

## Université Gustave Eiffel

### Concours de recrutement d'un Ingénieur de Recherche en techniques expérimentales au laboratoire Navier

Examen écrit du 14 octobre 2020

Durée 3h

Les candidats rédigeront leurs réponses sous forme manuscrite sur les copies blanches fournies en précisant bien le numéro de la question concernée. Pour celles renvoyant aux schémas et tableaux donnés en annexe, ils pourront directement compléter et remplir ces derniers sur l'énoncé, et rendront les feuillets de l'annexe 3 avec leurs copies.

L'examen couvre un large spectre de compétences. Les candidats pourront être plus familiers avec certaines composantes et il leur est demandé de focaliser leur attention sur les parties correspondantes. On demande toutefois à tous les candidats de traiter les parties 1 et 2, ainsi que les questions 5.1, 6.1 et 6.2.

L'utilisation pertinente d'une calculatrice et de la règle graduée fournie est fortement recommandée pour certaines questions.

#### SOMMAIRE

1. Résumé d'un article scientifique (5 points) .....	2
2. Intégration dans l'unité de recherche (2 points) .....	2
3. Analyse de microstructures et propriétés mécaniques des matériaux (2,5 points) .....	2
4. Notions d'optique (2,5 points).....	4
5. Traitement d'image et programmation (4 points) .....	5
6. Etude de cas : Conception d'un dispositif expérimental (5 points).....	7
Annexe 1 : Article scientifique.....	13
Annexe 2 : Documentation technique de l'étude de cas.....	19
Annexe 3 : Supports de réponses à rendre avec les copies .....	25

### 1. Résumé d'un article scientifique (5 points)

Fournir un résumé en langue anglaise de l'article joint en annexe 1 en 200 mots (+/- 10%).

### 2. Intégration dans l'unité de recherche (2 points)

2.1. En quelle année a été créée l'Université Gustave Eiffel ?

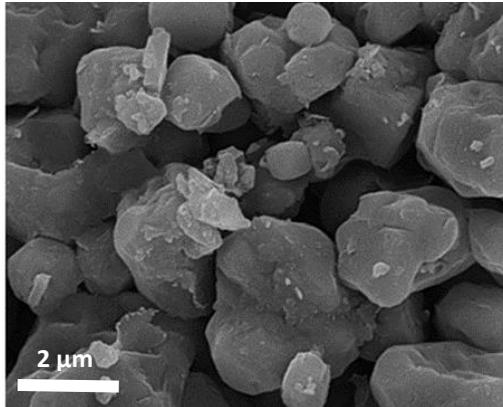
2.2. Citez les 2 établissements dont elle est issue.

2.3. Quelles sont les tutelles du laboratoire Navier ?

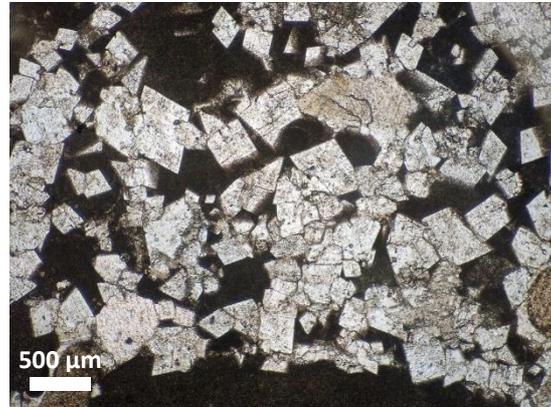
2.4. Quelle(s) bonne(s) pratique(s) proposeriez-vous d'adopter pour assurer la traçabilité des analyses expérimentales au sein de l'équipe ?

### 3. Analyse de microstructures et propriétés mécaniques des matériaux (2,5 points)

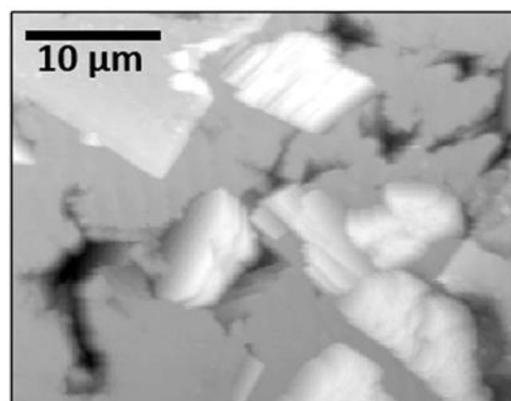
3.1. Indiquez, dans le tableau fourni en annexe 3, quel type de microscope a permis d'obtenir les images de roches carbonatées ci-dessous :



(A)

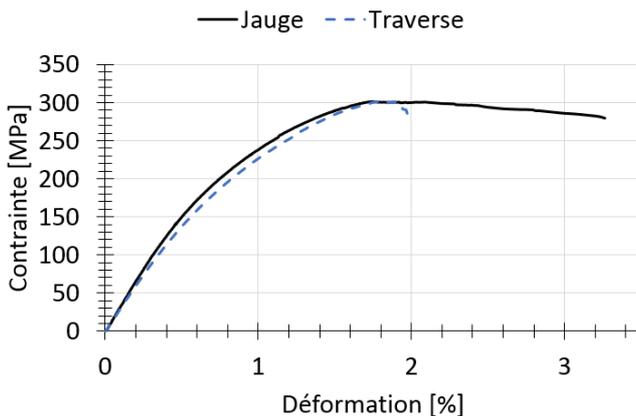


(B)

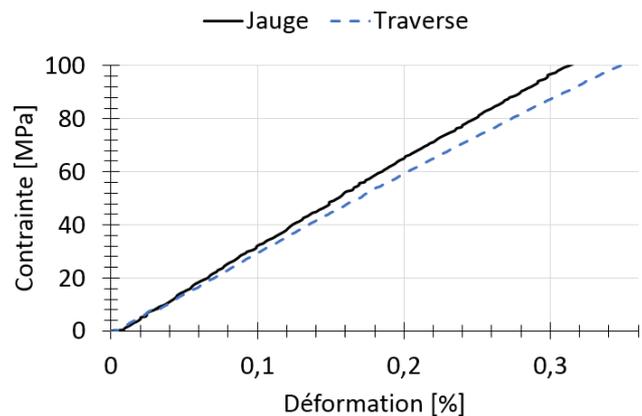


(C)

- 3.2. Des observations de la microstructure d'une éprouvette de béton, après caractérisation par essai de flexion (4x4x16 cm), doivent être effectuées au microscope optique et au microscope électronique à balayage. Quelles sont les principales opérations à effectuer pour préparer les échantillons ? Quel est le matériel nécessaire ?
- 3.3. Décrivez brièvement le principe d'un essai de nanoindentation instrumentée. Quelles sont les deux caractéristiques mécaniques qu'il permet de mesurer (classiquement) ?
- 3.4. Un essai de traction uniaxiale est effectué sur une éprouvette de matériau composite constitué d'une matrice polymère renforcée par des fibres de carbone orientées à  $\pm 30^\circ$ . La déformation axiale de l'éprouvette est mesurée par une jauge de déformation collée au centre de l'éprouvette, ainsi que grâce au déplacement de la traverse mobile de la machine de traction. On obtient les courbes ci-dessous.
- a. Expliquez l'écart entre les deux courbes. Quelle technique de mesure de déformation est la plus fiable ? Expliquez brièvement comment procéder si seule la mesure de déplacement de la traverse est possible.



(a) Courbe de traction complète



(b) Agrandissement du début de la courbe

- b. Quel est le module de Young de l'éprouvette ?
- c. Citez et décrivez brièvement deux autres techniques expérimentales qui permettent d'estimer le module de Young d'un matériau, en précisant, pour chaque technique, quelles grandeurs doivent être mesurées et proposez les moyens de mesure associés.
- 3.5. Une presse utilise une cellule de force de 1 kN. Donnez une méthode pour vérifier que le signal de force mesuré est correct et avec quelle précision.

#### 4. Notions d'optique (2,5 points)

4.1. Donnez approximativement la gamme des longueurs d'onde dans l'air du spectre électromagnétique visible par l'œil humain. Indiquez également, en électrons-volts (eV), l'énergie des photons associés à ces rayonnements.

On rappelle la valeur de la constante de Planck  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  J.s, la célérité de la lumière dans le vide  $c = 300\,000$  km/s et la charge de l'électron :  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C

4.2. Le schéma en annexe 3 représente un dispositif optique centré dans l'approximation des lentilles minces. La distance focale de la lentille de centre C est  $CF = CF' = f$ .

- Construire géométriquement l'image  $A'B'$  de l'objet AB. Quel est le grandissement optique  $g$  du dispositif ? Exprimer  $g$  en fonction de  $f$  et de la distance  $t = CA'$ .
- On enregistre l'image avec le capteur d'une caméra numérique placée de sorte que l'objet AB soit net. Le capteur présente une définition de  $2048 \times 2048$  pixels, avec des pixels carrés de  $7,4 \mu\text{m}$  de côté. Quelle est la dimension de la zone observée de manière nette par la caméra dans ces conditions ?

4.3. La conception de la lentille ne permet pas la transmission des rayons optiques au-delà de la section  $dd'$ .

- Tracer sur le schéma en annexe 3 (identique au schéma de la question 4.2) l'enveloppe des rayons émis par le point A.
- Définir l'ouverture numérique  $\alpha$  d'un système optique et donner sa valeur pour ce système supposé fonctionner dans l'air.

4.4. Que se passe-t-il lorsqu'on ferme le diaphragme de l'objectif d'un appareil photographique ? Cochez les cases adéquates dans le tableau en annexe 3.

4.5. La loi de Bragg joue un rôle primordial dans bon nombre de techniques expérimentales de caractérisation des matériaux. Avec des notations usuelles, elle s'écrit :

$$2d \sin(\theta) = n \lambda$$

- Précisez brièvement la signification des divers symboles dans cette relation.
- Citez trois techniques expérimentales utilisant cette relation et précisez la nature des rayonnements utilisés.

## 5. Traitement d'image et programmation (4 points)

### 5.1. Exercice de programmation :

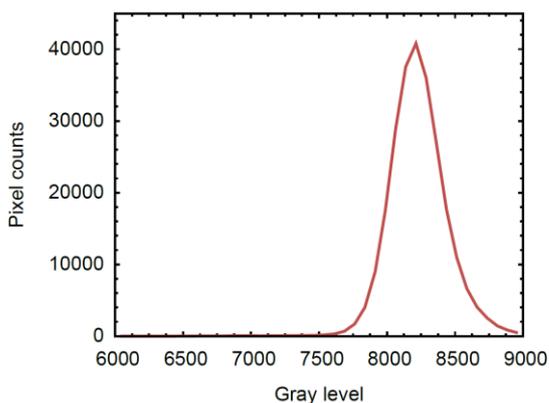
*Dans cet exercice, il vous est demandé de proposer des algorithmes pour illustrer vos connaissances générales en traitement d'image. Vous pouvez utiliser le langage de votre choix ou bien donner vos réponses en pseudo-code (pas de vocabulaire ni de convention imposée).*

On dispose d'une série de 10 fichiers (nommés image\_01.tif à image\_10.tif) représentant des images en niveau de gris de taille 500 colonnes par 400 lignes.

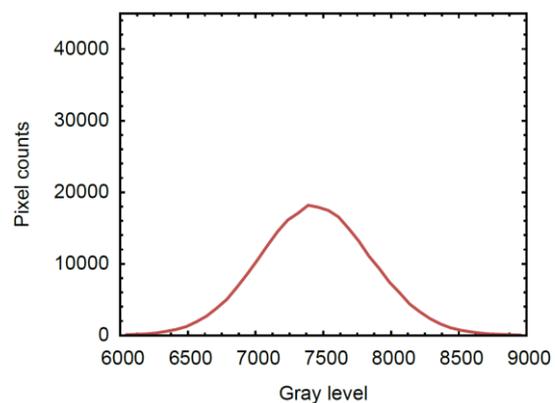
- Comment charger les images en mémoire ?
- Une fois chargées, on peut observer que le type de données est 8 bit non signé. Quels sont les niveaux de gris possible pour chaque pixel ?
- Proposez un algorithme permettant d'obtenir, pour chaque image, le niveau de gris moyen ainsi que l'histogramme des niveaux de gris que l'on affichera et que l'on stockera dans un tableau.
- Expliquez comment seuiller l'image pour obtenir une image binaire. Quelles seront les valeurs présentes dans le résultat ?
- Comment appliquer ce traitement à la série d'image complète ?

### 5.2. Quelles opérations morphologiques utiles en traitement d'image connaissez-vous ?

5.3. Deux images de la même zone d'un béton ont été acquises avec des paramètres d'acquisition différents. D'après leurs histogrammes de niveaux gris présentés ci-dessous, quelle image est la plus bruitée ? Pourquoi ?



(A)



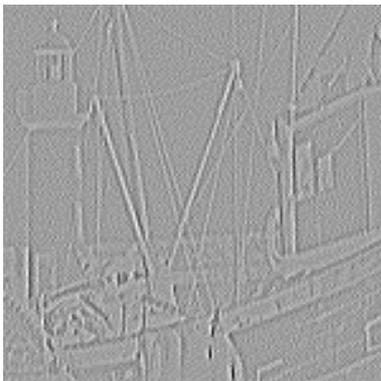
(B)

5.4. Trois filtres linéaires ont été appliqués à l'image ci-dessous. Identifiez, en annexe 3, le nom de la méthode permettant d'obtenir chacun des résultats ainsi que le noyau de convolution associé parmi les propositions listées.

Image originale :



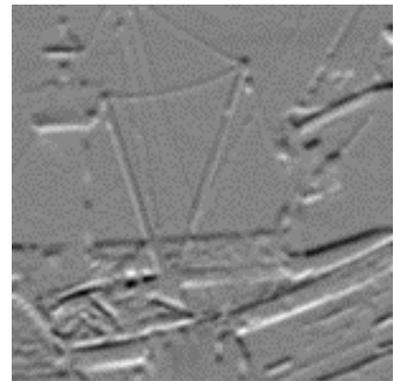
Images filtrées :



(A)



(B)



(C)

## 6. Etude de cas : Conception d'un dispositif expérimental (5 points)

L'étude envisagée ici vise à mieux comprendre, et à terme, modéliser numériquement, les phénomènes de fissuration des sols argileux hétérogènes, induits par la déformation de retrait qui accompagne la déshydratation. Dans cet esprit, on coule une argile modèle quasi homogène et isotrope sous forme pâteuse, obtenue par mélange d'une poudre d'argile naturelle tamisée et d'eau en proportion contrôlée, dans des récipients plats circulaires. Des inclusions cylindriques en PMMA sont insérées dans la pâte juste après le coulage. La perte d'eau par évaporation induit une perte de masse du système, un retrait de l'argile, et un champ de déformation hétérogène du fait des incompatibilités entre déformation de l'argile et des inclusions, qui rapidement s'accompagne de l'apparition de fissures, de leur croissance puis coalescence. Les photographies ci-dessous illustrent divers états finaux de l'expérience, avec diverses configurations géométriques (aucune inclusion, une inclusion, centrée ou décentrée, 3 ou 6 inclusions).

Le diamètre des coupelles est de 11cm, leur masse à vide d'environ 350 grammes, l'épaisseur de la couche d'argile déposée de l'ordre du centimètre. La teneur en eau (rapport masse eau/masse sèche) des échantillons évolue d'environ 170% en début d'expérience à 20% en fin d'expérience. La densité sèche de l'argile est de 2,3.



L'objectif de l'expérience est de suivre le champ de déformation en surface de ces échantillons pendant toute la durée du séchage, tout en enregistrant la perte d'eau par pesée ainsi que les conditions ambiantes de température et d'humidité. Dans une première version de l'expérience, ces conditions sont celles du laboratoire, dont la température est réglée par un système de climatisation/chauffage usuel et l'hygrométrie résulte des conditions météorologiques courantes. Le dispositif devra toutefois limiter les mouvements d'air autour de l'échantillon et l'on envisagera ainsi de disposer l'ensemble dans une boîte permettant de l'isoler des courants d'air. Dans une seconde version plus élaborée, on cherchera à imposer une hygrométrie constante. Le suivi des déformations se fera au moyen de prises d'images régulières de l'échantillon et si nécessaire de son environnement. Ces images seront ensuite traitées par corrélation d'images numériques au moyen d'un logiciel disponible au laboratoire, qui permet de traiter des séquences d'images codées au format TIF sans compression, en 8 ou 16 bits.

Dans la suite de l'exercice, on cherche à préciser le cahier des charges de l'expérience et à définir quelques choix techniques. On précise que l'on visera à limiter le coût financier de l'expérience, le budget de fonctionnement alloué au projet de recherche étant limité.

6.1. Résumez l'ensemble des fonctions que doit satisfaire le dispositif expérimental et proposez une ou plusieurs solutions techniques envisageables pour les assurer.

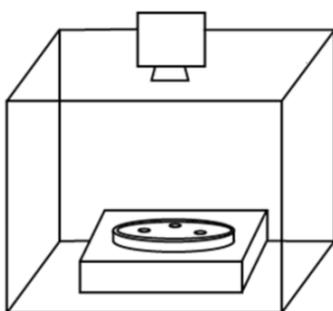
6.2. Pesée des échantillons :

On envisage de peser les échantillons avec une balance de laboratoire, en visant une incertitude de mesure meilleure que le millième de l'amplitude de la variation de masse attendue, que l'on demande d'estimer.

Une première recherche auprès d'un fournisseur conduit à deux séries de balances : KERN PCB et Precisa 321LS. Une documentation succincte est fournie en annexe 2 avec un tarif.

Discutez de la pertinence des divers modèles et indiquez votre recommandation, en la justifiant.

6.3. Corrélation d'image et choix du couple caméra-optique :



On s'oriente vers la solution (schéma ci-contre) d'une boîte fabriquée à partir de planches de bois d'une dimension intérieure d'environ 50cm x 50cm x 50cm. La balance d'une hauteur de 8cm est placée au fond et l'échantillon est posé sur son plateau. Une caméra fixée sur la face supérieure observe l'échantillon verticalement à travers une ouverture circulaire de taille adaptée à l'objectif qui sera utilisé et centrée face à l'échantillon. Comme le dispositif va fonctionner pendant une longue durée, il convient d'acheter une caméra spécifique qui lui sera dédié.

La mesure du champ de déformation exige à la fois une résolution de mesure adaptée à l'amplitude des déformations que l'on cherche à mesurer et une résolution spatiale

suffisamment fine pour bien mettre en évidence les hétérogénéités spatiales du champ. Concernant la résolution de mesure, on vise une incertitude de l'ordre de 1% de la déformation maximale de retrait en fin d'essai. Pour ce qui concerne la résolution spatiale, on vise une vingtaine de mesures de déplacement indépendantes, reposant sur l'utilisation de fenêtres de corrélation d'image disjointes, sur une distance égale au diamètre des inclusions de PMMA.

- a. Estimez la déformation maximale de retrait à partir de l'image de l'échantillon sans inclusion fournie ci-dessus (enregistrée en fin d'essai).
- b. On envisage d'adopter des tailles de fenêtre de corrélation de 20 x 20 pixels. De ce que vous connaissez des performances de la corrélation d'image, pensez-vous que ce choix soit réaliste par rapport à l'objectif de résolution de mesure ?
- c. En admettant que cette valeur convienne, quelle sera le nombre de pixels le long du diamètre de la coupelle que la caméra devra produire ?

Cette valeur ainsi déterminée va permettre de choisir une caméra, sachant qu'on ajuste le champ de vision au plus près de l'échantillon, de sorte à utiliser au mieux la résolution d'image pour obtenir une mesure de champs cinématique aussi riche que possible. Le catalogue d'un distributeur de caméras numériques comporte près de 1000 références parmi lesquelles un modèle adéquat doit être sélectionné. On se limite ici à 6 références, dont les caractéristiques principales sont données en annexe 2.

- d. Indiquez, en argumentant, quel(s) modèle(s) présentent des caractéristiques insuffisantes, lequel ou lesquels sont trop performantes pour l'application envisagée, et retenez une caméra qui pourrait convenir.
- e. Pour le modèle retenu, précisez quelle est l'interface de communication avec l'ordinateur et quelle est la monture à prévoir pour monter l'objectif. Pour ce qui concerne l'interface informatique, précisez, selon vos connaissances techniques, s'il faut prévoir des éléments complémentaires sur l'ordinateur.
- f. Calculez le grandissement optique requis.
- g. Pour ce grandissement, et tenant compte des dimensions de la boîte, calculez les longueurs focales requises pour les optiques à sélectionner. On pourra pour cela utiliser les relations établies dans la partie 4.
- h. L'outil en ligne de sélection d'optiques d'un distributeur propose l'interface ci-dessous. Proposez des valeurs pour les 5 critères de sélection. (M.O.D. = minimum object distance)

 **Objectifs focale fixe**

**Filtres de recherche**

Chercher

Monture de caméra (objectif)

M.O.D.

Distance focale (mm)  à

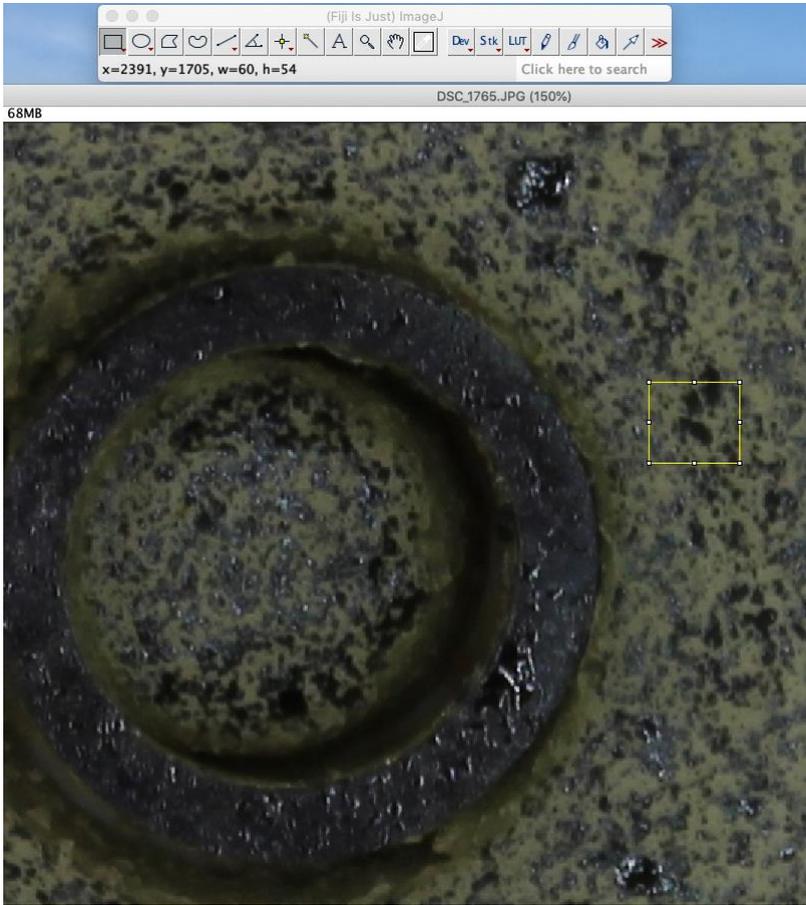
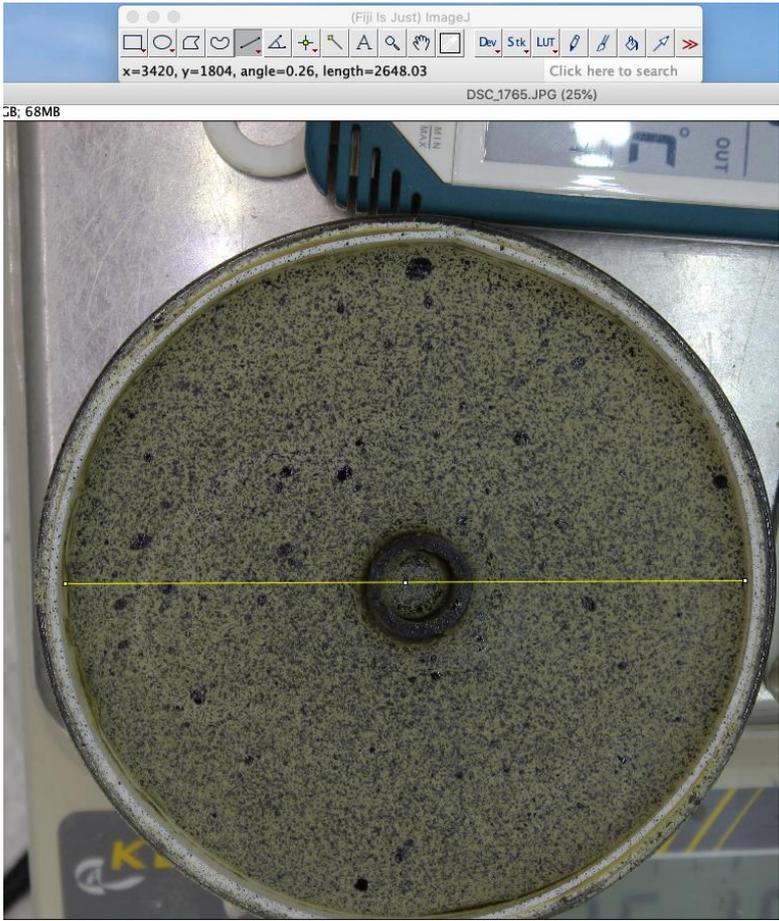
Taille de capteur max.  à

Taille de pixel min.  à

Trier

**6.4. Marquage de surface :**

- a. Pour améliorer la performance de la mesure cinématique par corrélation d'image, un mouchetis est déposé à la surface de l'échantillon. Quelles propriétés sont attendues d'un tel marquage ?
- b. Un essai préliminaire avec un appareil photo numérique grand public a conduit à l'enregistrement de l'image ci-après de la coupelle, avec un détail faisant apparaître les pixels. Les dimensions affichées dans l'interface du logiciel Fiji sont en pixels. Que pensez-vous des caractéristiques de ce marquage et des propriétés de cette image ?



### 6.5. Stockage des données :

On envisage une acquisition d'image toutes les 30 secondes et un enregistrement de la mesure de la masse, de la température et de l'humidité relative avec une fréquence de 1Hz. L'ensemble est piloté avec un logiciel de type Labview qui tourne sur un ordinateur unique assurant toutes les fonctions d'enregistrement. Le disque dur unique de 1 To de cet ordinateur dispose encore de 350 Go d'espace disque libre.

On adopte la caméra C (Manta 1236B) et on enregistre les images en format TIF 16bits. Les autres données sont enregistrées dans un fichier au format ascii, pour permettre sa relecture facile avec des outils de post-traitement.

- a. Proposez un format d'enregistrement permettant d'établir ultérieurement facilement le lien entre image et autres mesures. Quelle sera approximativement la taille en octets d'une ligne de ce fichier (correspondant à la mesure de l'ensemble des paramètres à un instant donné) ? Indiquez la taille en Mo des données acquises pendant une heure.
- b. Sachant qu'une expérience dure environ une semaine et qu'on envisage de traiter les 5 cas de la figure ci-dessus, en doublant chaque expérience, faut-il faire de la place sur le disque dur existant, faut-il ajouter un second disque dur dans l'ordinateur, faut-il ajouter un disque externe et si oui de quelle taille ?

### 6.6. Extension de l'expérience :

- a. Dans une version plus avancée de l'expérience, on souhaite contrôler beaucoup plus précisément l'humidité relative de l'air autour de l'échantillon. Comment pourrait-on assurer ce contrôle ? Quelles contraintes cela induit-il sur la conception de la boîte dans laquelle est menée l'essai, en particulier vis-à-vis des mesures de masse, température et humidité, ainsi que pour l'acquisition des images ?
- b. Enfin, pour améliorer l'analyse des déformations de l'échantillon, on souhaite aussi mesurer le déplacement vertical, qui pourrait être hétérogène et induire un relief en surface. Comment pourrait-on enrichir le dispositif pour accéder à cette information ?

\*\*\*

## Annexe 1 : Article scientifique

Experimental Mechanics (2018) 58:49–53  
DOI 10.1007/s11340-017-0327-6



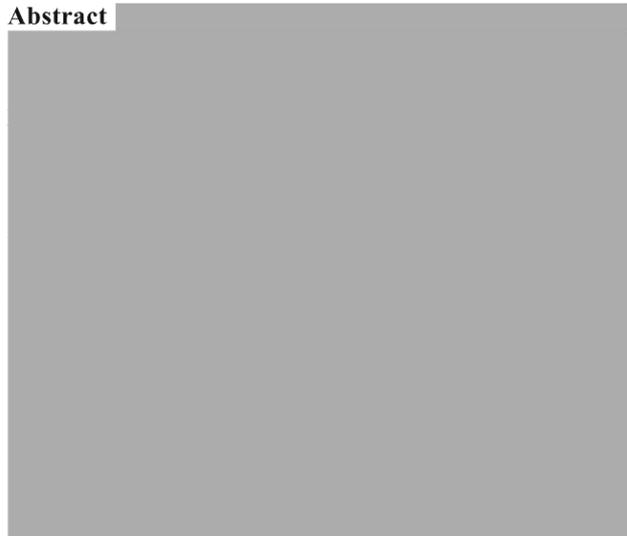
BRIEF TECHNICAL NOTE

## A Device for Biaxial Testing in Uniaxial Machines. Design, Manufacturing and Experimental Results Using Cruciform Specimens of Composite Materials

A. Barroso<sup>1</sup> · E. Correa<sup>1</sup> · J. Freire<sup>1</sup> · F. París<sup>1</sup>

Received: 11 April 2017 / Accepted: 2 August 2017 / Published online: 11 August 2017  
© Society for Experimental Mechanics 2017

### Abstract



is the case for composite materials. In the framework of fibrous composite materials, there exist several failure criteria [1], some of the most important discussions surrounding the role of a secondary transversal tension in the interfibre failure of these materials [2, 3].

Multiaxial testing machines are typically much more expensive than uniaxial machines, mainly because their frame is more complex and therefore more actuators and associated devices are needed [4, 5]. This is the reason why multiple options for devices which can create a biaxial loading state from its use in a uniaxial testing machine are available in the literature.

A comprehensive review of different devices for introducing biaxial loading is summarized in [6], both for devices with actuators in each loading direction [7–9], as well as devices for use in uniaxial machines [10–13]. Other approaches for introducing biaxial loading using rings and disks [14, 15], planar mechanisms [16], 3D mechanisms [17], or other mechanisms [18], are available in the literature.

The objective of the present study is to conceive, design and manufacture a mechanical device, which allows biaxial testing of cruciform specimens to be used in the frame of a uniaxial testing machine. The device allows, with very simple manipulations, tension-tension (compression-compression) and tension-compression biaxial tests to be carried out. It also allows, in any of the three previously mentioned loading configurations, variable loading ratios (e.g. tension-compression 1:0.5, or tension-tension 1:0.75).

The device was used in the biaxial loading of cruciform specimens of composite materials. Strain gages at the centre of the sample, at both faces and in both loading directions were used to measure the percentage bending parameter, following ASTM E1012 [19] as a measurement of the eccentricity of the loading mechanism of the device. The bending parameter for all tests proved to be below 5%, which indicates an excellent alignment in the manufactured loading device.

**Keywords** Biaxial loading · Cruciform specimens · Composite materials · Percentage bending

### Introduction

Multiaxial testing of materials is a fundamental task, especially for those materials where failure mechanisms and the associated failure criteria are still under discussion and research, as

✉ A. Barroso  
abc@us.es

<sup>1</sup> Elasticity and Strength of Materials Group, School of Engineering, University of Seville, Seville, Spain

It is important to notice that the device was originally conceived to apply a biaxial loading state in a unidirectional laminate, but with the fibres oriented perpendicularly to the plane of testing. If we define  $x_1$  as the fibre direction, the biaxial load state will be applied in the  $x_2$ - $x_3$  plane, plane in which a unidirectional thermoset composite is extremely delicate, its strength being some orders of magnitude lower than in the fibre ( $x_1$ ) direction. A correct alignment of the loading device being mandatory for representative results to be obtained. Obviously, the conceived device allows the typical standard biaxial testing of cruciform samples with the fibre contained in the plane of the laminate.

### Design and Manufacturing of the Biaxial Device

The main novelty of the device developed in the present study is the possibility of being able to perform tension-tension (or compression-compression tests) (Fig. 1(a)) as well as tension-compression tests manipulating the mechanism as little as possible. It also allows a tension (in the straight direction of the sample) and surface compression (transversal to the plane of the sample) loading state to be carried out, not only in cruciform samples, but also in standard straight samples by substituting the gripping system by flat indenters (Fig. 1(b)). Nevertheless, in this test configuration, and at certain levels of the surface compression, friction might produce some shear effects at the contact surface, which may be avoided by using some lubricant. It is also possible to perform any of these tests

with different loading ratios, by simply varying the length, and corresponding angle, of the loading inclined arm.

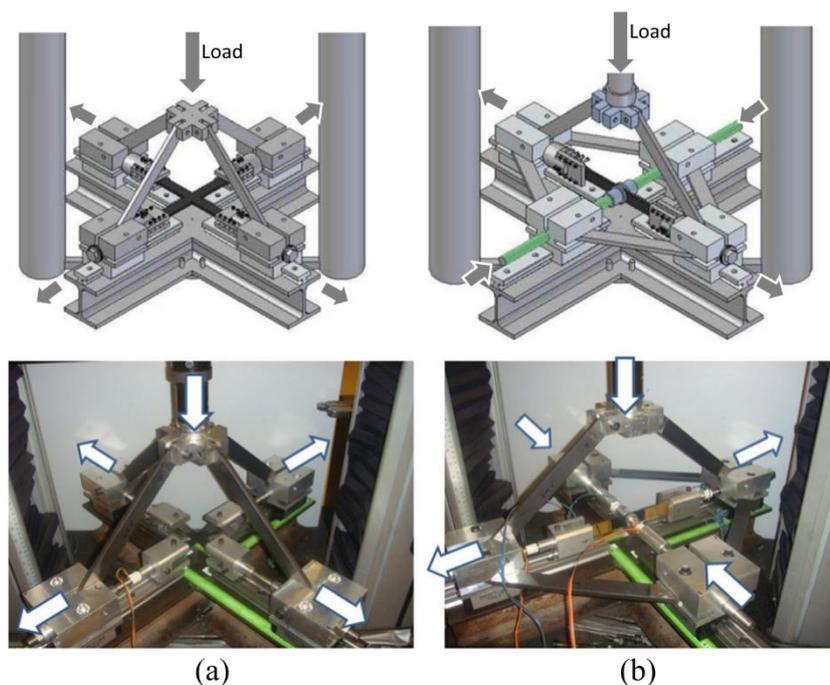
The set-up for the device (tension-tension) is shown in (Fig. 1(a)), and is conceptually similar to that introduced in [10] (see also Fig. 12 on Ref. [6]) but with the improvement that the device can easily turn into a tension-compression (transversal) loading by simply removing two bars and adding four bars between the four linear guides, as depicted in (Fig. 1(b)).

The device shown in Fig. 1 has four linear guides, with an allowable vertical load of 14 kN for each guide, corresponding to a maximum vertical load introduced by the uniaxial testing machine of 56 kN. The dimensions and drill positions of the fixture over the carriage were designed to minimize the bending moment ( $M$  in Fig. 2) perpendicular to the carriage axis (Fig. 2). The forces involved in the equilibriums ( $F$  the compression force of the device load arm, and the horizontal and vertical components,  $F_1$  and  $F_2$ ,) are depicted in Fig. 2.

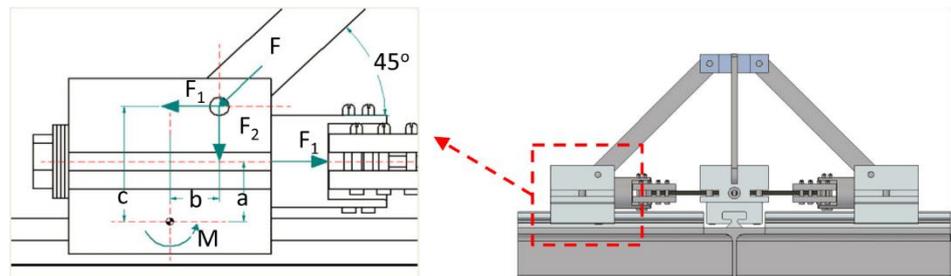
For the gripping system, several alternatives were explored.

- A double-pin, to try to minimize any misalignment in the device, but this alternative proved to be very sensitive to the hole drilling of the sample, generating bending in it.
- A clamping device, resulting in an acceptable but extremely tedious procedure, with 6 screws per loading arm (24 in total).
- Steel wires were used together with glass fibre tabs in the sample, the procedure was also tedious, but was mainly discarded by the problems in introducing the tensile

**Fig. 1** Diagram (up) and real prototype (down) of the device set-up for (a) tension-tension loading in cruciform samples, and (b) tension-compression (transversal) loading in standard samples



**Fig. 2** Dimensions and detail of the position of holes on the device over the linear guide, to minimize the bending moment on the carriage axis



loading ratio due to the difficulties in adjusting the real length of the wire under tension.

- d) Rigid steel rings demonstrated the best behaviour in all senses, as the installation procedure was quick, the curvature of the rings acted as a self-alignment mechanism and the loading ratio was easily controlled. The rings are individual chain links with a thread and a nut to allow the quick connection between the device and the sample (which has holes at the tabs for this purpose). This option was chosen as the best one to introduce loading under tension.

The use of tabs is necessary, in the particular case of the present study, because the cruciform samples used for the tests are made of unidirectional carbon fibre, with the fibre direction oriented along the thickness direction, perpendicular to the plane of the sample. As a result of this, the sample is extremely brittle.

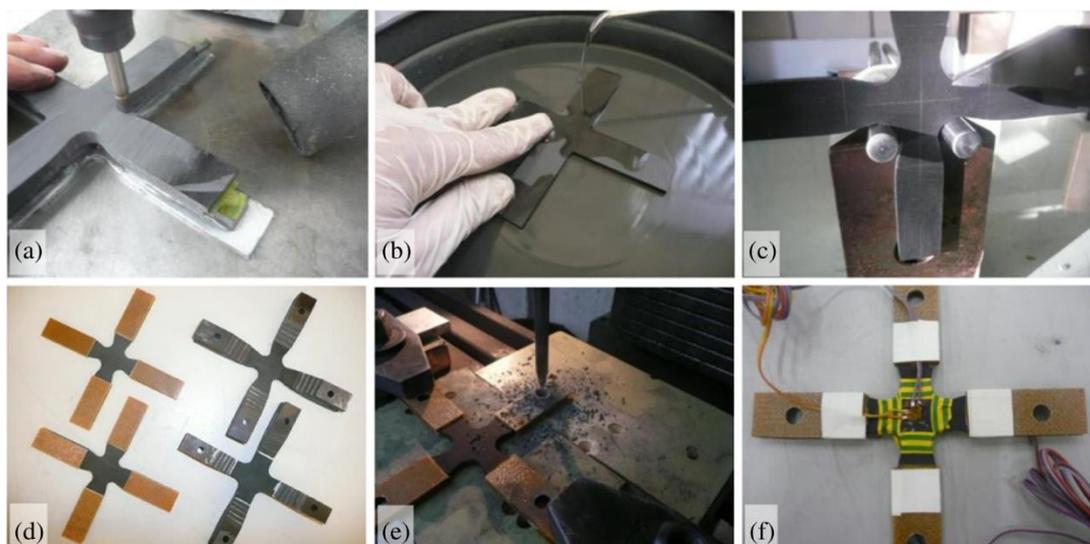
Although the device can be used with any cruciform sample, [Sample Preparation and Testing](#) Section summarizes some details for the preparation of the sample of composite material under the scope of the present study.

### Sample Preparation and Testing

Figure 3 shows the steps followed to prepare the composite cruciform sample. The correct cruciform shape of the contour of the samples, specifically designed for this test configuration by [20], including the curvatures, was manufactured by lateral machining, using a metallic pattern previously machined using a numerical control machine (Fig. 3(a)). Both sides of the sample were polished (Fig. 3(b)). Location of the center (Fig. 3(c)) was an important step to correctly apply the loading and avoid secondary bending moments. Figure 3(d) shows the bonding of the tabs, (Fig. 3(e)) the hole drilling and (Fig. 3(f)) the installation of the strain gages.

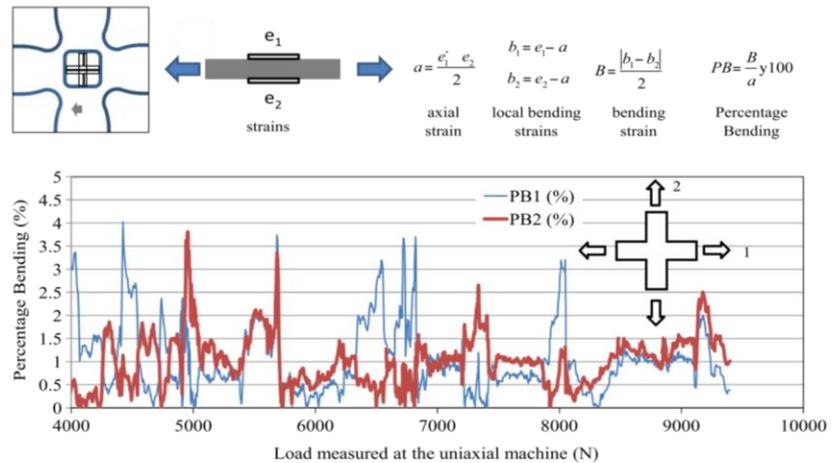
A biaxial rosette was bonded at each side of the sample in order to measure the strains at each loading direction and at each side, and consequently, to have the bending parameter following ASTM 1012 [19]. Notice that each load axis has a percentage bending (PB) measurement and a pair of strain gages.

Figure 4 shows the definition and plots the absolute value of the PB measurements for both loading axes (PB1 and PB2 respectively) in a particular cruciform tension-tension test. Although the device was built only for measuring mechanical



**Fig. 3** Preparation of the samples. (a) lateral machining, (b) polishing, (c) centre location, (d) tabs bonding, (e) hole drilling, (f) strain gages bonding

**Fig. 4** Percent Bending (PB) measurements in a biaxial tension-tension test



properties of the materials at the instant of failure (strength measurements), percentage bending was recorded from approximately 40% of the failure load (4000 N in the case of Fig. 4).

For both loading axes, the percentage bending values are below 5%, which are, in absolute terms, excellent values. In the complete set of tests, which consisted of 21 cruciform samples (whose results fall outside the particular scope of the present study), the results observed were quite similar, the percentage bending parameter being below 5% in almost all cases and in all the measured range when the applied load was above 50% of the sample failure load. Lower values, <2%, were in any case systematically obtained at the instant of failure.

The self-alignment effect of the steel rings has proved to be efficient in controlling the load application. This self-alignment effect acts more efficiently as the load increases, the PB measurements being extremely satisfactory (low) at the instant of failure.

The steel ring (the individual chain link) connecting the sample to the device, particularly the curved part of it, contacts the specimen at two points, the upper and bottom part of the hole at the tab area. If the contact force is higher in any of these contact points, due to the curvature of the link, it will slip and will slightly twist, reorienting the ring and making the two contact forces being more equal and consequently, the bending moment being lower. This effect does not appear uniformly during the test due to friction, only when the tangential component of the contact force exceeds the friction, the slight reorientation occurs, giving rise to discrete changes (decrements) in the bending parameter measurements, as can be clearly observed in Fig. 4.

## Conclusions



**Acknowledgements** This study was supported by the Spanish Ministry of Education and Science/Economy and Competitiveness (Projects MAT2013-45069-P and MAT2016-80879-P).

## References

1. Paris F (2001) A study of failure criteria of fibrous composite materials. NASA/CR-2001-210661
2. Correa E, Mantić V, Paris F (2013) Effect of the presence of a secondary transverse load on the inter-fibre failure under tension. *Eng Fract Mech* 103:174–189
3. Paris F, Correa E, Cañas J (2003) Micromechanical view of failure of the matrix in fibrous composite materials. *Compos Sci Technol* 63:1041–1052
4. Boehler JP, Demmerle S, Koss S (1994) A new direct biaxial testing machine for anisotropic materials. *Exp Mech* 34:1–9
5. Welsh JS, Adams DF (2000) Development of an electromechanical triaxial test facility for composite materials. *Exp Mech* 40:312–320
6. Hannon A, Tieman P (2008) A review of planar biaxial tensile test systems for sheet metal. *J Mater Process Technol* 198:1–13
7. Makinde A, Thibodeau L, Neale KW (1992) Development of an apparatus for biaxial testing for cruciform specimens. *Exp Mech* 32:138–144

8. Kuwabara T, Ikeda S, Kuroda K (1998) Measurement and analysis of differential work hardening in cold rolled steel sheet under biaxial tension. *J Mater Process Technol* 80–81:517–523
9. Hoferlin E, Van Bael A, Van Houtte P, Steyaert C, De Mar C (1998) Biaxial test son cruciform specimens for the validation of crystallographic yield loci. *J Mater Process Technol* 80–81:545–550
10. Fraunhofer (2005) Dynamic material testing. <http://www.emi.fraunhofer.de>
11. Ferron G, Makinde A (1998) Design and development of a biaxial strength testing device. *J Test Eval* 16:253–256
12. Tasan CC, Hoefnagels JPM, Quaak G, Geers MGD (2008) In-plane biaxial loading of sheet metal until fracture. In: *Proceedings of the XIth International Congress and Exposition, Orlando*
13. Bhatnagar N, Bardwaj R, Selvakumar P, Brieu M (2007) Development of a biaxial tensile test fixture for reinforced thermoplastic composites. *Polym Test* 26:154–161
14. Zouani A, Bui-Quoc T, Bernard M (1999) Cyclic stress-strain data analysis under biaxial tensile stress state. *Exp Mech* 39:92–102
15. Boiko AV, Karpenko LN, Lebedev AA, Muzika NR, Zagomyak OV (1999) Calculation-experimental method for determining crack resistance of materials under biaxial loading. *Eng Fract Mech* 64: 203–215
16. Brieu M, Diani J, Bhatnagar N (2007) A new biaxial tension test fixture for uniaxial testing machine—a validation for Hyperelastic behavior of rubber-like materials. *J Test Eval* 35:1–9
17. Boisse P, Gasser A, Hivet G (2001) Analyses of fabric tensile behaviour: determination of the biaxial tension-strain surfaces and their use in forming situations. *Compos Part A* 32:1395–1414
18. Muzyka NR (2002) Equipment for testing sheet structural materials under biaxial loading. Part 2. Testing by biaxial loading in the plane of the sheet. *Strength of Materials* 34:206–212
19. ASTM E1012-14 (2014) Standard practice for verification of testing frame and specimen alignment under tensile and compressive axial force application. ASTM International, West Conshohocken [www.astm.org](http://www.astm.org)
20. Correa E, Barroso A, Pérez MD, París F (2017) Design of a cruciform coupon for tensile biaxial transverse test son composite materials. *Compos Sci Technol* 145:138–148

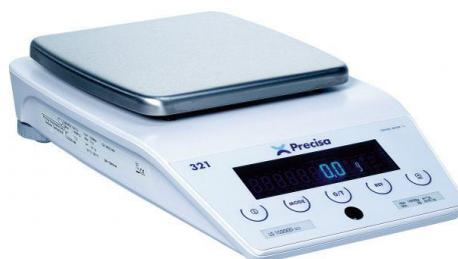


## Annexe 2 : Documentation technique de l'étude de cas (exercice 6)

### Balances (question 6.2)



Balance KERN PCB



Balance Precisa 321LS

#### LISTE DES DÉCLINAISONS 321 LS:

Référence	Précision	Portée	Plateau	Prix	Disponibilité	
LS320M	0,1 mg à 0,1 g	320 g	135x135 mm	1 660 €	<span style="color: green;">●</span>	<a href="#">Ajouter au panier</a>
LS4200C	0,1 mg à 0,1 g	4200 g	200x200 mm	1 890 €	<span style="color: green;">●</span>	<a href="#">Ajouter au panier</a>
LS3200D	0,1 mg à 0,1 g	3200 g	200x200 mm	1 290 €	<span style="color: green;">●</span>	<a href="#">Ajouter au panier</a>

[En savoir plus](#)

[Télécharger](#)

[Caracteristiques techniques](#)

#### Balance de précision Precisa 321 LS

En allant au-delà de la haute performance et de la précision, la série 321LS est une réponse aux exigences des utilisateurs. L'ergonomie de la 321 fait de cette balance la partenaire idéale pour vos pesées en laboratoires et industries.

Pot magnétique

Afficheur LED bleu

Connectivité polyvalente (sortie RS232 et interface USB)

Système ICM (reconnaissance automatique du poids de calibrage externe)

Cellule de pesée dite 'conventionnelle' assemblée manuellement et entièrement réparable pour une réparabilité et une longévité accrue de votre balance.

Fabriquée en Suisse.

*Ces versions sont présentées en tant que plus populaires de l'ensemble de cette gamme. Contactez-nous pour toute autre version.*

#### Spécifications et tarifs Precisa 321 LS

**LISTE DES DÉCLINAISONS PCB:**

Référence	Précision	Portée	Plateau	Prix	Disponibilité	
PCB 6000-0	1 g	6000 g	150x170 mm	<b>130 €</b>		<a href="#">Ajouter au panier</a>
PCB 1000-1	0,1 g	1000 g	130x130 mm	<b>185 €</b>		<a href="#">Ajouter au panier</a>
PCB 6000-1	0,1 g	6000 g	150x170 mm	<b>240 €</b>		<a href="#">Ajouter au panier</a>
PCB 1000-2	0,01 g	1000 g	130x130 mm	<b>255 €</b>		<a href="#">Ajouter au panier</a>
PCB 100-3	0,001 g	100 g	Ø 81 mm	<b>265 €</b>		<a href="#">Ajouter au panier</a>
PCB 2000-1	0,1 g	2000 g	130x130 mm	<b>215 €</b>		<a href="#">Ajouter au panier</a>
PCB 200-2	0,01 g	200 g	Ø 105 mm	<b>230 €</b>		<a href="#">Ajouter au panier</a>
PCB 10000-1	0,1 g	10000 g	150x170 mm	<b>245 €</b>		<a href="#">Ajouter au panier</a>
PCB 250-3	0,001 g	250 g	Ø 81 mm	<b>290 €</b>		<a href="#">Ajouter au panier</a>
PCB 2500-2	0,01 g	2500 g	130x130 mm	<b>290 €</b>		<a href="#">Ajouter au panier</a>
PCB 350-3	0,001 g	350 g	Ø 81 mm	<b>300 €</b>		<a href="#">Ajouter au panier</a>
PCB 3500-2	0,01 g	3500 g	130x130 mm	<b>300 €</b>		<a href="#">Ajouter au panier</a>

[En savoir plus](#)[Télécharger](#)[Caracteristiques techniques](#)**Balance de Precision Kern PCB**

- Fonction PRE-TARE pour la déduction manuelle d'un poids de récipient connu, utile pour les contrôles de niveaux
- Unités de pesée librement programmables, p. ex. affichage direct en longueur de fil g/m, poids de papier g/m2 etc.
- Avec la fonction création de formule il est possible de peser différents composants d'un mélange. Possibilité de consulter le poids total de tous les composants.
- Pesées plus/moins
- Housse d'utilisation transparent en série.
- Balance de précision pour usage interne
- Fonctionnement sur pile 9V non inclus ou sur secteur d'alimentation inclus.

En accessoires (option):

- Batterie interne référence PCB-A01
- Certificat d'étalonnages DAKKS

Ne peut pas être utilisé en usage réglementé.

**Accessoires (5)**[Voir tout](#)

Accu interne Kern PCB-A01

75,00 €

[Ajouter au panier](#)

Adaptateur RS-232/Ethernet Kern YKI-01

290,00 €

[Ajouter au panier](#)

logiciel Balance Connection Kern SCD-4.0

150,00 €

[Ajouter au panier](#)**Spécifications et tarifs Kern PCB**

## Catalogue de caméras (question 6.3)

Manta G-895C	Color Camera	1"	8.95	<input type="checkbox"/>	#35-899	€2.125,00	2-3 JOURS	1
--------------	--------------	----	------	--------------------------	---------	-----------	-----------	---

Demande de Devis



## Caméra Couleur Manta PoE G-895C, CMOS, Allied Vision

Stock #35-899

[Start Up Guide](#)
[User Manual](#)

Mémoire (MB):	128	Contrôle Caméra:	GigE Vision
Sortie Vidéo:	GigE	Fabricant:	Allied Vision
Famille de Caméras:	Manta	Numéro de Modèle:	Manta G-895C
Type:	Color Camera	Composante d'Imagerie:	Sony IMX267
Capteur:	Progressive Scan CMOS	Type d'Obturbateur:	Global
Type de Capteur:	1"	Résolution (MegaPixels):	8.95
Pixels (H x V):	4,112 x 2,176	Taille de Pixel, H x V (µm):	3.45 x 3.45
Aire Active, H x V (mm):	14.2 x 7.5	Taux d'Image (fps):	13.4
Profondeur de Pixel:	12 bit	Contrôle d'Exposition:	Via Software
Alimentation d'Énergie:	PoE	Synchronisation:	External or Via Software
Dimensions (mm):	86.4 x 44 x 29	Poids (g):	200
Filetage:	C-Mount		

## Conformité réglementaire

RoHS 2015:	Conforme	Reach 191:	Conforme
------------	----------	------------	----------

## Caméra A : Manta 895C

Manta G-319B	Monochrome Camera	1/1.8"	3.20	<input type="checkbox"/>	#37-510	€1.175,00	2-3 JOURS	1
--------------	-------------------	--------	------	--------------------------	---------	-----------	-----------	---

Demande de Devis



## Caméra Monochrome Manta PoE G-3195B, CMOS, Allied Vision

Stock #37-510

[Spécifications](#)
[Start Up Guide](#)
[User Manual](#)

Mémoire (MB):	128	Contrôle Caméra:	GigE Vision
Sortie Vidéo:	GigE	Fabricant:	Allied Vision
Famille de Caméras:	Manta	Numéro de Modèle:	Manta G-319B
Type:	Monochrome Camera	Composante d'Imagerie:	Sony IMX265
Capteur:	Progressive Scan CMOS	Type d'Obturbateur:	Global
Type de Capteur:	1/1.8"	Résolution (MegaPixels):	3.20
Pixels (H x V):	2,064 x 1,544	Taille de Pixel, H x V (µm):	3.45 x 3.45
Aire Active, H x V (mm):	7.1 x 5.3	Taux d'Image (fps):	37.6
Profondeur de Pixel:	12 bit	Contrôle d'Exposition:	Via Software
Alimentation d'Énergie:	PoE	Synchronisation:	External or Via Software
Dimensions (mm):	86.4 x 44 x 29	Poids (g):	200
Filetage:	C-Mount		

## Conformité réglementaire

RoHS 2015:	Conforme	Reach 191:	Conforme
------------	----------	------------	----------

## Caméra B : Manta 3195B

 Manta G-1236B	Monochrome Camera	1.1"	12.40	<input type="checkbox"/>	#37-514	<b>€2.695,00</b>	<b>2-3 JOURS</b>	1
---	-------------------	------	-------	--------------------------	---------	------------------	------------------	---

[Demande de Devis](#)**Caméra Monochrome Manta PoE G-1236B, CMOS, Allied Vision**

Stock #37-514

[Start Up Guide](#)[User Manual](#)

Mémoire (MB):	128	Contrôle Caméra:	GigE Vision
Sortie Vidéo:	GigE	Fabricant:	Allied Vision
Famille de Caméras:	Manta	Numéro de Modèle:	Manta G-1236B
Type:	Monochrome Camera	Composante d'Imagerie:	Sony IMX304
Capteur:	Progressive Scan CMOS	Type d'Obturbateur:	Global
Type de Capteur:	1.1"	Résolution (MegaPixels):	12.40
Pixels (H x V):	4,112 x 3,008	Taille de Pixel, H x V (µm):	3.45 x 3.45
Aire Active, H x V (mm):	14.2 x 10.4	Taux d'Image (fps):	9.7
Profondeur de Pixel:	12 bit	Contrôle d'Exposition:	Via Software
Alimentation d'Énergie:	PoE	Synchronisation:	External or Via Software
Dimensions (mm):	86.4 x 44 x 29	Poids (g):	200
Filetage:	C-Mount		

**Conformité réglementaire**

RoHS 2015:	Conforme	Reach 191:	Conforme
------------	----------	------------	----------

Caméra C : Manta 1236B

## AV BONITO PRO X-2620B

Caméra monochrome matricielle haute résolution en Power over CoaXPress

- Capteur APS-H CMOS avec une diagonale de 32,06 mm, obturbateur de type global
- Résolution 5120 (H) x 5120 (V) pixel avec taille pixel de 4,5 µm
- Dimension du capteur actif: 23,0 mm x 23,0 mm
- Fréquence d'image: 80 images/s (en pleine résolution)
- Caractéristiques: 128 Mo de mémoire interne, Multiple LUT, Binning, Decimation, Precision Time Protocol (PTP IEEE 1588), Fixed Pattern Noise Correction (FPNC), Defect Pixel Correction (DPC)
- Différentes modes de trigger: Trigger over CoaXPress
- Partial scan (ROI) pour multiplier la fréquence images
- Sortie numérique via interface au standard GigE Vision
- Formats de sortie numérique: Mono8, Mono10
- Gamme de température: -20°C á +70°C
- Consommation: 24 VDC, 15.7 W PoCXP
- Alimentation via Power over CoaXPress (PoCXP) ou Hirose 12 broches
- Connecteurs: 4 x DIN 1,0 / 2,3 DIN, Hirose 12 broches
- Dimensions: 110,6 x 70 x 70 (L x H x P en mm)
- Poids: 500 g
- Monture F-Mount (ou monture M58, M42 et EF en option)

Caméra D : Bonito Pro 2620 (prix indicatif 12 k€)

## VIEWWORKS VC-12MX-M180E0-DIN-FM

High Speed Caméra monochrome matricielle haute résolution standard CoaXPress

- Capteur CMOS 28,14 mm Diagonale avec Global Shutter
- Résolution 4096 (H) x 3072 (V) pixel avec taille pixel de 5,5 µm
- Dimension du capteur actif: 22,5 mm x 16,9 mm
- Caractéristiques: Gain/Black Level Control, Test Pattern, Température Moniteur, Field Upgrade, Image correction, correction de pixels défectueux, la commande du ventilateur
- Différentes modes de trigger: hardware ou software
- Fréquence d'image: 181 images/s (en pleine résolution)
- ROI pour multiplier la fréquence images
- Sortie numérique: 8-bit via CoaXPress
- Formats de sortie: Mono8
- Taux de transfert max: 4 x 6,25 Gbps
- S/N Ratio >54 dB
- Gamme de température: -5°C jusqu'à +40°C
- Alimentation: de 10 à 38 VDC, 12 W
- Alimentation via 2 x CoaXPress 1.0/2.3 DIN connexion, 6 Pin Hirose
- Connecteurs: 4 x 1.0/2.3 DIN CXP, 6 Pin Hirose
- Dimensions: 80 x 80 x 101 (L x H x P en mm)
- Poids: 620g
- Monture F-Mount
- SDK Interface et User GUI de paramétrage pour la configuration de la camera inclus

**Caméra E : Vieworks 12MX-M180 (prix indicatif 9k€)**

## Caméra Monochrome APS-H Monture F Allied Vision Prosilica GT5120

Stock #14-738 NOUVEAU

€6.990,00

Qté 1  
€6.990,00Prix sur Quantité  
[Demande de Devis](#)[Software Manual](#)[Spécifications](#)[Spécifications](#)

CONTACT 1

AJOUTER AU PANIER

[+ Ajouter à ma liste d'achats](#) Comparer[Spécifications](#)[En savoir plus](#)[Accessoires](#)[Ressources Techniques](#)

Numéro de Modèle:	GT 5120	Type de Capteur:	APS-H
Résolution (MegaPixels):	26.20	Pixels (H x V):	5,120 x 5,120
Type:	Monochrome Camera	Contrôle Caméra:	GigE Vision
Famille de Caméras:	Prosilica GT	Dimensions (mm):	96 x 66 x 53.3
Contrôle d'Exposition:	Auto Exposure	Taux d'Image (fps):	4.59
Composante d'Imagerie:	ON Semi PYTHON 25K	Fabricant:	Allied Vision
Mémoire (MB):	128.00	Filetage:	F-Mount
Profondeur de Pixel:	10 bit	Taille de Pixel, H x V (µm):	4.5 x 4.5
Alimentation d'Énergie:	PoE or 12-Pin Hirose	Aire Active, H x V (mm):	23.0 x 23.0
Synchronisation:	External or Via Software	Capteur:	Progressive Scan CMOS
Type d'Obturbateur:	Global	Sortie Vidéo:	GigE
Poids (g):	372		

### Conformité réglementaire

RoHS: [Conforme](#)

Caméra F : AVT Prosilica GT5120

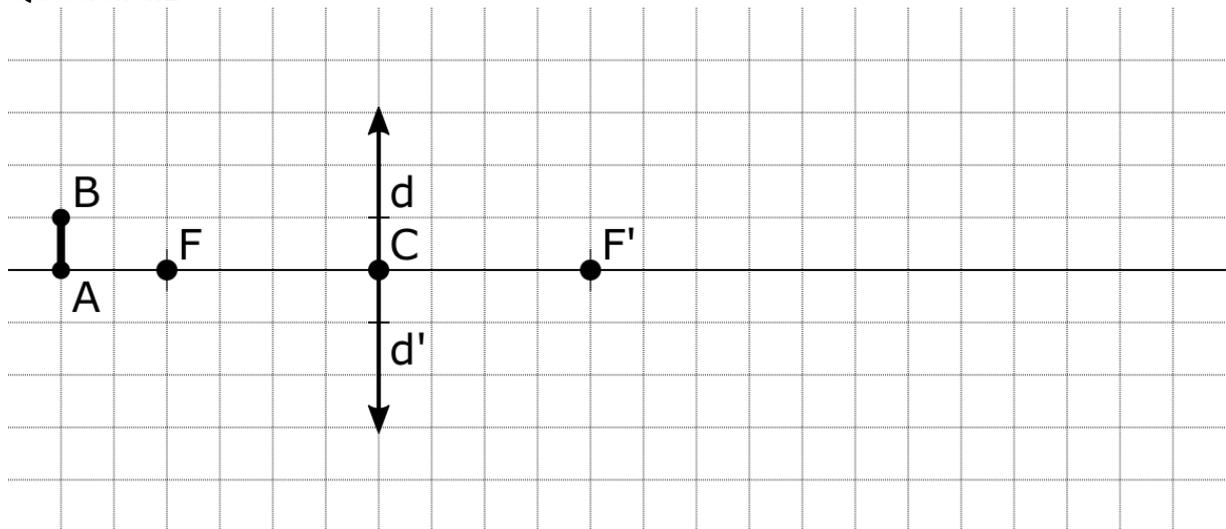
N° candidat :  
(Page 1/2)

**Annexe 3 : Supports de réponses à rendre avec les copies**

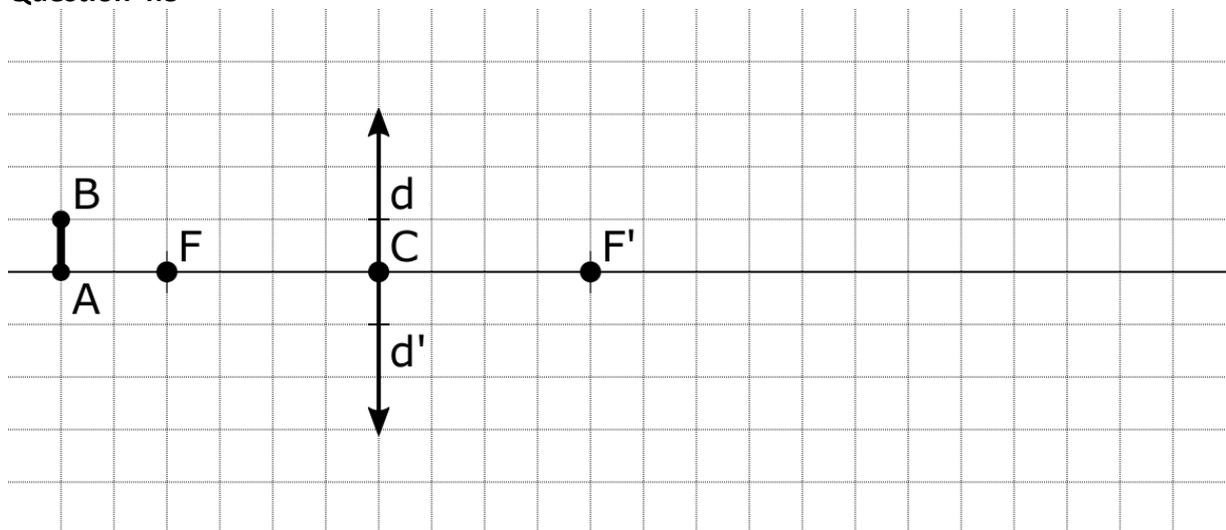
**Question 3.1**

Microscope	Image
microscope optique	
microscope électronique à balayage	
microscope électronique en transmission	
microscope à force atomique	

**Question 4.2**



**Question 4.3**



N° candidat :

(Page 2/2)

**Question 4.4**

Lorsqu'on ferme le diaphragme d'une lentille :	Augmente	Diminue	Sans lien direct
L'ouverture numérique			
La taille des taches de diffraction			
La profondeur de champ			
Le temps d'exposition (pour obtenir une même luminosité sur l'image enregistrée)			
Le grandissement optique			
L'aberration de sphéricité			

**Question 5.4***Reliez par des traits*

FILTRE	IMAGE	NOYAU
filtre moyen	A	$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
gradient horizontal	B	$\begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$
gradient vertical	C	$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$
laplacien		$\frac{1}{9} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$