

---

# Développement d'un biotextile comme substrat flexible pour cellules photovoltaïques organiques

**Hajar Jaouani<sup>1,3,\*</sup>, Denoun Saifaoui<sup>1</sup>, Youssef Jouane<sup>2</sup>,  
Habiba Ennamiri<sup>3</sup>, Mohamed Dalal<sup>3</sup>**

1. *Laboratoire de Physique Appliquée et Théorique, Université Hassan II  
Faculté des Sciences Ain Chock El Jadida  
B.P 5366, Maarif, Casablanca ,20100 Maroc  
jaouani.hajar@yahoo.fr*

2. *Kochi University of Technology  
185 Miyanoguchi Tosayamada Kochi 782 -8502 Japan*

3. *Laboratoire REMTEX  
Ecole Supérieure des Industries des Textiles et Habillement (ESITH)  
km 8, BP 7731 route d'El Jadida, Casablanca, Maroc*

---

*RÉSUMÉ. Nos exigences de confort dans la vie quotidienne entraînent une forte dépendance aux appareils consommateurs d'énergie électrique, même lors de nos déplacements et durant nos moments de loisir. Le textile avec ses qualités de souplesse, finesse, et légèreté peut être un très bon support pour produire de l'énergie électrique, notamment en y intégrant des cellules photovoltaïques organiques. Différentes applications fonctionnent grâce à cette technologie : les chargeurs souples, les tentes, les stores... L'objectif de ce travail est de développer des panneaux textiles photovoltaïques enroulables sous forme d'un composite constitué d'un support textile technique en coton et des cellules photovoltaïques organiques flexibles. Nos recherches ont pour but de mettre au point des textiles intelligents capables de transformer en électricité le rayonnement solaire.*

*ABSTRACT. The need for comfort in our daily life causes a high dependence on consumer devices of the electrical energy even when our leisure or our travel, in effect, the textiles can due to its flexibility, its finesse, its lightness and its use in daily life, to be a very good support to produce electrical energy, Integrating Photovoltaic cells directly organic to the textile industry. Different applications are put in game thanks to this technology: the flexible loaders, tents, the blinds... The aim is to develop textile and solar cells to obtain a photovoltaic textile, which will make several domains autonomous and open wide possibilities of extension of the applications easy to manipulate and to carry. The work of my thesis is precisely to develop intelligent textiles capable of transforming solar radiation into*

*electricity, this transformation is made through photovoltaic cells, and the peculiarity of my thesis is the development of flexible organic photovoltaic cells.*

*MOTS-CLÉS : composites à fibres de coton, textile conducteur, cellules photovoltaïques organiques, propriétés mécaniques.*

*KEYWORDS: composites with cotton fibers, conductive textile, organic photovoltaic cells, mechanical properties.*

---

DOI:10.3166/RCMA.26.451-465 © Lavoisier 2016

### **Extended abstract**

A good management of the energy consumption and the use of the renewable energy such as the solar energy for textile applications are some solutions to conserve our ecology and to give some idea for the textile design to bring more comfort and well-being in our life. Photovoltaic cells offer a good perspective for e-textile applications.

Conductor textiles are basic materials for smart textile systems and may be used in sensors, actuators, data transmission lines or textile antennas. The big deal is the realization of good interconnections between these mutual components, a good and robust contact between the conductive polymers used for these interconnections and their integration in solar cells. These conductor textiles are used in application where flexibility and conformability are important

So that the electricity can flow from the organic photovoltaic cell through the textile to the component it needs a conductive connection. Since we are working with clothing, it makes sense to use conductive fabric to make these traces. The new and general method to produce flexible, wearable photovoltaic textiles by coating conducting polymers on textiles has received considerable attention due to their potential applications in the areas of electromagnetic shielding, chemical sensors and heating fabrics. Cotton is one of the most commonly used substrate. In this study, we had chosen carbon nano-particles as conductor polymer for coating. The electrical. However, the thickness of coated fabric is very important factor to decide the conductivity and the final application of textile. After the coating, we carried out several tests on the conductive textile for evaluating the influence of its electrical resistance after the washing cycle and the traction test, and appreciating its adequacy with the organic photovoltaic cell, which was tested to see its Absorbance and its optical quality for a subsequently integration onto the textile.

## 1. Introduction

Les cellules photovoltaïques organiques (OPV) appartiennent à la nouvelle génération de source d'alimentation et sont largement utilisées grâce à leurs nombreuses qualités : souplesse, légèreté, facilité de traitement, faible coût et respect de l'environnement. La réduction de la consommation des appareils modernes a permis aux OPV d'intégrer plusieurs domaines, tels que les appareils électroniques portables, l'automobile... Les substrats flexibles les plus couramment utilisés pour des cellules solaires flexibles à ce jour sont des polymères synthétiques tels que le polyéthylène téréphtalate (communément appelé PET) et le polyéthylène naphthalate (PEN). Toutefois, si les cellules solaires organiques doivent être appliquées sur les vêtements et autres surfaces molles – dont certaines entrent en contact direct avec la peau, elles doivent être compatibles, non toxiques et non irritables. Parmi les solutions possibles pour un tel substrat, le groupe Sun dirigé par le professeur Baoquan Sun de l'Université Soochow a utilisé la fibroïne de soie naturelle – extrait de vers à soie (*Bombyx mori*) et le cocon. Ce dernier est un matériau intelligent avec plusieurs fonctionnalités prometteuses telles que sa bonne biocompatibilité, biodégradabilité, non-irritabilité, non-toxicité, des propriétés mécaniques favorables et une transmittance optique élevée (jusqu'à 95 %) du film. En outre, de telles propriétés du substrat peuvent être adaptées en contrôlant le processus de fabrication, de sorte qu'elles correspondent aux exigences souhaitées pour une application dans les textiles électroniques portables. L'objectif de ce travail est de développer des panneaux textiles photovoltaïques enroulables sous forme d'un composite constitué d'un support textile technique en coton et des cellules photovoltaïques organiques flexibles. Le substrat textile utilisé doit répondre à plusieurs critères : stabilité, bonne résistance mécanique, bonne conductivité électrique, souplesse satisfaisante et capacité d'agir comme une électrode.

## 2. Choix de la fibre

### 2.1. Fibre de coton

Le coton est un poil séminal fourni par le duvet soyeux qui recouvre les graines de la capsule du cotonnier. Le fruit est une capsule qui renferme 18 à 45 graines recouvertes de poils qui constituent les fibres du coton. Quand le fruit est mûr, les capsules s'ouvrent et le coton fortement comprimé à l'intérieur se détend et sort. La fibre se compose de 3 parties principales (figure 1) :

1. La cuticule et une paroi primaire : elles constituent la gaine de la fibre. Composée principalement de cellulose, de cires, de matières grasses et de pectines, elle est également appelée membrane ciro-pecto-cellulosique. Elle est à l'état brut assez hydrophobe. Cette couche très mince ( $\sim 0,1 \mu$ ) possède une structure fibrillaire en spirale avec de fréquentes inversions de sens (représentation schématique par les croisillons).

2. La membrane secondaire est constituée de nouvelles couches celluloses qui se déposent au fur et à mesure du murissement de la fibre, de manière concentrique.

Cette membrane secondaire épaisse d'environ 4 microns (chaque couche a une épaisseur de 0,2 à 0,3  $\mu$ ) est la région dont dépendront la plupart des qualités de la fibre. Les couches secondaires sont déposées pendant la croissance du fruit lorsque les fibres sont plus au moins repliées et recroquevillées en accordéon dans la capsule. Aussi, lorsque l'angle du pli est trop aigu, les spirales des fibrilles sont interrompues et recommencent ultérieurement dans le sens opposé. Il est donc ainsi facile de comprendre pourquoi l'examen microscopique d'une fibre de coton laisse voir des vrilles dont le sens est inversé de temps à autre.

3. La dernière couche secondaire ou couche interne est plus fine que les précédentes (0,1  $\mu$ ), les fibrilles qui la composent forment une spirale presque perpendiculaire à l'axe de la fibre. Elle est adjacente au lumen : canal cylindrique et creux situé au centre de la fibre.

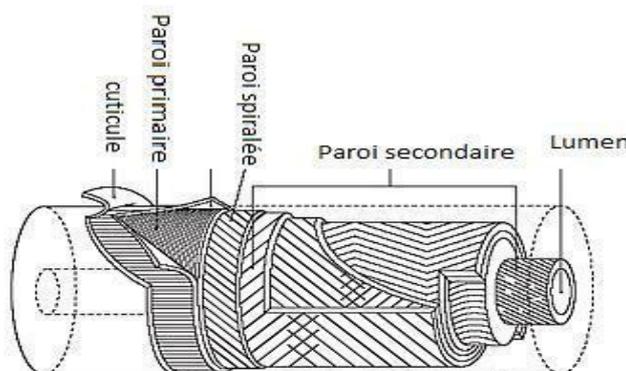


Figure 1. Microstructure d'une fibre de coton

## 2.2. Croissance et structure de la fibre

Lorsque la fleur s'ouvre, la pollinisation a lieu au cours de la matinée. La fécondation est achevée dans les trente heures qui suivent l'épanouissement de la fleur. La graine est très petite, son diamètre est d'environ 1 mm. Elle va se couvrir de 15 000 à 20 000 poils dont 10 000 de lint. Le diamètre de chaque fibre croît très rapidement vers son diamètre final après les premiers jours de sa croissance.

La fibre se développe ensuite en s'allongeant et acquiert sa longueur définitive après 18-25 jours. Après cette période, elle renforce sa membrane primaire en déposant à l'intérieur des couches successives de cellulose.

La figure 2 représente les courbes de croissance en diamètre, longueur et épaisseur des fibres de coton.

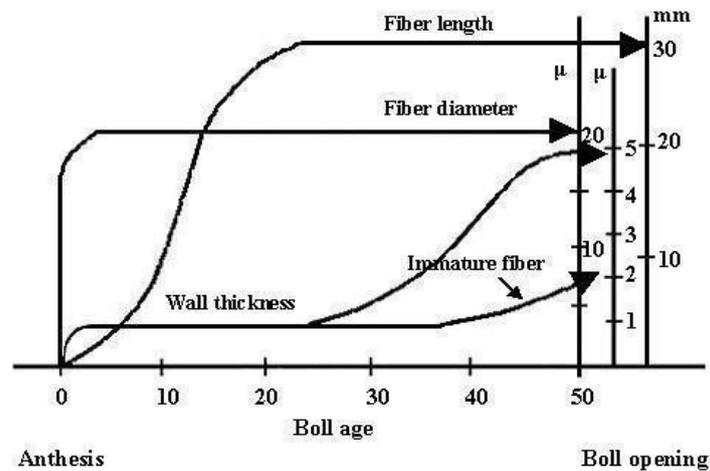


Figure 2. Courbe de croissance de la fibre de coton

Il est à remarquer que la croissance, d'abord en diamètre puis en longueur et enfin en épaisseur des fibres de coton, est assez particulière. Lorsque les fibres sont mûres, la capsule qui les protégeait s'ouvre naturellement et la bourre fibreuse apparaît sous forme d'un flocon. L'ouverture de la capsule se fait selon 3 ou 5 fentes délimitant des valeurs qui se dessèchent et se tordent. À ce moment de la maturité, les fibres sont humides et ont encore une section cylindrique. Mais elles sèchent, et la déshydratation, suite à l'ouverture de la capsule, entraîne un aplatissement des fibres qui se vrillent sur elles-mêmes. De plus, les rubans cellulosiques de la paroi se cristallisent en cristallites.

L'aplatissement d'une fibre et l'intensité du vrillage dépendent de l'épaisseur de la fibre. Chaque fibre n'atteint pas forcément le même degré de maturité et lors de l'ouverture de la capsule et de la dessiccation, le flocon de coton comporte des fibres parfaitement mûres mais également des fibres trop mûres et d'autres qui ne le sont pas assez. Il est important de savoir que le degré de maturité influe sur les propriétés de la fibre à savoir : résistance, flexibilité, finesse, affinité tinctoriale donc sur sa qualité. L'examen de l'aspect microscopique en longueur et en coupe de différentes fibres de coton permettra de mettre mieux en évidence ces différences de maturité.

### 2.3. Aspect microscopique

#### 2.3.1. Coupe

Avant l'ouverture de la capsule, les fibres ont sur la graine des sections rondes. En fonction du degré de maturité, l'aspect en coupe est différent.

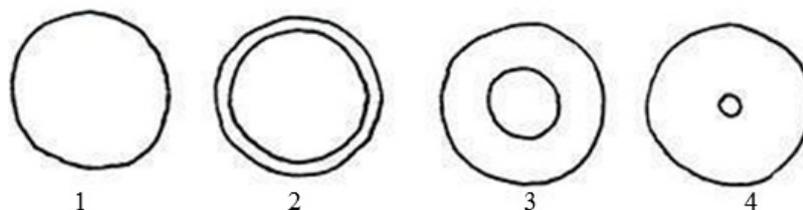


Figure 3. Les différents types de fibres

La figure 3 représente différents types de fibres.

**Fibre morte** : cette fibre a atteint son diamètre et sa longueur définitive mais elle ne s'est pas épaissie. Les couches concentriques cellulosiques ne s'étant pas formées, la paroi de cette fibre est très fine. Le lumen est très développé.

**Fibre immature** : cette fibre est un peu plus développée que la fibre morte mais elle ne l'est pas suffisamment. Le lumen est encore trop important au détriment des couches cellulosiques trop peu épaissies. Les fibres mortes et immatures ont tendance à former des « boutons », des neps lors de la filature.

**Fibre mûre ou fibre normale** : elle a acquis son degré de maturité. Les couches cellulosiques se sont correctement formées et le lumen a une dimension normale.

**Fibre trop mûre** : dans ce cas, l'état de maturité est trop poussé. Le lumen est trop petit. Les couches cellulosiques trop développées. Ces fibres, très épaissies, sont peu souples.

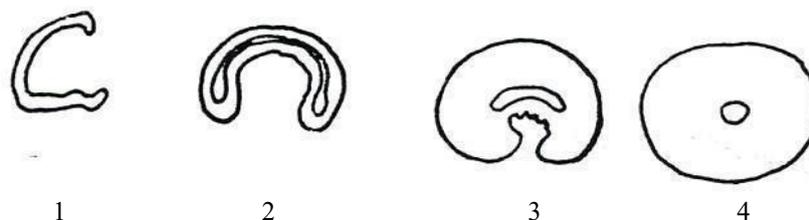


Figure 4. L'aspect en coupe de la fibre

Après dessiccation, l'aspect en coupe est différent. On constate un aplatissement des fibres (figure 4). La fibre normale a l'aspect d'un haricot possédant un canal en son centre : le lumen.

### 2.3.2. Aspect en longueur

Sur la graine, dans la capsule (tube pratiquement cylindrique), après dessiccation, la fibre se tord sur elle-même et a un aspect vrillé. La figure 5 représente l'aspect en longueur des quatre fibres précédentes.

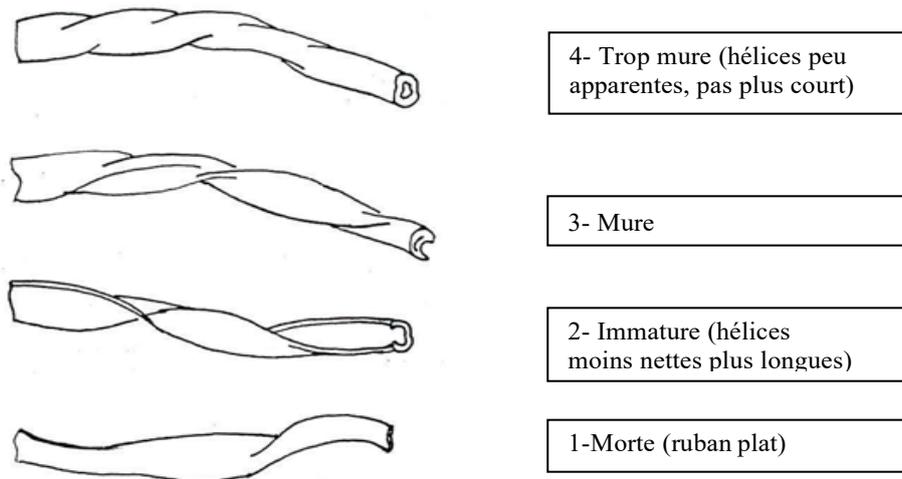


Figure 5. L'aspect en longueur des quatre fibres précédentes

## 3. Les principaux traitements effectués sur le coton

### *Esterification de la cellulose*

La cellulose peut être estérifiée par des acides organiques tels que l'acide acétique en présence d'autres réactifs chimiques pour donner les esters de cellulose : l'acétate ou le triacétate de cellulose. La cellulose utilisée pour l'estérification provient de la pâte à bois ou des linters de coton.

### *Le débouillissage du coton*

Ce traitement préteintorial est destiné à éliminer les impuretés (salissures et matières grasses) contenues dans le coton, alors qu'il est sous forme de fil ou tricot. Le coton rendu par ce traitement régulièrement hydrophile posera moins de problèmes d'unisson en teinture. Le débouillissage s'effectue en milieu alcalin en présence de détergents synthétiques. Aux concentrations employées, les bases ne dégradent pas le coton.

### ***Le blanchiment du coton***

Ce traitement est destiné à éliminer la pigmentation naturelle colorée du coton. On utilise alors l'action dégradante des oxydants. L'oxygène actif (eau oxygénée) ou le chlore actif (chlorite de sodium, hypochlorite de sodium) attaquent les pigments colorés et les détruisent mais ont aussi une certaine influence néfaste sur le coton lui-même. L'obtention d'un blanc trop poussé entraîne souvent une dégradation trop forte du coton.

### ***La teinture du coton***

Ce coton est une matière relativement facile à teindre. Il présente une bonne affinité pour différents types de colorants, ce qui laisse l'entière liberté du choix des colorants en fonction de la nuance voulue et des solidités exigées.

Les groupes alcool de la cellulose réagissent avec les groupes réactifs des colorants réactifs pour donner des liaisons chimiques assez solides. D'autres colorants (naphthols, cuves, soufre...) se fixent sur le coton par insolubilisation. Les colorants directs ou substantifs ne se fixent sur le coton que par des liaisons attractives relativement moins solides que les autres. C'est pourquoi ces colorants demandent un traitement ultérieur qui améliore la solidité aux épreuves humides.

### ***Le mercerisage du coton***

Le mercerisage est un traitement du coton basé sur l'action de la soude caustique à température ambiante et sous tension. En présence de soude à 38° baumé (unité de concentration) à une température comprise entre 15 et 20 °C, la cellulose gonfle et le fil de coton se rétracte de 25 à 30 %. La section des fibres redevient alors à peu près circulaire puisque les fibres en gonflant se détordent.

Pour éviter le retrait du fil de 25 à 30 %, le fil est maintenu tendu lors du mercerisage. De ce fait, la cuticule de la fibre se brise et l'on obtient un aspect brillant, c'est le fil mercerisé. Ce traitement peut être effectué sur le fil, tissu et tricot de coton. La résistance à la rupture à sec et au mouillé de la fibre est accrue de 25 %. Son affinité tinctoriale est meilleure du fait que la cuticule de la fibre a été brisée, ce qui facilite la pénétration du colorant.

### ***Les apprêts chimiques sur coton***

Les apprêts chimiques sont beaucoup plus souvent réalisés sur tissus que sur tricots de coton. Ils ont pour but de conférer ou d'améliorer certaines caractéristiques que le coton ne possède pas ou peu, par dépôts de résines. Ces traitements sont de divers types : apprêts infroissables, ignifuges, hydrofuges...

#### 4. Principaux critères d'appréciation et de contrôle des fibres de coton

La qualité de la fibre de coton dépend de plusieurs facteurs dont les principaux sont :

- la longueur des fibres
- la finesse et la maturité
- les caractéristiques mécaniques
- la propreté ou « grade »

La longueur des fibres avec la propreté ou « grade » sont à la base de la fixation de la valeur marchande de la matière brute.

#### 5. Principaux emplois du coton

Le coton peut être utilisé sous forme :

– de bourre : coton hydrophile, ouate, rembourrage. Les fibres de coton utilisées pour ce genre de fabrication, sont des fibres trop courtes pour être employées dans les cycles de coton peigné et de coton cardé : ce sont les linters, ou les récupérations de filature ;

– de fils pour la bonneterie. Ces fils ont des caractéristiques de résistance en torsion compatibles avec un bon tricotage. Ils sont essentiellement destinés à la fabrication de textiles pour l'habillement ;

– de fils mercerisés qui sont surtout employés en bonneterie pour laquelle, il est demandé, outre les qualités du coton, une meilleure résistance et parfois une meilleure tenue ;

– De fils pour le tissage destinés à la fabrication de textiles pour l'ameublement. Ces fils n'ont pas les mêmes caractéristiques que les fils bonneterie.

Le coton est utilisé pour ses propriétés absorbantes, pour sa douceur et son entretien à haute température (jusqu'à 95 °C) qui permet l'élimination des taches.

– De fils à coudre ou fil pour la broderie : Ce coton est très souvent mercerisé, sa torsion est relativement élevée. Son aptitude à la teinture, sa résistance améliorée, son aspect brillant en font un matériau de qualité pour de nombreuses utilisations surtout pour les rideaux en ameublement.

Le mélange de coton naturel avec des fibres artificielles ou synthétiques (coton/fibranne, coton/polynosique, coton/polyester) permet de diminuer le prix de revient d'un article, d'augmenter sa résistance, d'améliorer ses propriétés d'auto-défroissabilité, sa facilité d'entretien...

## 6. Propriétés de la fibre de coton

### 6.1. Propriétés physiques

Tableau 1. Propriétés physiques de la fibre de coton

Densité	1,54
Taux de reprise	8,5 %
Toucher	Doux et agréable
Action de la chaleur	Le coton jaunit vers 120 °C et se décompose au-delà de 150 °C

### 6.2. Propriétés dynamométriques

Tableau 2. Propriétés dynamométriques de la fibre de coton

Ténacité (g/t ex) à sec	25 à 40 g/tex (fibres)
Ténacité au mouillé	Elle augmente de 10 à 20 % car l'eau facilite l'ordonnement des chaînes macromoléculaires en domaines cristallins
Allongement à la rupture en %	À sec 6-8 % Au mouillé 7-10 %
Reprise élastique	Allongement de 2% à 74% Allongement de 5% à 45 %
Tenue à la lumière	Assez bonne, Jaunissement après une exposition prolongée
Conductibilité thermique	La fibre est moyennement conductrice de la chaleur

## 7. Moyens expérimentaux

Les produits que nous avons utilisés dans cette étude sont : le polyuréthane type ICAFIX PUN acheté auprès du Graphichimie (Maroc), le diméthyle formamide (DMF) et les nanoparticules de carbone, fournis par ProLabo (Maroc), et une cellule photovoltaïque organique OPV d'Infinitypv (Danemark).

La spectroscopie d'absorption dans l'UV et le visible est une méthode basée sur la propriété des molécules d'absorber des radiations lumineuses de longueur d'onde déterminée. Le domaine UV-visible s'étend environ de 800 à 10 nm. Le visible : 800 nm (rouge) - 400 nm (indigo). Le proche-UV : 400 nm - 200 nm et le UV-lointain : 200 nm - 10 nm. Dans une molécule, les transitions électroniques UV-

visibles mettent en jeu les énergies les plus importantes de la chimie (environ de 13 000 à 50 000  $\text{cm}^{-1}$ , soit 160 à 665  $\text{kJ mol}^{-1}$ ). L'ordre de grandeur des énergies mises en jeu est celui des énergies de liaison des molécules et ces rayonnements peuvent parfois provoquer des ruptures de liaisons. Plus généralement, ils provoquent des transitions électroniques entre les différents niveaux d'énergie des molécules. Les spectres d'absorption UV-Vis ont été enregistrés en utilisant des cuves en quartz de trajet optique de 1 cm à l'aide d'un spectrophotomètre thermo-fisher Evo 300 pc.

Un multimètre a été utilisé pour mesurer la résistance électrique du textile et la cellule photovoltaïque organique. L'appareil Hounsfield a été utilisé pour tester les propriétés mécaniques telles que la résistance à la traction et l'allongement à la rupture des tissus. Ces propriétés ont été étudiées selon la norme ISO 13934-1.

## 8. Travaux réalisés et discussion

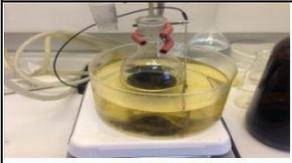
Afin d'élaborer un substrat textile photovoltaïque flexible, transparent et biodégradable, on a développé un tissu à base de coton avec un filament très mince. Une imprégnation avec une mousse contenant des nanoparticules de carbone est réalisée afin d'augmenter le pouvoir conducteur du substrat textile. Dans un premier temps nous avons préparé une mousse de polyuréthane avec les nanoparticules de carbone qui possèdent des propriétés physico-chimiques que n'ont pas les particules plus grosses. Chacun de ses composants est mélangé avec le DMF. Ces particules ont été ajoutées dans la mousse selon la formule suivante (1), en variant les pourcentages de concentration des nanoparticules de carbone de 2 %, 4 % à 6 %, tout en variant la masse du polyuréthane et des nanoparticules de carbone.

$$\frac{mc}{mp} = \frac{dc}{dp} \times \frac{\%C}{100} \quad (1)$$

$\%C$  est le pourcentage des nanoparticules de carbone,  $mc$  la masse des nanoparticules de carbone,  $mp$  la masse du polyuréthane,  $dc$  la densité des nanoparticules de carbone et  $dp$  la densité du polyuréthane.

Le polyuréthane a été au préalable mélangé avec le DMF dans un bain marie pendant 2 heures à 80 °C, avant d'être agité pendant 1 heure à 250 tr/min. Ensuite les nanoparticules de carbone ont été mélangées avec le DMF dans un ultrason à 70 °C pendant 45 minutes. Avec ces deux mélanges, on a généré une mousse homogène de nanoparticules et polyuréthane avec le générateur de mousse de l'unité pilote. Cette mousse est déposée sur le textile par enduction avec une épaisseur de 0,5 mm, après on a séché dans une rame textile à 80 °C. (tableau 3)

Tableau 3. Le tableau représente les étapes de réalisation du textile conducteur

Étape 1	Étape 2	Étape 3
Préparation de la mousse de nanoparticules de carbone	Enduction	Réalisation d'un échantillon : - Conducteur - Flexible
		

La mousse a été enduite sur le textile par raclage à l'air libre avec un appareil d'enduction manuelle à une épaisseur de 0.1 nm et laissée sécher à 150 °C pendant 3 minutes dans l'étuve. Nous avons procédé à la mesure des caractéristiques électriques afin de vérifier la conductivité du textile. Les mesures de la résistance faite par un multimètre dans une chambre à une température de 20 °C et une humidité de 65 %, nous ont confirmé la conductivité du textile avec une résistance comprise entre 0,6  $\Omega$  et 1  $\Omega$ , en adéquation pour être un support cellule solaire organique tout en conservant la bonne flexibilité du support.

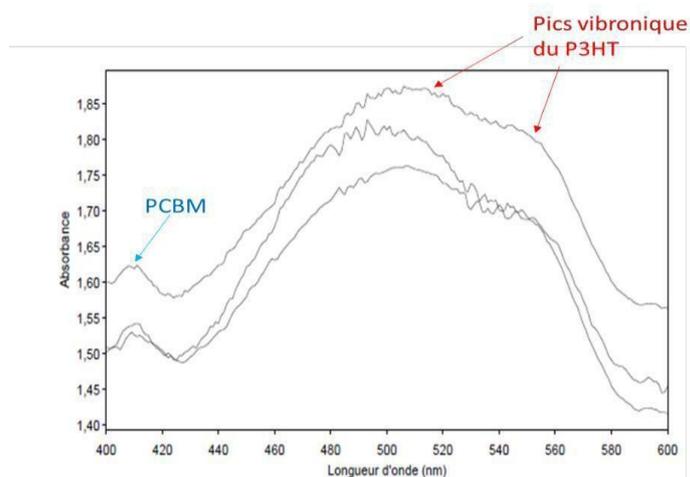


Figure 6. Analyse UV de la cellule photovoltaïque organique

La cellule solaire utilisée durant notre étude a été caractérisée par UV Visible afin de déterminer l'absorbance de la cellule durant un certain nombre de jours. Les résultats de l'observation montrent deux pics caractéristiques d'absorption vibronique, à 510 et 550 nm du P3HT, qui est un matériau de type P, appelé donneur

d'électrons, ce qui lui donne cette couleur rouge. Une signature optique typique du PCBM est également observée à 410 nm, PCBM étant un matériau de type N appelé accepteur d'électrons. Ces résultats montrent la bonne qualité optique de la cellule et son adéquation avec le textile conducteur élaboré (figure 6).

## 9. Caractérisation électrique

Comme cité en introduction du présent travail, notre but est d'élaborer un textile conducteur. Pour cela, nous avons réalisé des tests électriques sur le textile mis en œuvre. On a mesuré la résistance le long du textile qui nous a donné de bons résultats de conductivité. Après nous avons essayé de mesurer la résistance entre deux points, pour différentes valeurs de la distance les séparant, afin de pouvoir les comparer ultérieurement avec la mesure des quatre points. On a trouvé une résistance de  $R = 67 \Omega$  entre 2 points (2 cm),  $R = 57 \Omega$  entre 2 points (1 cm),  $R = 29 \Omega$  entre 2 points (1 mm) et  $R = 31 \Omega$  entre 2 points (2 mm). En effet, la conductivité augmente en diminuant la distance.

## 10. Essais mécaniques

### 10.1. Sur le tissu

Les propriétés mécaniques comme la résistance à la traction et l'allongement à la rupture des tissus ont été étudiées selon la norme ISO 13934-1. L'appareil Hounsfield a été utilisé (figure 7).



Figure 7. Appareil Hounsfield pour la réalisation d'essai de traction sur bandes textiles

### 10.2. Mode opératoire

Deux jeux d'éprouvettes ont été prélevés dans le sens chaîne du tissu. Chaque jeu comprend 4 éprouvettes de 5 cm x 30 cm. Chaque éprouvette est fixée au centre de l'appareil de manière à ce que son axe longitudinal central passe par le centre des bords extérieurs des mâchoires. La longueur d'essai de l'appareil de traction est de 200 mm. La vitesse d'extension de l'appareil est de 100 mm/min sous une précharge de 5000 N. Les résultats de force et de l'allongement à la rupture ont été exprimés par la moyenne arithmétique des 4 éprouvettes dans le sens chaîne des bandes du tissu.

### 10.3. Résultat de l'essai sens chaîne

Le tableau 4 montre les différents paramètres des résultats obtenus pour les quatre tests. La force maximum moyenne à laquelle notre textile peut résister est de 1713 N avec un allongement de 26,6 %, ce qui nous montre la bonne flexibilité du textile. Sur le même tableau, nous avons calculé l'écart type et le coefficient de variation afin d'apprécier les variations sur les mesures. On a constaté une faible variation des paramètres, de l'ordre de 3 %, pour les quatre échantillons, traduisant un comportement relativement identique des différentes éprouvettes.

Tableau 4. Caractéristiques des coefficients de variation du test de traction

Éprouvette NO	Force Maxi (N)	Allongement maxi (%)	Rupture (N)	Allongement (%)
Wrap 1	1722	26,36	1718	26,40
Wrap 2	1654	25,76	1654	25,76
Wrap 3	1702	26,55	1696	26,74
Wrap 4	1772	27,86	1772	27,86
Moyenne	1713	26,63	1710	26,69
Écart Type	48,8637562	0,884887	49,1256891	0,87946954
Coefficient de variation (CV)	0,02853358	0,03322582	0,02872847	0,0329518
CV en %	2,85	3,32	2,87	3,29

## 11. Conclusion

Cette étude nous a permis de développer un substrat textile capable de répondre à des caractéristiques comme la conductivité et la résistance à la traction, particulièrement recherchées pour une utilisation comme support de cellules photovoltaïques flexibles. En perspective, il serait intéressant d'évaluer l'influence de l'ajout d'autres éléments, comme le Graphene ou les nanotubes de carbone, sur le

support textile et améliorer la conductivité de la jonction substrat-cellule. Le but est d'aboutir à la création d'un textile photovoltaïque flexible qui permet d'alimenter des téléphones portables, des LED flexibles, ...

### Bibliographie

- Boukhriss, A. (2015). *Elaboration de revêtements hybrides par le procédé sol-gel pour conférer de nouvelles fonctions à des matériaux textiles*. Doctoral dissertation, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II).
- Dridi S. (2010). *Essais de caractérisation des structures tissées* (Doctoral dissertation, Ecole centrale de Lyon).
- Jouane, Y. (2012). Apport des couches interfaciales à base d'oxyde de Zinc déposé par pulvérisation dans les performances des cellules photovoltaïques organiques compatibles avec des substrats flexibles (Doctoral dissertation, Université Louis Pasteur-Strasbourg I).
- Hsieh Y. L. (2007). Chemical structure and properties of cotton. *Cotton: science and technology*, 3-34.
- Itf Maille, Les matières textiles, Centre de recherche et développement (Itf maille)
- Liu, Y., Qi, N., Song, T., Jia, M., Xia, Z., Yuan, Z., ... & Sun, B. (2014). Highly flexible and lightweight organic solar cells on biocompatible silk fibroin. *ACS applied materials & interfaces*, 6(23), 20670-20675.
- Lin, T., Wang, L., Wang, X., & Kaynak, A. (2005). Polymerising pyrrole on polyester textiles and controlling the conductivity through coating thickness. *Thin solid films*, 479(1), 77-82.
- Shirakawa, H., Louis, E. J., MacDiarmid, A. G., Chiang, C. K., & Heeger, A. J. (1977). Synthesis of electrically conducting organic polymers: halogen derivatives of polyacetylene, (CH)<sub>x</sub>. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*, (16), 578-580.
- Towards green electronics in Europe, Strategic research agenda from Organic & Large Area Electronics (OLAE), 2009.

