

Extraction et analyse de la cellulose issue de biomasses végétales disponibles au Burkina Faso

W. Igor Ouedraogo¹ et Yvonne L. Bonzi Coulibaly^{1*}

Résumé

La biomasse végétale naturelle disponible comme les tiges, la paille, la sciure et les sons a été soumise à extraction en milieu acide et en milieu basique pour fournir de la cellulose avec différentes quantités de lignine résiduelle. Le blanchiment à l'hypochlorite de sodium de la cellulose extraite en milieu basique permet d'obtenir de la cellulose de bonne qualité. La méthode peu coûteuse et respectueuse de l'environnement est l'extraction en milieu basique de la paille d'herbe ou du son de maïs. Les celluloses obtenues de diverses matrices sont transformées en acétate de cellulose.

Mots-clés : cellulose, extraction, biomasse végétale, lignine, acétate de cellulose.

Extraction and analysis of cellulose from discharge vegetable biomasses available in Burkina Faso

Abstract

Natural vegetable biomass as stalk, straw, sawdust and bran provide by acidic and basic extraction, cellulose with different quantities of residual lignin. After basic extraction, additional treatment with sodium hypochlorite gives good quality of cellulose. The inexpensive and environmental friendly easy treatment is the basic condition applied to herbal straw and maize bran. Celluloses obtained from various matrix are converted to cellulose acetate.

Keywords: cellulose, extraction, vegetable biomass, lignin, cellulose acetate.

Introduction

La biomasse végétale constituée de 15 % à 99 % de cellulose fait de ce composé le polymère naturel le plus abondant (YUN *et al.*, 2008 ; DOGAN *et al.*, 2009). L'extraction de la cellulose à partir de rejets de biomasses comme les sous-produits agricoles est un sujet porteur du fait que la biomasse est renouvelable, disponible à faible coût et la cellulose issue de cette biomasse est biodégradable (Khrystova *et al.*, 2006 ; Malainine *et al.*, 2003). Au Burkina Faso, les déchets de matrices végétales existantes comme sources de cellulose sont entre autres : la sciure de bois, le son de maïs, le son de riz, la paille de riz, la paille d'herbe, les tiges de maïs, de mil, de sorgho ou de canne à sucre.

¹ Laboratoire de Chimie Organique : Structure et Réactivité ; UFR-SEA, Université de Ouagadougou, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso, Tél. (226) 50 30 70 64 poste 5034, Fax (226) 50 30 72 42

* Email (auteur de toute correspondance) : bonziy@univ-ouaga.bf

Le but de ce travail est d'extraire de la cellulose quantitativement et qualitativement à partir de rejets agricoles et de paille d'herbes. La cellulose connaît un regain d'intérêt à l'échelle mondiale pour ses applications. Dans notre cas, elle est étudiée en vue d'un usage comme support de fixation des huiles essentielles ; cette matrice chargée devrait servir ainsi dans la formulation d'insecticides solides naturels destinés à la protection des stocks de produits agricoles contre les nuisibles (bruche de niébé, charançon du maïs, etc.). L'extraction de la cellulose à partir de divers sons, tiges et pailles a été réalisée par deux protocoles : l'un en milieu acide et l'autre en milieu basique. Les extraits cellulosiques ainsi obtenus ont été soumis aux tests de blanchiment et à la réaction d'acétylation. La qualité des différents produits obtenus au cours de ces transformations a été suivie par spectrométrie Infrarouge à Transformée de Fourier (IR-TF).

Pour l'industrie, la production à moindre coût de cellulose en tant que matrice de dépollution ou d'acétate de cellulose en tant que polymère plastique reste toujours d'actualité. (STAGE, 2002 ; JOLY, 2003 ; RUSTEMEYER, 2004 ; BISWAS *et al.*, 2006).

Partie expérimentale

Matériels

Les échantillons de biomasses végétales ont été collectés entre 2007 et 2008 sur plusieurs sites situés dans les quartiers de la ville de Ouagadougou, capitale du Burkina Faso. Les sons de maïs et de riz ont été collectés dans un moulin à grains de Zogona. La paille de riz et les tiges de maïs proviennent de la zone du barrage de Tangui. La paille d'herbe (*Pennisetum pedicellatum*) a été collectée sur le campus de l'Université de Ouagadougou. La sciure de bois a été collectée dans les menuiseries de Zogona.

Par contre, à Banfora, ville située au Sud Ouest du Burkina Faso, les tiges de canne à sucre ont été prélevées sur le site de culture de canne à sucre et la sciure du caïlcédrat (*Kaya senegalensis*) provient d'une scierie.

Les produits chimiques utilisés sont de qualité « pour analyse » : KOH, CH₃COOH, HNO₃, NaOCl, H₂SO₄, K₂Cr₂O₇, etc.

Méthodes

L'extraction de la cellulose selon la méthode de Crampton et Maynard (ANCHKAITIS *et al.*, 2008 ; SUN *et al.*, 2004)

Dans un ballon de 500 mL, 10 g de matière végétale (préalablement pulvérisée) sont mélangés à 200 mL d'une solution aqueuse d'acide acétique à 80 % (w/w) et 10 mL d'acide nitrique à 70 % (w/w). Le ballon est hermétiquement fermé et placé dans un bain d'huile à 120°C. (sous hotte). Après 25 minutes, le ballon est refroidi et 100 mL d'eau distillée sont ajoutés au mélange. Le résidu obtenu après filtration est lavé à l'eau distillée jusqu'à la neutralité, puis à l'éthanol 95 % pour éliminer l'acide nitrique et les produits secondaires de la réaction. Le résidu est séché à 60 °C jusqu'à obtenir une masse invariable.

L'extraction de la cellulose selon la méthode de Mercer (JUNIOR *et al.*, 2009 ; CHAUVELON *et al.*, 2003).

40 g de matière végétale (préalablement pulvérisée) sont mélangés à 800 mL d'hydroxyde de potassium (KOH) 2M, l'ensemble est chauffé à 80 °C sous agitation pendant 5 heures. Le résidu est filtré, lavé avec une solution d'acide acétique à 5% puis à l'eau distillée jusqu'à la neutralité. Le résidu obtenu est appelé « enrichissement de cellulose » noté EC. Ce résidu est séché à la température ambiante (pendant 5 jours) jusqu'à l'obtention d'une masse invariable.

Le blanchiment de l'extrait cellulosique par l'hypochlorite de sodium (NaOCl)

2 g de cellulose sont mélangés avec 50 mL d'hypochlorite de sodium 12° (0,54 M) sous agitation. Après trois heures d'agitation, la solution est filtrée sur papier filtre et lavée abondamment avec de l'eau distillée. Le résidu est séché à température ambiante jusqu'à obtenir une masse invariable.

Le traitement de l'extrait cellulosique par le K₂Cr₂O₇ en présence de H₂SO₄

2 g de cellulose sont traités avec un mélange de 50 mL de bichromate de potassium 0,17 M et 25 mL d'acide sulfurique 20 %. L'ensemble est agité pendant 2 heures, filtré puis lavé abondamment avec de l'eau distillée. Le résidu est séché à température ambiante jusqu'à obtenir une masse invariable.

La détermination de la lignine résiduelle selon la méthode de Klason (DIGABEL *et al.*, 2006)

2 g (M) de résidu d'enrichissement de cellulose sont mélangés à 30 mL d'une solution d'acide sulfurique 72 %. L'ensemble est agité pendant 2 heures, puis dilué 7 fois (à 10 % d'acide sulfurique) et le mélange est ensuite chauffé au reflux dans un bain-marie pendant 3 heures. Le mélange est filtré, le précipité recueilli est lavé abondamment avec l'eau distillée jusqu'à la neutralité et séché à 110 °C pendant 20 heures. La masse de produit obtenu représente la masse P₁. Le résidu est calciné à 500 °C pendant 5 heures et pesé pour déterminer la teneur des sels minéraux P₂. La lignine résiduelle est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Taux de Lignine Résiduelle (TLR)} : \frac{P_1 - P_2}{M}$$

L'acétylation de la cellulose

Dans un ballon de 100 mL contenant 2g d'échantillon de cellulose, 0,5 g d'acide acétique, 5,0 g d'anhydride acétique, 30 mL de chlorure de méthylène et 0,04 g d'acide sulfurique sont ajoutés. L'ensemble est porté à reflux, sous agitation magnétique pendant 4 heures. Le mélange réactionnel est refroidi à température ambiante et filtré sur une toile de tissu. Le résidu est lavé avec 20 mL de chlorure de méthylène.

Le filtrat est évaporé à sec à l'aide d'un évaporateur rotatif et le résidu obtenu (l'acétate de cellulose) est lavé à l'eau distillée et séché à température ambiante.

Les mesures Infrarouge à Transformée de Fourier (IR-TF)

Les spectres infrarouge (IR-TF) ont été enregistrés sur un appareil Perkin Elmer Spectrum BX II à Transformée de Fourier, piloté par un ordinateur. Les échantillons de cellulose et d'acétates de cellulose sont préparés sur pastilles de KBr à des concentrations massiques de 1 à 2 %. Chaque spectre obtenu est l'accumulation de 5 scannages. Les nombres d'ondes sont exprimés en cm⁻¹.

Résultats et discussion

Extraction de la cellulose des diverses matrices

Les rendements d'extraction

Les rendements d'extraction exprimés en pourcentage de cellulose obtenue sous forme d'enrichissement de cellulose (EC), à partir de huit matrices végétales différentes, sont consignés dans le tableau I. Il s'agit des résultats obtenus pour les deux protocoles d'extraction en milieu acide et en milieu basique et ceux obtenus par le procédé de traitement alliant extraction en milieu basique suivie de blanchiment.

Pour réduire les erreurs et confirmer les résultats, chaque expérience a été répétée trois fois dans les mêmes conditions et le rendement de cellulose est la moyenne de ces trois extractions. Les erreurs ou déviations standards obtenues sont inférieures à 4,1 %.

Les deux protocoles permettent d'obtenir de la cellulose avec des rendements assez élevés (28 - 70 %) sauf pour le son de maïs où les rendements sont faibles (12-15 %) comme indiqué dans le tableau I.

Des travaux antérieurs ont montré que les sciures de bois et la tige de la canne à sucre sont des sources très riches en cellulose (entre 40 et 50 %) (SUN *et al.*, 2004 ; CANETTIERI *et al.*, 2007). Le traitement acide donne dans notre cas des rendements du même ordre de grandeur. Par contre, le traitement alcalin a donné des rendements plus élevés (70 %, 25 % et 52,75 % respectivement).

Tableau I. Rendements massiques des enrichissements de cellulose de biomasses végétales.

Méthode Matières végétales	Crampton et Maynard	Mercer	Mercer et traitement NaOCl
Sciure/bois*	48,8 ± 1,4	70,3 ± 1,3	51,6 ± 1,8
Sciure/Caïlcédrat	42,3 ± 0,5	59,3 ± 3,1	45,1 ± 2,1
Son/riz	28,5 ± 3,2	23,6 ± 0,4	19,3 ± 0,5
Son/maïs	12,5 ± 0,4	14,5 ± 0,7	09,4 ± 1,4
Paille/riz	38,1 ± 2,9	34,3 ± 4,1	27,5 ± 0,5
Paille/herbe	42,2 ± 4,0	40,2 ± 0,8	37,7 ± 0,7
Tige/maïs	30,5 ± 1,3	34,9 ± 3,0	27,8 ± 0,4
Tige/canne à sucre	48,3 ± 2,1	52,8 ± 2,8	44,6 ± 3,4

Les valeurs sont exprimées en % masse/masse (m/m)

(*) Espèce végétale non précise.

Les rendements en EC issus du traitement alcalin sont supérieurs à ceux du traitement acide dans le cas des sciures, du son de maïs, des tiges de maïs et de canne à sucre. De manière générale, la cellulose obtenue par le traitement alcalin est colorée (brunâtre), alors que le traitement en milieu acide conduit à des fibres jaunâtres. En effet, la cellulose est intrinsèquement blanche ; la couleur est due à la présence de dérivés de la lignine, les quinones qui possèdent des groupements C = O (groupements chromophores) (SEVILANO 1999).

Pour une applicabilité aisée, le choix de la méthode d'extraction de la cellulose doit tenir compte de la rapidité, la facilité, le coût, les effets secondaires et le respect de l'environnement.

La méthode d'extraction en milieu basique appelée mercerisation semble plus appropriée car c'est une méthode rapide et simple qui n'exige pas de précautions particulières et est respectueuse de l'environnement. La récupération de la soude pourrait être envisagée en fin d'une procédure pour réutilisation.

La méthode d'extraction en milieu acide est plus difficile à mettre en œuvre car elle nécessite un acide fort toxique pour l'homme, l'acide nitrique (HNO_3).

La biomasse qui donne la cellulose de meilleure qualité en une étape d'extraction est le son de maïs même si le rendement reste faible. La paille d'herbe peut être également exploitée utilement pour l'extraction de cellulose.

La biomasse qui donne le rendement le plus élevé en cellulose est la sciure de bois qui devra donc être soumise au traitement de blanchiment pour obtenir une cellulose de qualité.

Les enrichissements de cellulose obtenus par extraction en milieu basique et soumis au blanchiment par l'eau de javel pour éliminer la lignine résiduelle conduisent dans tous les cas à une baisse en masse de l'extrait cellulosique.

L'analyse en spectrométrie infrarouge

Les données IR-TF relatives aux bandes de vibration de la cellulose : $3447\text{-}3423\text{ cm}^{-1}$ (O-H), $2910\text{-}2898\text{ cm}^{-1}$ (C-H), $1644\text{-}1635\text{ cm}^{-1}$ (bande caractéristique de l'eau retenue dans les fibres), $1427\text{-}1424\text{ cm}^{-1}$ (CH_2), 1373 cm^{-1} (O-H), 1319 cm^{-1} ($-\text{C}-\text{C}-$ et $-\text{C}-\text{O}-$), $1264\text{-}1252\text{ cm}^{-1}$ (O-H), 1162 cm^{-1} (C-O), $1059\text{-}1026\text{ cm}^{-1}$ (C-O-C), $894\text{-}991\text{ cm}^{-1}$.

Les bandes de vibration caractéristiques supplémentaires de l'acétate de cellulose : $1749\text{-}1752\text{ cm}^{-1}$ (C = O ester), $1373\text{-}1376\text{ cm}^{-1}$ ($-\text{C}-\text{CH}_3$), $1240\text{-}1243\text{ cm}^{-1}$ ($-\text{C}-\text{O}-$).

En analyse FT-IR, les profils et les intensités relatives des bandes d'absorption sur les spectres sont semblables, indiquant les mêmes structures des celluloses obtenues par isolement en milieu acide acétique/acide nitrique ou avec une solution alcaline.

Les bandes d'absorption en IR observées à 1600 et 1505 cm^{-1} sont caractéristiques de la lignine associée au polymère cellulose (FERNANDEZ-BOLANOS *et al.*, 1999). L'intensité de ces bandes d'absorption varie en fonction de l'efficacité du traitement sur la matière végétale brute.

Évidemment, les deux procédures d'extraction ont éliminé dans certains cas la plupart de la lignine en raison de la disparition de ces bandes sur les spectres IR.

Pour le traitement acide, ces bandes sont plus intenses dans le cas du son de riz et de la paille de riz ; mais elles sont moyennes pour le son de maïs et la paille d'herbe et très faibles pour la sciure de bois et du caïlcédrat ainsi que pour les tiges de maïs.

Le traitement acide permet d'obtenir des substrats très enrichis à partir de la paille de riz et du son de maïs. Ces résultats sont en relation avec les résultats obtenus avec la méthode de Klason sur les substrats après traitement acide.

Cependant, il convient de noter que les spectres des substrats obtenus par traitement acide fournissent l'évidence d'une légère acétylation de la cellulose par la présence de bandes caractéristiques de l'acétyle ester à 1737-1735 cm^{-1} (C=O ester) et la bande d'étirement -C-O- à 1252 cm^{-1} (ANCHUKAITIS *et al.*, 2008). Cette acétylation se réalise au cours du traitement au mélange acide acétique et acide nitrique.

Pour ce qui concerne la cellulose obtenue par le traitement basique, ces bandes sont importantes sur les spectres IR des substrats des sciures et de son de riz ; elles sont moyennes dans ceux de la paille d'herbe, des tiges de maïs et de canne à sucre.

La quantification de la lignine résiduelle des enrichissements de cellulose

Les taux de lignine résiduelle (TLR) sont estimés après hydrolyse acide des polysaccharides des résidus cellulosiques ; les valeurs obtenues sont consignées dans le tableau II.

Tableau II. Les teneurs en lignine résiduelle des résidus cellulosiques.

Origine de EC	EC	EC	EC Mercer
Matières végétales	Crampton et Maynard	Mercer	traitement NaOCl
Sciure/bois*	0,03	0,36	0,04
Sciure/caïlcédrat	0,04	0,33	0,02
Son/riz	0,27	0,23	0,04
Son/maïs	0,06	0,04	< 0,01
Paille/riz	0,11	0,06	< 0,01
Paille/herbe	0,11	0,05	0,03
Tige/maïs	0,05	0,08	< 0,01
Tige/canne à sucre	0,05	0,15	< 0,01

(*) Espèce végétale non précise.

Le traitement acide a permis d'obtenir des substrats enrichis en cellulose à partir des sciures, des tiges de maïs et de la canne à sucre avec une TLR inférieure à 5 % ; ces substrats sont moyennement enrichis (TLR de 11 %) pour les pailles de riz et d'herbe. Cependant, les substrats obtenus avec les sons de riz contiennent une importante quantité de lignine (TLR supérieure à 25 %). Les données de ce tableau II montrent que le traitement acide est plus efficace sur les sciures ainsi que sur les tiges de maïs et de canne à sucre. Dans ces derniers cas, l'enrichissement en cellulose a une pureté supérieure ou égale à 95 % (TLR inférieure ou égale à 5 %).

Le traitement de la matière végétale par l'hydroxyde de potassium (mercerisation) permet d'obtenir des substrats bien enrichis en cellulose pour le son de maïs, la paille de riz, la paille d'herbe et les tiges de maïs (TLR inférieur à 8 %). Dans les cas des sciures, une importante quantité de lignine insoluble (supérieure au 1/3 du résidu) est restée fort liée aux fibres de cellulose. Contrairement au traitement acide, la mercerisation est plus efficace sur les coproduits agricoles tels que les pailles (OGIER *et al.*, 1999) que sur les coproduits du bois.

L'efficacité du traitement alcalin dépend de la nature du substrat ; ce traitement conduit à un produit de couleur brunâtre, mais le procédé est moins cher et plus facile. Lorsque le produit est soumis au blanchiment par $K_2Cr_2O_7$ en milieu H_2SO_4 , on observe un gonflement accompagné d'un blanchiment des fibres.

La détermination de la TLR confirme les observations faites sur les spectres IR à savoir que les biomasses de choix pour obtenir la cellulose de qualité sont le son de maïs et la paille d'herbe. La cellulose extraite de la sciure doit être soumise au traitement de blanchiment pour obtenir une cellulose de qualité.

Préparation des acétates de cellulose

Les masses obtenues dans la synthèse des acétates de cellulose sont consignées dans le tableau III.

Tableau III. Rendements massiques de synthèse de l'acétate de cellulose.

Origine de l'EC	EC issu de l'extraction acide	EC issu de l'extraction basique
Matières	Rendement massique (% g/g)	Rendement massique (%g/g)
Sciure de bois*	105	70
Son de riz	110	62
Paille de riz	115	115
Paille d'herbe	135	90
Tige de canne à sucre	103	75

(*) Espèce végétale non précise.

L'acétylation devrait conduire à une augmentation de la masse du fait de l'apport de trois groupements acétyle par molécule de glucose. Le rendement de transformation de la cellulose en tri-acétate peut être envisagé comme un critère de qualité de la cellulose de départ si l'on considère les valeurs des masses d'acétate de cellulose obtenues avec les EC issus de la voie acide qui sont en général plus élevées que celles obtenues par un traitement basique. L'analyse des spectres IR- TF des acétates de cellulose préparés, et la mesure de leurs degrés de substitution par dosage volumétrique sont en cours afin de dégager des indices de corrélation.

Conclusion

A partir de diverses matrices cellulosiques disponibles au Burkina Faso sous forme de sons, de pailles ou de tiges, nous avons pu obtenir de la cellulose de bonne qualité qui par acétylation fournit de l'acétate de cellulose. Selon la provenance de la biomasse végétale, il existe une différence en rendement et en qualité de cellulose obtenue par extraction en milieu basique ou en milieu acide.

Sur la base des rendements obtenus de la simplicité du protocole, des caractéristiques IR et de la couleur de la cellulose extraite, nous proposons le son de maïs, la paille d'herbe comme matières premières de départ à soumettre à un traitement basique pour l'extraction.

Des études d'optimisation des rendements d'extraction au laboratoire de production à échelle pilote et de rentabilité économique favorable devraient permettre d'envisager une production à l'échelle semi-industrielle pour fournir de la matière utile en vue des applications variées de la cellulose et de ses dérivés.

Ces différents enrichissements de cellulose ont été testés efficacement pour leurs capacités d'adsorption de cations : Mg, Ca, Cd, Pb et d'huiles essentielles.

Remerciement

Les auteurs remercient la Commission Universitaire pour le Développement (Coopération belge) pour le soutien financier et technique.

Références citées

- ANCHUKAITIS K. J., EVANS M. N., LANGE T., SMITH D. R., LEAVITT S. W., SCHRAG D. P., 2008.** Consequences of a rapid cellulose extraction technique for oxygen isotope and radiocarbon analyses. *Analyt. Chem.* (80)6, 2035-2041.
- BISWAS A., SAHA B. C., LAWTON J. W., SHOGREN R. L., WILLETT J. L., 2006.** Process for obtaining cellulose acetate from agricultural by-products. *Carbohydr. Polym.* (64), 134-137.
- CANETTIERI E. V., ROCHA G. J. DE MORAES, CARVALHO JR. J. A. DE, SILVA J. B. DE A. E., 2007.** Optimization of acid hydrolysis from the hemicellulosic fraction of Eucalyptus grandis residue using response surface methodology. *Bioresource Technol.* (98), 422-428.
- CHAUVELON G., BULEON A., THIBAUT J.-F., SAULNIER L., 2003.** Preparation of sulfoacetate derivatives of cellulose by direct esterification. *Carbohydr. Res.* (338), 743-750.
- DOGAN H., HILMIOGLU N. D. 2009.** Dissolution of cellulose with NMMO by microwave heating. *Carbohydr. Polym.* (75), 90-94.
- FERNANDEZ-BOLANOS J., FELIZON B., HEREDIA A., GUILLEN R., JIMENEZ A., 1999.** Characterization of the lignin obtained by alkaline delignification and of the cellulose residue from steam-exploded olive stones. *Bioresource Technol.* (68), 121-132.
- JÚNIOR O. K., GURGEL L. V. A., DE FREITAS R. P., GIL L. F., 2009.** Adsorption of Cu(II), Cd(II), and Pb(II) from aqueous single metal solutions by mercerized cellulose and mercerized sugarcane bagasse chemically modified with EDTA dianhydride (EDTAD). *Carbohydr. Polym.* (77), 643-650.
- KHRISTOVA P., KORDSACHIA O., PATT R., DAFAALLA S., 2006.** Alkaline pulping of some eucalypts from Sudan. *Bioresource Technol.* (97) 535-544
- LE DIGABEL F., AVEROUS L., 2006.** Effects of lignin content on the properties of lignocellulose-based biocomposites. *Carbohydr. Polym.* (66), 4, 537-545.
- MALAININE M. E., DUFRESNE A., LE DUPEYRE D., MAHROUZ M., VUONG R., VIGNON M. R., 2003.** Structure and morphology of cladodes and spines of *Opuntia ficus-indica*. Cellulose extraction and characterisation. *Carbohydr. Polym.* (51) 77-83.
- JOLY N., 2003.** Synthèse et caractérisation de nouveaux films plastiques obtenus par acylation et réticulation de la cellulose. Thèse de l'Université de Limoges N°20. 157 pages.
- OGIER J.-C., BALLERINI D., LEYGUE J.-P., RIGAL L. ET POURQUIE J., 1999.** Production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique. *Oil. Gas Sci. Technol.* (54), 1, 67-94.
- RUSTEMEYER P., 2004.** Cellulose acetates: properties and application. *Macromol. Symp.* (208), 255-353.

SATGE C., 2002. Etude de nouvelles stratégies de valorisation de mono et polysaccharide. Thèse de l'Université de Limoges N°25, 144 pages.

SEVILLANO R-M., 1999. Structure des lignines résiduelles des pates chimiques. Influence des méthodes d'extraction, des procédés de délignification et des essences de bois. Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble n° 99, INPG 0046.

SUN J. X., SUN X. F., ZHAO H., SUN R. C., 2004. Isolation and characterization of cellulose from sugarcane bagasse. *Polymer Degradation and Stability* (84), 331-339.

YUN S., CHEN Y., NAYAK N. J., KIM J., 2008. Effect of solvent mixture on properties and performance of electro-active paper made with regenerated cellulose. *Sensors and Actuators B* (129), 652-658.