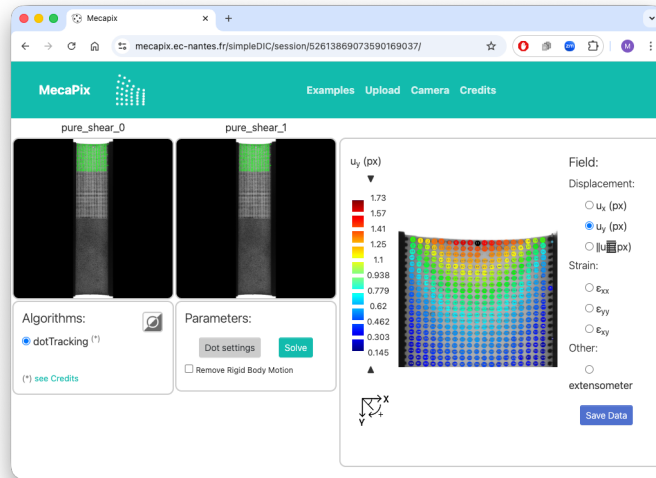
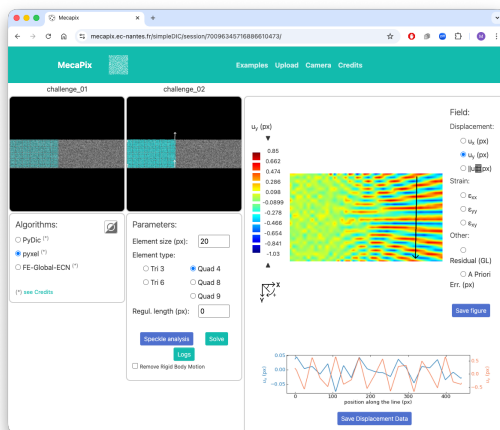


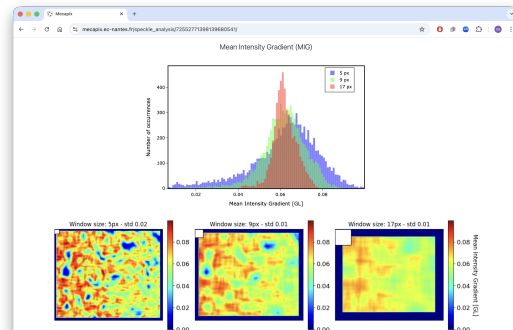
FIGURE 3 – Module de cinématique des solides déformables à l'aide de suivi de point

3.3 Module *Digital Image Correlation*

Le module *Digital Image Correlation* permet de mesurer le champ de déplacement plan d'un solide par la méthode de corrélation d'images locale ou globale selon le choix de l'utilisateur. Pour cela, l'utilisateur fournit 2 images d'un solide dans 2 configurations différentes (fig. 4a). Un module d'analyse du mouchetis permet de tester certaines caractéristiques comme la densité ou le Mean Intensity Gradient (fig. 4b). Les paramètres principaux des méthodes de corrélation d'images sont disponibles. L'utilisateur peut définir la taille du subset et son espacement pour la méthode locale [5], la taille et le type d'élément fini ainsi que la longueur de régularisation pour la méthode globale [6]. Les résultats du calcul de corrélation sont les champs de déplacement, de déformation et de résidu. Certaines extractions très simples peuvent être effectuées comme le tracé des déplacements le long d'une ligne (fig. 4a) ou le calcul des déformations moyennes et principales sur une zone.



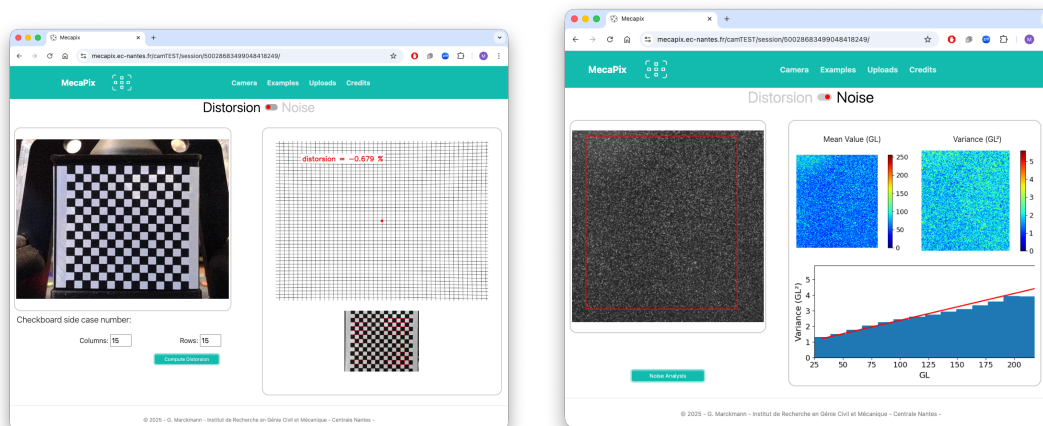
(a) Module DIC



(b) Analyse du mouchetis

3.4 Module *Camera distortion and noise*

Le dernier module est un module connexe à la cinématique par les images et propose de qualifier l'image à travers sa distorsion et son bruit. Ces deux quantités sont intéressantes car elles impactent directement la qualité du résultat de la corrélation d'images. On notera cependant que ces fonctionnalités ne donnent qu'un aperçu des analyses qu'il faudrait réaliser pour obtenir une qualité métrologique. Le calcul de distorsion est basé sur la librairie OpenCV qui permet d'identifier le modèle de Brown-Conrady à partir d'une image d'un échiquier à $n \times m$ cases (fig. 5a). Le résultat est un indicateur de distorsion globale appelé paramètre de distorsion. L'analyse du bruit de la caméra repose sur une série d'images d'une même surface dans des conditions identiques et consiste à calculer la variance du niveau de gris à chaque pixel (fig. 5b). Les résultats sont donnés sous plusieurs formes, des cartes de moyenne et de variances de niveau de gris sont affichés ainsi qu'un graphe représentant l'histogramme de la variance par niveau de gris.



(a) Module calibration

(b) Module bruit caméra

4 Conclusion

Mecapix est un logiciel en ligne, accessible à tout le monde, à but pédagogique et fournissant des outils d'analyse utiles pour l'apprentissage de la cinématique. Basée sur une décomposition en module simples et spécifiques, il devrait permettre aux étudiants de tous niveaux de pratiquer la cinématique à partir d'images et de films. Mecapix permet également de découvrir simplement les méthodes de corrélation d'images et les paramètres associés, mais aussi de toucher du doigt les imperfections des imageurs. Bien entendu, certaines fonctionnalités pourraient être ajoutées mais avec un peu d'imagination, beaucoup d'exercices ou de TP peuvent déjà faire appel à Mecapix !

Références

- [1] *Tracker Online*, <https://opensourcephysics.github.io/tracker-online>.
- [2] G. Marckmann, M. Coret, *Logiciel Mécapix*, <https://mecapix.ec-nantes.fr/>, accessible via RENATER.
- [3] *Django Project*, <https://www.djangoproject.com/>.
- [4] *OpenCV, Librairie OpenCV python*, <https://pypi.org/project/opencv-python/>.
- [5] D. André, *Librairie Pydic*, <https://gitlab.com/damien.andre/pydic>.
- [6] J.C. Passieux, *Librairie Pyxel-DIC*, <https://github.com/jcpassieux/pyxel>.