

Actes CARI'2016 / Proceedings CARI'2016

13^{ème} Colloque Africain sur la Recherche en Informatique et Mathématiques Appliquées
13th African Conference on Research in Computer Science and Applied Mathematics
Tunisia, Tunis, du 11 au 14 octobre 2016/
11th-14th october 2016

Foreword, Programme Committee, and reviewers

AVANT-PROPOS

Le CARI, Colloque Africain sur la Recherche en Informatique, fruit d'une coopération internationale rassemblant universités africaines, centres de recherche français et organismes internationaux, tient sa treizième édition cette année en Tunisie Organisé tous les deux ans en Afrique, ses précédentes éditions se sont tenues à Yaoundé en 1992, à Ouagadougou en 1994, à Libreville en 1996, à Dakar en 1998, à Antananarivo en 2000, à Yaoundé en 2002, à Hammamet en 2004, à Cotonou en 2006, à Rabat en 2008, à Yamoussoukro en 2010, à Alger en 2012 et à Saint-Louis du Sénégal en 2014.

Le colloque est co-organisé par l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (Inria), l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), le Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad), le Centre International des Mathématiques Pures et Appliquées (Cimpa), et l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF). Cette treizième édition, confiée à l'Ecole Nationale d'Ingénieur de Tunis (ENIT, sous la coordination du professeur Nabil Gmati , a bénéficié d'un large soutien des institutions universitaires suivantes : la Faculté des Sciences de Tunis (FST, l'Ecole Polytechnique de Tunisie (EPT), l'Ecole Nationale Supérieure d'Informatique (ENSI), l'Ecole Supérieure privée d'Ingénierie et de Technologies (ESPRIT) et de l'Ecole Supérieure des Télécommunications (Sup'Com). Quatre universités du grand Tunis se sont également associées pour la réussite de cette nouvelle édition du colloque : l'Université Tunis El Manar (UTM), l'Université de la Manouba (UM), l'Université de Carthage (UC), l'Université Virtuelle de Tunis (UVT). Ces universités regroupent l'essentiel des institutions scientifiques du grand Tunis. Le CARI a également bénéficié du soutien de l'Institut Français de Tunisie (IFT).

Le CARI est devenu un lieu privilégié de rencontre et d'échanges de chercheurs et décideurs africains et internationaux de haut niveau dans les domaines de l'informatique et des mathématiques appliquées. Le programme scientifique, qui reflète la richesse et la diversité de la recherche menée sur le continent africain, met un accent particulier sur les travaux susceptibles de contribuer au développement technologique, à la connaissance de l'environnement et à la gestion des ressources naturelles. Ce programme se décline en 51 communications scientifiques, sélectionnées parmi 130 articles soumis, et des conférences invitées présentées par des spécialistes de renommée internationale.

L'Ecole de recherche Cimpa, qui a porté cette année sur les « mathématiques de la biologie », remplace désormais les traditionnels tutoriels organisés en marge du CARI.

Bien plus qu'un simple colloque, le CARI est un cadre dynamique de coopération, visant à rompre l'isolement et à renforcer la communauté scientifique africaine. Toute cette activité repose sur l'action forte et efficace de beaucoup d'acteurs. Nous remercions tous nos collègues qui ont marqué leur intérêt dans le CARI en y soumettant leurs travaux scientifiques, les relecteurs qui ont accepté d'évaluer ces contributions et les membres du Comité de programme qui ont opéré à la sélection des articles. L'ensemble des activités liées au CARI sont répertoriées sur le site officiel du CARI (<http://www.cari-info.org/>) maintenu par l'équipe du professeur Mokhtar Sellami de l'université d'Annaba. Laura Norcy, d'Inria, a apporté son soutien pour la coordination de cette manifestation. L'organisation du colloque a reposé sur le comité local d'organisation, mis en place par le professeur Nabil Gmati.

Que les différentes institutions, qui, par leur engagement financier et par la participation de leurs membres, apportent leur soutien, soient également remerciées, et, bien sûr, toutes les institutions précédemment citées, qui soutiennent le CARI au fil de ses éditions.

Pour les organisateurs

Moussa Lo, Président du CARI

Eric Badouel, Secrétaire du Comité permanent du CARI

Nabil Gmati, Organisateur du CARI 2016

FOREWORD

CARI, the African Conference on Research in Computer Science, outcome of an international cooperation involving African universities, French research institutes, and international organizations, introduces this year its thirteenth edition in Tunisia. Organized every two years in Africa, its preceding editions were held in Yaoundé in 1992, in Ouagadougou in 1994, Libreville in 1996, Dakar in 1998, Antananarivo in 2000, Yaoundé in 2002, Hammamet in 2004, Cotonou in 2006, Rabat in 2008, Yamoussoukro in 2010, Algiers in 2012, and Saint-Louis du Senegal in 2014.

The conference is organized by Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (Inria), the Institut de Recherche pour le Développement (IRD), the Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad), the International Center for Pure and Applied Mathematics (ICPAM) and the Agence Universitaire de la Francophonie (AUF). This thirteenth edition, entrusted to ENIT (Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis), under the coordination of Professor Nabil Gmati, has profited from a generous support of the following academic institutions: Faculté des Sciences de Tunis (FST), Ecole Polytechnique de Tunisie (EPT), Ecole Nationale Supérieure d'Informatique (ENSI), Ecole Supérieure privée d'Ingénierie et de Technologies (ESPRIT) and Ecole Supérieure des Télécommunications (Sup'Com). Four universities of the greater Tunis, which are the main scientific institutions of Tunis, also joined for the success of CARI: University of Tunis El Manar (UTM), La Manouba University (UM), University of Carthage (UC), Université Virtuelle de Tunis (UVT).

CARI also acknowledge supports from the Institut Français de Tunisie (IFT). CARI has evolved into an internationally recognized event in Computer Science and Applied Mathematics. The scientific program, which reflects the richness and the diversity of the research undertaken on the African continent with a special emphasis on works related to the development of new technologies, knowledge in environmental sciences and to the management of natural resources, consists of 51 scientific contributions, selected from 130 submissions, together with invited talks delivered by acknowledged specialists.

From now on, the tutorials that used to precede the CARI are replaced by a CIMPA-ICPAM Research school that puts a focus on some particular topic relevant to CARI's community. For this edition the research school was dedicated to the "Mathematics for Biology". More than a scientific gathering, CARI is also a dynamic environment for cooperation that brings together African researchers with the end result to break the gap of isolation. The successes of such an initiative rely on the contribution of many actors. We wish first to thank our colleagues who showed their interest in CARI by submitting a paper, the referees who accepted to evaluate these contributions, and the members of the Program Committee who managed the selection of papers. This process rested on the CARI official site (<http://www.cari-info.org/>) maintained by the team of professor Mokhtar Sellami at the University of Annaba. Laura Norcy, from Inria, was involved in numerous activities for the coordination of the Event. The local organization has been handled by the local organization committee under the supervision of professor Nabil Gmati.

Thanks also for all the institutions that support and provide funding for CARI conferences and related activities, and all the institutions involved in the organization of the conference. For the organizing committee

Moussa Lo, Chairman of CARI

Eric Badouel, Secretary of CARI Permanent Committee

Nabil Gmati, Chair of CARI 2016

Comité de Programme / Program Committee

Modélisation des systèmes complexes / Complex System Modelling

Arnaud GRIGNARD, IRD/UPMC, France

Bernard CAZELLES, UMPC, France

Christophe LETT, IRD, France

Rachid MCHICH, ENCGT - Morocco

Tri NGUYEN-HUU, IRD, France

Benjamin ROCHE, IRD, France

Signal, image et multimédia / Signal, Images and Multimedia

Ezzine ABDELHAK, ENSAT, Morocco

Olivier ALATA, Univ. Saint-Etienne, France

Tarik Boujiha, Univ. ibn tofail-kénitra, Morocco
Mohamed DAOUDI, Telecom Lille/LIFL, France
Denis HAMAD, Univ. du Littoral Côte d'Opale, France
Ahmed HAMMOUCH, CNRST, Morocco
Loussaine MASMOUDI, Univ. Mohammed V, Rabat, Morocco
Ahmed MOUSSA, LabTIC ENSAT, Morocco
Rachid OULAD HAJ THAMI, ENSIAS, Morocco
Abderrahmane SBIHI, ENSA Tanger, Morocco
Raja Touahni, Université Ibn Tofail, Morocco
Lynda ZAOUI, Oran University, Algeria
Djemel ZIOU, Sherbrooke University, Canada

Calcul scientifique et parallélisme / Scientific Computing and Parallelism

Jocelyne ERHEL, Inria, France
El Mostafa DAOUDI, Univ. Mohamed I, Oujda, Morocco
Laurent DEBREU, Inria, France
Laura GRIGORI, Inria, France
Abdou GUERMOUCHE, Univ. Bordeaux, France
Pierre MANNEBACK, University of Mons, Belgium
Maher MOAKHER, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Tunisia
Yanik NGOKO, Univ. Paris 13, France
Boniface NKONGA, University of Nice-Sophia-Antipolis
Patrice QUINTON, ENS Rennes, France
Denis TRYSTRAM, Grenoble Institute of Technology, France

Intelligence artificielle et environnements informatique pour l'apprentissage humain /

Artificial Intelligence and Computer-based Collaborative Environmental

Meziane AIDER, USTHB, Algeria
Djamil AISSANI, Univ. Bejala, Algeria
Monique BARON, Sorbonne UPMC, Lip6, France
Mahieddine DJOUDI, Poitiers University, France
Abdellatif ENNAJI, Univ. Rouen, France
Mokhtar SELLAMI, Annaba University, Algeria
Hassina SERIDI, Annaba University,, Algeria
Christophe SIBERTIN-BLANC, Irit, France
Salvatore TABBONE, Univ. de Lorraine, France
Claude TANGHA, FTIC, Yaoundé, Cameroon

Applications avancées en Génie logiciel / Software engineering and advances applications

Pascal ANDRE, LINA, University of Nantes, France
Eric BADOUEL, Inria Rennes, France
Kamel BARKAOUI, Cedric, CNAM, France
François CHAROY, LORIA Univ. Henri Poincaré, France
Yliès FALCONE, Inria Grenoble, France
Christian FOTSING, Institut Universitaire de la Côte, Cameroon
Georges-Edouard KOUAMOU, ENSP Yaoundé I University, Cameroon
Damien ROBERT, Inria Bordeaux, France
William SHU, University of Buea, Cameroon
François VERNADAT, LAAS-CNRS, Toulouse, France

Extraction et Organisation des Connaissances / Knowledge Organization and Mining

Hugo ALATRISTA-SALAS, Pontificia Universidad Catolica del Peru
Jérôme AZE, LIRMM, University of Montpellier 2, France
Nicolas BECHET, Université de Bretagne Sud
Hacene BELHADEF, University of Constantine, Algeria
Béatrice BOUCHOU MARKHOFF, Univ. François Rabelais de Tours, France
Ibrahim BOUNHAS, LISI, Carthage University, Tunisia

Sandra BRINGAY, LIRMM, University Paul Valéry, France
Patrice BUCHE, Supagro INRA, France
Gaoussou CAMARA, Univ. Alioune Diop, Bambey, Senegal
Célia DA COSTA TEREIRA, Univ. Nice Sophia Antipolis, France
Cheikh Taliboula DIOP, UGB, Saint-Louis, Senegal
Bilel ELAYEB, ENSI, Tunisia
Dino IENCO, IRSTEA, France
Clement JONQUET, LIRMM, University of Montpellier 2, France
Eric KERGOSIEN, University of Lille, France
Philippe LEMOISSON, TETIS, Cirad, France
Moussa LO, Univ. Gaston Berger, Senegal
Cédric LOPEZ, Viseo Research Center, France
Isabelle MOUGENOT, Espace-Dev, University of Montpellier 2, France
Mathieu ROCHE, TETIS, Cirad, France
Fatiha SAIS, LRI, Paris Sud University, France
Hassan SANEIFAR, Raja University, Iran
Joël SOR, Cirad, France
Maguelonne TEISSEIRE, TETIS, Irstea, France

Systèmes distribués et réseaux / Distributed systems and networks

Soraya AIT CHELLOUCHE, University of Rennes, France
Olivier BARAIS, University of Rennes, France
Melhem EL HELOU, Univ. Saint-Joseph de Beyrouth, Lebanon
Davide FREY, Inria Rennes, France
Abdoulaye GAMATIE, LIRMM, France
Bamba GUEYE, UCAD, Dakar, Senegal
Jean-Claude HOCHON, Airbus SAS, France
Michel HURFIN, Inria Rennes, France
Marc IBRAHIM, Saint-Joseph University, Lebanon
Samer LAHOUD, University of Rennes, France
Maryline LAURENT, Telecom Sud-Paris, France
Moussa LO, Univ. Gaston Berger, Senegal
Pascal LORENZ, Univ. Haute Alsace, France
Stéphane MAAG, Telecom Sud-Paris, France
Ludovic ME, Supélec Rennes, France
Congduc PHAM, University of Pau, France
Pierre ROLIN, Institut Mines-Télécom, France
Abed Ellatif SAMHAT, Lebanese University, Lebanon
Ousmane THIARE, UGB, Saint-Louis, Senegal
César VIHO, Univ. De Rennes 1, France

Mathématique pour la biologie / Mathematical biology

Nahla ABDELLATIF, ENSI-ENIT, Tunisia
Julien ARINO, University of Manitoba, Canada
Abdon ATANGANA, University of Free State, South Africa
Mejdi AZAIEZ, University of Bordeaux, France
Fethi Bin Muhammad BELGACEM, PAAET, Kuwait
Monia BELLALOUNA, ENSI, Tunisia
Hend BEN AMEUR, LAMSIN-ENIT and IPEST, Tunisia
Faker BEN BELGACEM, UTC Compiègne, France
Slimane BEN MILED, University Tunis el Manar, Tunisia
Adel BLOUZA, University of Rouen, France
Fabien CAMPILLO, Inria, France
Nicolas CHAMPAGNAT, Inria, France
Nadia CHOULAIEB, ENIT, Tunisia
Jean CLAIRAMBAULT, Inria Paris- LJLL, UMPC, France
Yves DUMONT, Cirad, France

Radhouene FEKIH SALEM, University of Monastir, Tunisia
Jean-Frédéric GERBEAU, Inria, France
Nabil GMATI, LAMSIN-ENIT, Tunisia
Lamia GUELLOUZ, ENIT, Tunisia
Abderrahmane HABBAL, University of Nice-Inria, France
Ridha HAMBALI, Polytech Orleans, France
Nejla HARIGA-TATLI, INAT-LAMSIN, Tunisia
Yousri HENCHIRI, University of Montpellier 2, France
Abderrahman IGGIDR, Inria, France
Adil KHALIL, University of Marrakech, Morocco
Michel LANGLAIS, University of Bordeaux, France
Claude LOBRY, University of Nice, France
John MADDOCKS, EPFL, Switzerland
Sylvie MELEARD, Ecole Plotechnique, France
Ali MOUSSAOUI, Tlemcen University, Algeria
Tri NGUYEN-HU, IRD, France
Gauthier SALLET, Université de Lorraine, Nancy, France
Tewfik SARI, IRSTEA, Montpellier, France
Suzanne TOUZEAU, INRA-Inria, France
Hatem ZAAG, University Paris 13, France
Nejib ZEMZEMI, Inria, France

LISTE DES RELECTEURS – LIST OF REFEREES

Ezzine ABDELHAK
Nahla ABDELLATIF
Meziane AIDER
Soraya AIT CHELLOUCHE
Abdelaziz AIT MOUSSA
Olivier ALATA
Hugo ALATRISTA-SALAS
Pascal ANDRE
Julien ARINO
Abdon ATANGANA
Mejdi AZAIEZ
Jérôme AZE
Eric BADOUEL
Olivier BARAIS
Kamel BARKAOUI
Monique BARON
Nicolas BECHET
Fethi Bin Muhammad
BELGACEM
Hacene BELHADEF
Monia BELLALOUNA
Hend BEN AMEUR
Faker BEN BELGACEM
Slimane BEN MILED
Fethi BIN MUHAMMAD
BELGACEM
Adel BLOUZA
Béatrice BOUCHOU
MARKHOFF
Tarik BOUJIHA
Ibrahim BOUNHAS
Sandra BRINGAY
Patrice BUCHE
Fabien CAMPILLO

Gaoussou CAMARA
Jérôme CANALS
Bernard CAZELLES
Nicolas CHAMPAGNAT
François CHAROY
Nadia CHOULAIEB
Jean CLAIRAMBAULT
Célia DA COSTA PEREIRA
El Mostafa Daoudi
Mohamed DAOUDI
Laurent DEBREU
Cheikh Talibouya DIOP
Aissani DJAMIL
Mahieddine DJOUDI
Yves DUMONT
Bilel ELAYEB
Melhem EL HELOU
Abdellatif ENNAJI
Jocelyne ERHEL
Radhouene FEKIH SALEM
Davide FREY
Yles FALCONE
Christian FOTSING
Abdoulaye GAMATIE
Jean-Frédéric GERBEAU
Nabil GMATI
Arnaud GRIGNARD
Laura GRIGORI
Lamia GUELLOUZ
Bamba GUEYE
Abdou GUERMOUCHE
Abderrahmane HABBAL
Kais HADDAR
Denis HAMAD
Ridha HAMBALI
Ahmed HAMMOUCH
Nejla HARIGA-TATLI
Seridi HASSINA
Yousri HENCHIRI
Jean-Claude HOCHON
Michel HURFIN
Marc IBRAHIM
Dino IENCO
Abderrahman IGGIDR
Clement JONQUET
Eric KERGOSIEN
Adil KHALIL
Georges-Edouard
KOUAMOU
Samer LAHOUD
Michel LANGLAIS
Maryline LAURENT
Philippe LEMOISSON
Christophe LETT
Moussa LO
Claude LOBRY
Cédric LOPEZ

Pascal LORENZ
Stéphane MAAG
John MADDOCKS
Pierre MANNEBACK
Lhoussaine MASMOUDI
Rachid MCHICH
Ludovic ME
Sylvie MELEARD
Nizar MESSAI
Maher MOAKHER
Isabelle MOUGENOT
Ahmed MOUSSA
Ali MOUSSAOUI
Yanik NGOKO
Tri NGUYEN-HUU
Boniface NKONGA
Rachid OULAD HAJ THAMI
Congduc PHAM
Patrice QUINTON
Damien ROBERT
Benjamin ROCHE
Mathieu ROCHE
Pierre ROLIN
Gauthier SALLET
Abed Ellatif SAMHAT
HASSAN SANEIFAR
Tewfik SARI
Abderrahmane SBIHI
Christophe SIBERTIN-BLANC
Fathia SAIS
Idrissa SARR
Mokhtar SELLAMI
William SHU
Yahya SLIMANI
Joël SOR
Salvatore TABBONE
Claude TANGHA
Maguelonne TEISSEIRE
Ousmane THIARE
Raja TOUAHNI
Suzanne TOUZEAU
Denis TRYSTRAM
François VERNARDAT
César VIHO
Hattem ZAAG
Lynda ZAOU
Nejib ZEMZEMI
Djemel ZIOU