

Contribution à l'étude du comportement mécanique des matériaux bio-sourcés de type composite (*Cynara cardunculus/polyester*)

Brahim Issasfa^{1,3}, Toufik Benmansour¹, Valéry VALLE², Morad Boukhatem³ Mostapha Bouakba³

¹ Université Mentouri Constantine (1) Département de Génie Mécanique Campus Chaab Ersas 25000, Constantine - Algérie

² CNRS Université de Poitiers ENSMA UPR 3346 SP2MI Téléport 2 Boulevard Marie et Pierre Curie BP 30179. F86962 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL

³ Université KASDI Marbeh Ouergla département de génie mécanique

e-mail issasfa.brahim@univ-ouargla.dz

Résumé - Ce travail tient compte des contextes économiques, environnementaux et mécaniques des bioproduits régionaux et locaux des milieux fertiles et semi-arides en Algérie. On trouve dans la nature plusieurs solutions des problèmes physiques, particulièrement dans les fabrications des matériaux composites qui constitue un axe porteur dans le domaine de la recherche scientifique et sont soumises à des mesures d'analyses de leurs comportements mécaniques et environnementaux afin de permettre leur utilisation dans les différents secteurs industriel du bâtiment, de l'ameublement, de l'emballage, de l'habillement, des loisirs, de l'aéronautique et de l'industrie automobile,.... autres.

L'intérêt de cette étude porte sur les matériaux renouvelables de biomasses d'énergie, de bioproduits et/ou de biocomposite. Notre travail appuie sur la méthode d'extraction et la caractérisation mécanique des fibres de biomasse Artichaut (*Cynara cardunculus* L) qui sont produits naturellement et en abondance dans les régions au nord de l'Algérie particulièrement leurs nord-est. On consiste aussi la fabrication de modèles en biocomposites constitués de matériaux stratifiés en fibres longue du type « *Cynara cardunculus* L » composé avec la résine polyester non saturée. Des échantillons d'éprouvettes normalisées sont alors puisées de ces modèles afin d'effectuer les essais de traction pour évaluer leur comportement mécanique.

Mots clé : matériaux composites, fibres naturelles, *Cynara cardunculus* L, résine polyester, caractérisation mécanique.

1. Introduction

L'attention mondiale sur la santé de la planète sans cesse menacé par la dégradation de l'environnement sous l'effet de l'insouciance des opérateurs économique et industriel devient de plus en plus motivée afin de palier à ce risque en encourageant la solution vers les énergies renouvelable, notamment, l'utilisation des matériaux verts qui offre un double avantage le respect de l'environnement tout en observant le critère de conception optimal désiré « robustesse alliée à la légèreté économique ».

Les bio-matériaux constitue une question primordiale[1]. Le changement alternatif des renforts conventionnel de matériaux composites (fibres de carbone, fibre de verre,...) par des fibres naturel fait l'actualité de la recherche contemporaine orientée vers les différents axes industriels (automobile, bâtiment, aéronautique, loisir, sports,...)[2-5]. L'amélioration du comportement mécanique et des caractéristiques physiques (la contrainte, la déformation, le module de Young, le

coefficient de poisson, la masse volumique, l'absorption des liquides, hygrométrie, la conductivité thermique, la légèreté...) sont des réponses ciblées par les chercheurs ingénieurs [6]. La diminution de coût, l'augmentation de la durée de vie, la fiabilité et la facilité d'utilisation sont des besoins très motivés par les deux parties constructeurs et consommateurs.

Le but de ce travail est l'extraction des fibres de plante Artichaut « *Cynara cardunculus* L » naturellement en abondance au nord de Algérie, et utilisée pour la préparation de composite biosourcée (polyester/fibres de *Cynara cardunculus* L). L'essai de traction est utilisé, pour la caractérisation du comportement mécanique des composantes de renfort en bio-fibre, de la résine polyester puis de l'ensemble globale (bio-composite).

Botaniquement, l'artichaut est classé comme une plante nutritive d'alimentation et en plus particulier la tige et la tête [7,8]. En Algérie les feuilles de l'artichaut sont exploitées pour cuisinier l'alimentation traditionnel et leurs racines sont utilisés comme produit phytothérapeutique (médicaments à base de plantes). Bien que les chimistes déposent beaucoup de titres de recherche du côté de l'extraction des produits chimiques et/ou pharmaceutique [9-14].

Les fibres naturels lignocellulosiques telles que le sisal, coir, jute, ramie, feuilles Ananas, et kenaf peuvent être remplacés les fibres de verres ou autre matériaux de renforcement traditionnels des composites [15-18]. Ces fibres ont différentes propriétés comme rigidité [19], résistance d'impact [20], flexibilité [21], En plus, ils sont disponibles avec grand quantité.

Nota : les fibres a utilisé dans ce travail est de l'artichaut qu'ils existent dans des régions de la wilaya de SKIKDA en Algérie.

2. Classification de fibre Artichaut (*Cynara cardunculus* L)

Plusieurs types des plantes sont source des différentes fibres (bio-fibres) sont classifiés comme première et deuxième en fonction de leurs utilisations. Les premières plantes sont développées pour leurs contenants des fibres tant que la deuxième plantes est les plantes qui produisent. Les fibres comme sous-produit. Le jute, le chanvre, le Kénaf, et le sisal sont des exemples des plantes primaires. Le Ananas, le Palmier à huile et la fibre de Coco sont des exemples des plantes secondaires [22].



Figure 1. Artichaut *Cynara cardunculus* L



Figure 2. Feuille d'Artichaut déchiquetée

Il y'a six types de fibres naturels de base. Ils sont classifiés comme suites : fibres libériennes (jute, lin, chanvre, ramie et Kenaf), fibres de feuille (abaca, sisal et ananas), fibre de grain (coco,

coton et kapokier), fibres de âme (kenaf, chanvre et jute), fibre de herbe et Peigne (Blé, Maïs et Riz) et tous autres types (bois et racines).

En se appuyant sur les classifications précédentes, nous trouvons que l'Artichaut « *Cynara cardunculus L* » (Figure 1) produise les quatre catégories de source des fibres, de la racine, de la tige, de la feuille et de fruit[23]. Dans ce travail, on intéresse par les fibres déplantées de feuilles d'Artichaut.

3. Extraction des fibres

Plusieurs techniques d'extraction des biofibres parmi ces techniques on peut choisir :

- le rouissage : processus de pourrissement dans lequel la pectine qui lie les fibres. Cette opération peut s'effectuer dans l'eau (courante ou non)[24], au sol [25] aujourd'hui, il existe également des moyens chimiques et enzymatiques permettant d'accélérer de ce processus [26] . Pour le lin, le rouissage au sol est le plus courant, car du fait des impacts environnementaux, le rouissage à l'eau est interdit en Europe [27] ;
- le broyage : fragmentation des parties ligneuses ;
- le teillage : séparation des fragments ligneux du bois de la plante ;
- le peignage et le cardage : démêlage des fibres.

Dans notre travail, après avoir coupées et purifiées les feuilles (figure 3.) laisses les sur un sol de matière souple ou spongieux et avec un marteau en caoutchouc frappe les feuilles jusqu'à la séparation des fibres puis agiter les fibres (figure 4) de pâte cellulosique. Chaque feuilles produite nettement 25 jusqu'à 38 fibres. On peut signaler que cette méthode ne pollue pas l'environnement.



Figure 3 : Feuilles artichaut purifiées

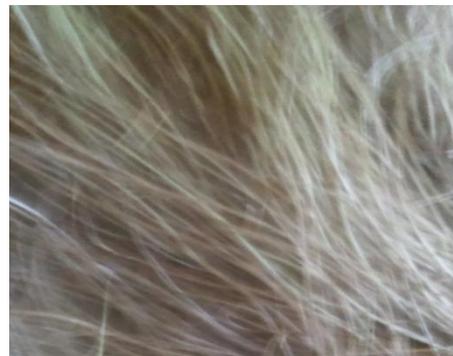


Figure 4 : Fibres des feuilles d'Artichaut

4. Caractérisation mécanique des biofibres *Cynara cardunculus*

Les essais de traction des biofibres s'effectuent par une machine universelle des essais mécaniques (traction, flexion, compression, dureté...) avec la respections de la norme [28] cette norme couvre la préparation, le montage et les tests de fibres individuelles pour la détermination de la résistance à la traction et le module de Young à température ambiante. Les biofibres à essayées sont trentaine ont des dimensions de diamètre entre 200µm à 400µm.

4.1. Résultats et discussions

La figure 5 présentée des courbes comparatifs de comportement contrainte-déformation de traction des fibres d'artichaut (*Cynara cardunculus L*) pour différents diamètres sans traitement quel que soit chimique ou thermique. Cette diversité qui présentées dans la figure 5 peut être principalement liée aux facteurs de paramètres de test et conditions, caractéristiques des plantes et des mesures. En ce qui concerne les caractéristiques des plantes, les facteurs qui influent sur le comportement mécanique sont la source de la plante, l'âge, les procédés d'extraction de la fibre et la

présence de défauts. Ces caractéristiques font qu'il est nécessaire d'utiliser des approches statistiques pour évaluer les propriétés mécaniques. Il est clairement visible aussi que les fibres présentent un comportement fragile. Cependant, les résultats de l'essai de traction sur filaments de petites fibres naturelles fragiles sont difficiles à analyser en raison de la grande dispersion observée.

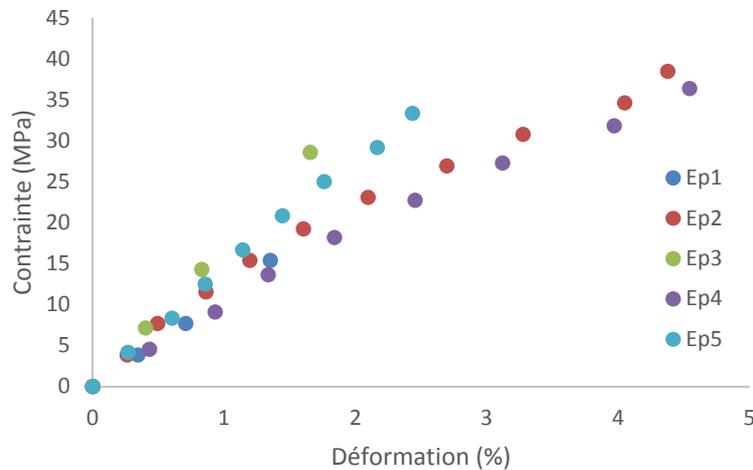


Figure 5 : Courbes contrainte / déformation de traction des fibres de artichaut *Cynara cardunculus*

5. Elaboration et caractérisations des éprouvettes en biocomposite

Le biocomposite étudié est un stratifié à fibres de Artichaut et d'une résine polyester. Le renfort est une fibre de *Cynara cardunculus* L. Il s'agit de la variété Skikda cultivée dans le nord-est de l'Algérie. L'orientation des fibres est unidirectionnelles 0/90°. Celles-ci sont liées par un fil de couture en coton.

La matrice est constituée d'un mélange de résine polyester PRE 64 et d'un durcisseur SR8205 et d'un accélérateur. Lors de l'élaboration, les plis sont d'abord imprégnés de résine, puis empilés manuellement et introduit dans le moule. Partant de la température ambiante. Les mesures indiquent un taux de fibre de $43,5 \pm 1,4\%$ calculé par l'utilisation de la norme ASTM D3171 – 99 [29] sachant que $\rho_f = 1500 \text{ kg} / \text{m}^3$.

5.1 Essai de cisaillement courte-poutre

L'application de cette méthode d'essai est limitée pour des composites à matrice polymère renforcée par des fibres continues ou discontinues, dont les propriétés élastiques sont équilibrées et symétriques par rapport à l'axe longitudinal de la poutre. Cette méthode d'essai permet de déterminer la résistance au cisaillement du court poutre. L'éprouvette considérée comme une poutre courte usinée à partir une stratifié plat de 4,00 mm d'épaisseur. La poutre est chargée dans flexion trois points.

5.1. Installation et chargement de l'éprouvette

La figure 6 montre l'installation et la charge de l'éprouvette. L'écarte entre les deux articulations est h, épaisseur est t, la largeur est b et les distances de bord est e (hors les articulations). Le rapport h/t est égal à 5, pour l'épaisseur.

La résistance de la flexion de l'éprouvette (poutre-courte) calculée par l'équation 1 comme suite :

$$F^{sbs} = 0.75 \times \frac{P_m}{b \times h} \quad (1)$$

Où :

F_{sbs} la résistance de courte-poutre, MPa = 3,575 MPa

P_m = la charge maximal observé pendant l'essai, N

b = la largeur de l'éprouvette (mm).

h = l'épaisseur de l'éprouvette (mm).

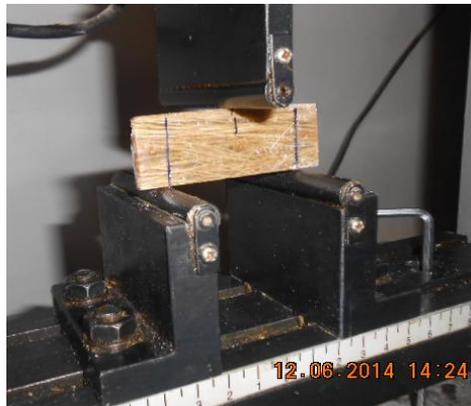


Figure 6. Essai de résistance de court-poutre (fibre Artichaut/polyester)

5.2 Essais quasi-statiques de traction

Les essais quasi-statiques en traction effectués sont décrits par les normes ASTM D 3039/D 3039M [30]. Ils sont réalisés sur une machine servo-électrique TE à mors auto-serrants et avec une vitesse de déplacement de la traverse de 2 mm/min. Les éprouvettes rectangulaires de 250 mm de long, 25 mm de large et $2,1 \pm 0,5$ mm d'épais sont équipées de talons en aluminium de même largeur avec 50 mm de longueur.

5.3 Analyse des résultats

La figure 7 représenté le comportement contrainte/déformation de traction de trois (3) type des éprouvettes d'essai (fibre, composite, résine) sont testées dans une température est régulée à 24 °C

De la figure 5 en trouve que les biofibre agissant sur le comportement de la résine puisque la courbe de biocomposite atteint à une contrainte maximale très important 30 MPa d'un part. D'autre part il est diminué la déformation longitudinale de 20% à cette effet la fibre augmente la fragilité du matériau.

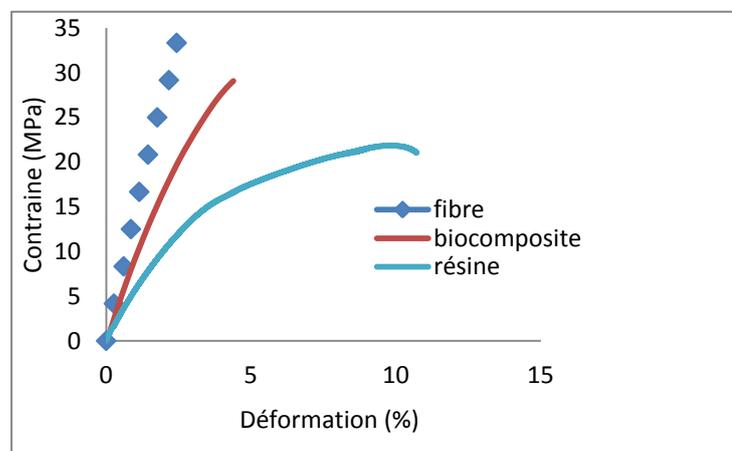


Figure 7 : Comportement en traction de fibre, de résine et de biocomposite

6 Conclusion

L'Algérie du nord est une zone de production naturelle de l'Artichaut (*Cynara cardunculus L* (cultive sauvage) très important, particulièrement en Nord-Est (Annaba, *Skikda*, Guelma, Taraf, Constantine) cette plante est plus répandue naturellement,

Dans ce travail nous avons examinés l'extraction des fibres à partir les feuilles d'Artichaut pour évaluer la possibilité de utilisé comme renforcement des matrices de polymère.

Les résultats expérimentaux sont comparables à celles d'autres fibres naturelles communes [31]. Par contre ils sont inférieures à celles renforcés par les fibres de verre, ce qui explique les développements limités de ces fibres dans le domaine du composite utilisé dans l'industrie qui gère des grande contrainte (force, température, ...).

L'augmentation particulière de l'utilisation de matériaux verts peut être rassemblée notre nouvelle structure de polyester/fibre Artichaut dans le côté construction soit immeuble et/ou navals qui travaillent dans les régions de production de ces fibres.

En conclusion, les feuilles d'Artichaut peuvent être récupérés afin d'extraire les fibres créant une chaîne industrielle, très localisée (c- à-d à partir des champs cultivés aux chantiers de construction), avec un avantage en termes de :

- Au point de vue économique on peut citer les faibles coûts, la réduction importante des temps de cycles de production, les gains énergétique à la transformation et la densité faible par rapport aux autre renforts.
- Au point de vue technique on peut citer les propriétés mécaniques presque identiques en renforcement aux renforts traditionnels.
- Au point de vu écologiques on peut citer, l'abaissement du contenu en matériaux d'origine fossile, l'utilisation d'une plante à fort caractère écologique, l'absence de résidus après incinération ultime en fin de vie, la fabrication de produits avec un aspect naturel aussi elles sont entièrement recyclables ces caractéristiques amènent de plus en plus d'industriels à adopter ces nouvelles matériaux.

En futur l'objectif de ce travail de recherche est de combiner ce type de fibres avec des résines de biosources pour analyser et d'étudier les propriétés mécaniques et l'adhérence fibre/matrice de ce nouveau type de matériaux composites.

Références

- [1]. Mohammed Krouit, Mohamed Naceur Belgacem, Julien Bras. Chemical versus solvent extraction treatment: Comparison and influence on polyester based bio-composite mechanical properties. Composites: Part A 41 (2010) 703–708.
- [2]. Benjamin Masseteau, Annette Roy, Franck Michaud, Marck Irlé. Comptes Rendus des JNC 17 – Poitiers 2011. Bio-based composites for light aircrafts : modelisation of elastic tensil modulus.
- [3]. Yupaporn Ruksakulpiwat, Nitinat Suppakarn, Wimonlak Sutapun, Wandee Thomthong. Vetiver–polypropylene composites: Physical and mechanical properties. Composites: Part A 38 (2007) 590–601.
- [4]. Georgios Koronis, Arlindo Silva, Mihail Fontul Green composites: A review of adequate materials for automotive applications. Composites: Part B 44 (2013) 120–127.
- [5]. Faris M. AL-Oqla, S.M. Sapuan. Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry. Journal of Cleaner Production xxx (2013) 1e8.
- [6]. M.M. Kabir, H. Wang, K.T. Lau, F. Cardona, T. Aravinthan Mechanical properties of chemically-treated hemp fibre reinforced sandwich composites Composites: Part B 43 (2012) 159–169.

- [7]. Domingo Ruiz-Cano a, Francisca Pérez-Llamas, María José Frutos, Marino. Chemical and functional properties of the different by-products of artichoke (*Cynara scolymus* L.) from industrial canning processing. *Food Chemistry* 160 (2014) 134–140.
- [8]. Domingo Ruiz-Cano, Francisca Pérez-Llamas, María José Frutos, Marino B. Arnao Cristóbal Espinosa a, José Ángel López-Jiménez a, Julián Castillo d, Salvador Zamora. Chemical and functional properties of the different by-products of artichoke (*Cynara scolymus* L.) from industrial canning processing. *Food Chemistry* 160 (2014) 134–140
- [9]. Mariela Pistón, Ignacio Machado, Cátia S. Branco, Verónica Cesio, Horacio Heinzen, Daniela Ribeiro, Eduarda Fernandes, Renan Campos Chisté, Marisa Freitas. Infusion, decoction and hydroalcoholic extracts of leaves from artichoke (*Cynara cardunculus* L. subsp. *cardunculus*) are effective scavengers of physiologically relevant ROS and RNS
- [10]. Anatoly A. Shatalov [Helena Pereira](#) Dissolving grade eco-clean cellulose pulps by integrated fractionation of cardoon (*Cynara cardunculus* L.) stalk biomass. [Chemical Engineering Research and Design](#). November 2014, Pages 2640–2648.
- [11]. Achilleas Bouriazos, Evangelia Ikonomakou, Georgios Papadogianakis Aqueous-phase catalytic hydrogenation of methyl esters of *Cynaracardunculus* alternative low-cost non-edible oil: A useful concept to resolve the food, fuel and environment issue of sustainable biodiesel Achilleas.
- [12]. A.M.R.C. Alexandra, A.M.A. Diasa, I.J. Seabraa, b, A.A.T.G. Portugala, H.C. de Sousaa, M.E.M. Braga Biodiesel obtained from supercritical carbon dioxide oil of *Cynara cardunculus* L. *J. of Supercritical Fluids* 68 (2012) 52– 63.
- [13]. Tzortzis Nomikos, Paraskevi Detopoulou, Elisabeth Fragopoulou, Emmanuel Pliakis, Smaragdi Antonopoulou. Boiled wild artichoke reduces postprandial glycemic and insulinemic responses in normal subjects but has no effect on metabolic syndrome patients.
- [14]. Ivo Oliveiraa, Jorge Gominhob, Santino Diberardinoc, Elizabeth Duartea. Characterization of *Cynara cardunculus* L. stalks and their suitability for biogas production. *Industrial Crops and Products* 40 (2012) 318– 323.
- [15]. Mingjiang Zhan, Richard P. Wool. Design and evaluation of bio-based composites for printed circuit board application. *Composites: Part A* 47 (2013) 22–30.
- [16]. M. Ramesh a, K. Palanikumar b, K. Hemachandra Reddy c. Mechanical property evaluation of sisal–jute–glass fiber reinforced polyester composites. *Composites: Part B* 48 (2013) 1–9.
- [17]. Mingjiang Zhan, Richard P. Wool. Design and evaluation of bio-based composites for printed circuit board application. *Composites: Part A* 47 (2013) 22–30.
- [18]. M. Ramesh a, K. Palanikumar b, K. Hemachandra Reddy c. Mechanical property evaluation of sisal–jute–glass fiber reinforced polyester composites. *Composites: Part B* 48 (2013) 1–9.
- [19]. Helena Nilsson et al. A non-solvent approach for high-stiffness all-cellulose biocomposites based on pure wood cellulose. *Composites Science and Technology* 70 (2010) 1704–1712. June 2010.
- [20]. Sulawan Kaewkuk, Wimonlak Sutapun, Kasama Jarukumjorn. Effects of interfacial modification and fiber content on physical properties of sisal fiber/polypropylene composites *Composites: Part B* 45 (2013) 544–549.
- [21]. Kasama Jarukumjorn, Nitinat Suppakarn Effect of glass fiber hybridization on properties of sisal fiber–polypropylene. *Composites: Part B* 40 (2009) 623–627
- [22]. Staiger MP, Tucker N. Natural-fibre composites in structural applications. In: Pickering K, editor. *Properties and performance of natural-fibre composites*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing; 2008. p. 269–300.
- [23]. *Jorge Gominhoa* et al. Characterization of hairs and pappi from *Cynara cardunculus* capitula and their suitability for paper production. *Industrial crops and products* P 116–125 29 20 April 2008

- [24]. V. Fiore a, A. Valenza a, G. Di Bella b. Artichoke (*Cynara cardunculus* L.) fibres as potential reinforcement of composite structures. *Composites Science and Technology* 71 (2011) 1138–1144.
- [25]. [Mustapha Bouakba](#), [Abderrezak Bezazi](#), [Katarzyna Boba](#), [Fabrizio Scarpa](#), [Stuart Bellamy](#). Cactus fibre/polyester biocomposites: Manufacturing, quasi-static mechanical and fatigue characterization. [Composites Science and Technology](#). Volume 74, 24 January 2013, Pages 150–159.
- [26]. Yoldas Seki a, Mehmet Sarikanat b, Kutlay Sever c, Cenk Durmus_kahya d. Extraction and properties of *Ferula communis* (chakshir) fibers as novel reinforcement for composites materials. *Composites: Part B* 44 (2013) 517–523.
- [27]. Christophe BALEY. Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites. *Techniques de l'ingénieur*. 12/09/2014
- [28]. ASTM C 1557 – 03 Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers.
- [29]. ASTM D 3171 – 99. Standard Test Methods for Constituent Content of Composite Materials.
- [30]. ASTM D 3039/D 3039M – 00. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.
- [31]. Omar Faruka, Andrzej K. Bledzka,c, Hans-Peter Finkb, Mohini Sain Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science* 37 (2012) 1552– 1596.