



AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Bulletin N° 111

Association française pour l'Intelligence Artificielle

AfIA



PRÉSENTATION DU BULLETIN

Le [Bulletin](#) de l'Association française pour l'Intelligence Artificielle vise à fournir un cadre de discussions et d'échanges au sein de la communauté universitaire et industrielle. Ainsi, toutes les contributions, pour peu qu'elles aient un intérêt général pour l'ensemble des lecteurs, sont les bienvenues. En particulier, les annonces, les comptes rendus de conférences, les notes de lecture et les articles de débat sont très recherchés. Le [Bulletin](#) de l'AfIA publie également des dossiers plus substantiels sur différents thèmes liés à l'IA. Le comité de rédaction se réserve le droit de ne pas publier des contributions qu'il jugerait contraire à l'esprit du bulletin ou à sa politique éditoriale. En outre, les articles signés, de même que les contributions aux débats, reflètent le point de vue de leurs auteurs et n'engagent qu'eux-mêmes.

■ Édito

Comme chaque début d'année, la composition du CA de l'AfIA évolue. Les membres sortants du CA 2020 sont : Alain BERGER, Elise BONZON, Christophe LEROUX, Frédéric MARIS et Olivier SIMONIN. Qu'ils soient remerciés pour leurs actions menées au sein du CA les années passées. Par ailleurs, les nouveaux membres (ou anciens membres se représentant) élus du CA 2021 sont : Gaël DIAS, Thomas GUYET, Benoit LE BLANC, Dominique LONGIN, Gauthier PICARD et Valérie REINER, que nous remercions également pour leur engagement (en plus de leur implication) au CA de l'AfIA !

Cette année, ces changements se sont étendus à la présidence de l'AfIA, puisque Yves DEMAZEAU ayant décidé de mettre fin à ses fonctions, c'est Benoit LE BLANC qui s'est porté volontaire, puis qui a été élu, pour assumer cette lourde responsabilité, particulièrement importante pour l'AfIA. Qu'ils soient tous deux vivement remerciés pour leur travail et leur engagement, passé ou à venir.

Enfin, ce début d'année s'accompagne également par des changements dans notre comité de rédaction. Claire LEFÈVRE cède sa place à Gaël LEJEUNE : qu'ils soient tous les deux remerciés, Claire pour sa disponibilité et son travail pour l'AfIA et en particulier le [Bulletin](#), et Gaël d'avoir accepté la tâche de lui succéder.

Ce numéro met en lumière une discipline de l'IA particulièrement bien représentée en France, la programmation par contraintes, dont la communauté est d'ailleurs regroupée au sein de l'Association Française de Programmation par Contraintes ([AFPC](#)). Notre dossier propose de suivre un tour de France (qui ne se veut nullement exhaustif) des équipes du domaine. Les équipes qui y paraissent présentent leurs travaux de recherche et les liens qu'elles tissent avec d'autres disciplines de l'IA comme l'apprentissage, l'optimisation, l'inférence, le raisonnement, etc.

Bonne lecture à tous !

Dominique LONGIN(Rédacteur en chef) & Laurent SIMON (Rédacteur)



SOMMAIRE

DU BULLETIN DE L'AFIA

3	Dossier « Programmation par contrainte »	
	Édito	4
	RIC : Raisonnement dans l'incertain et contraintes	5
	GOC : Graphes, Optimisation & Contraintes	8
	AIC : Algorithmes pour l'inférence et contraintes	12
	RATIO : Raisonnement	14
	C&A : Contraintes & Applications	16
	La Programmation par Contraintes dans la Région Toulousaine	21
	TASC : Theory, Algorithms and Systems for Constraints	27
30	Comptes rendus de journées, événements et conférences	
	PAAMS 2020	31
	5 ^e Forum Industriel de l'Intelligence Artificielle	33
	Robotique & IA 2020	35
37	Thèses et HDR du trimestre	
	Thèses de Doctorat	38
	Habilitations à Diriger les Recherches	42



AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Dossier

« Programmation par contrainte »

Dossier réalisé par

Laurent SIMON

LABRI / Ratio

Bordeaux INP

lsimon@labri.fr

Charlotte TRUCHET

LS2N / TASC

Université de Nantes

Charlotte.Truchet@univ-nantes.fr



■ Édito

La programmation par contraintes (PPC) est l'un des grands domaines de l'Intelligence Artificielle, particulièrement actif en France depuis ses débuts, dont la communauté se réunit annuellement autour des Journées Francophone de Programmation par Contraintes (JFPC). Si l'on se permet de reprendre à Eugene FREUDER sa définition de la PPC, elle peut se décrire d'une simple phrase : « *En informatique, de toutes les approches en programmation, la programmation par contraintes se rapproche le plus de l'idéal : l'utilisateur décrit le problème, l'ordinateur le résout.* ».

En effet, grâce à l'utilisation de variables prenant leur valeurs dans des domaines précis, la programmation par contraintes revient à spécifier, de manière explicite ou implicite, les contraintes qui lient ces variables pour un problème donné. La résolution du problème revient à trouver une solution, c'est-à-dire une affectation des variables à des valeurs de leurs domaines respectifs et satisfaisant toutes les contraintes du problème. L'utilisateur modélise ainsi simplement son problème de manière déclarative, sans se soucier de construire une méthode pour en rechercher les solutions. Ce domaine de recherche, très actif en France depuis les années 70, pose également de riches problèmes connexes, comme calculer le nombre de solutions ou la solution optimale étant donnée une mesure de qualité des solutions proposées.

C'est un domaine aux ramifications théo-

riques et pratiques très importantes et c'était un véritable plaisir de coordonner ce dossier, même s'il manque des équipes majeures du domaine (certaines d'entre elles ont déjà collaboré récemment au [Bulletin](#) en tant que tel et nous n'avons pas jugé nécessaire de les ajouter au dossier). Il manque ainsi, par exemple, les équipes de Marseille, Montpellier, ou Lyon qui sont des références de niveau international en contraintes et que vous ne trouverez pas dans ce dossier. Nous vous invitons cependant à poursuivre l'exploration des équipes de recherche en contraintes grâce, par exemple, à l'[Association Française de Programmation par Contraintes \(AFPC\)](#) dont le site Web est un point d'entrée intéressant pour cette exploration.

Nous tenons à remercier très chaleureusement les équipes qui ont joué le jeu en participant à la rédaction de ce [Bulletin](#), malgré la situation sanitaire imposant à toutes et tous de nouvelles contraintes parfois difficiles à concilier avec l'élaboration de ce dossier. Nous espérons que, même si cette image reste assez partielle, elle montrera à quel point la recherche en contraintes en France est foisonnante et aux multiples ramifications.

Nous vous proposons maintenant de débiter un tour de France des contraintes en visitant les équipes de Nice, Angers, Amiens, Lens, Bordeaux, Toulouse et Nantes.



■ RIC : Raisonnement dans l'incertain et contraintes

LERIA/RIC
Université d'Angers
www.leria.univ-angers.fr

David LESAIN
david.lesaint@univ-angers.fr

Eric MONFROY
eric.monfroy@univ-angers.fr

Membres impliqués¹

- Vincent BARICHARD, MCF
- Martín DIEGUEZ LODEIRO, MCF
- Frédéric LARDEUX, MCF
- David LESAIN, PR
- Eric MONFROY, PR
- Frédéric SAUBION, PR
- Igor STÉPHAN, MCF

Thématique générale de laboratoire

Le Laboratoire d'Étude et de Recherche en Informatique d'Angers (LERIA) mène des recherches de nature fondamentale et appliquée dans deux domaines connexes de l'informatique : l'intelligence artificielle et l'optimisation combinatoire. Les sujets abordés forment un continuum que l'on peut décliner en quelques grandes thématiques :

- Méthodes de résolution approchée pour l'optimisation combinatoire issues de l'informatique évolutionnaire ;
- Techniques de modélisation, reformulation et résolution exacte fondées sur la programmation par contraintes et la logique propositionnelle ;
- Langages et algorithmes pour le raisonnement non-monotone fondés sur la programmation par ensembles réponses et autres formalismes de contraintes quantifiées ;
- Méthodes d'apprentissage artificiel en appui de techniques de résolution ou portées à d'autres champs disciplinaires tels la bio-informatique et la chimie quantique ;

- Méthodes d'interrogation de bases de connaissances fondées sur des modèles de représentation graphiques.

À ces travaux théoriques s'ajoutent le développement d'approches à visée applicative. Ces travaux, souvent menés dans le cadre de collaborations industrielles ou de projets pluridisciplinaires, recouvrent des domaines variés. Citons entre autres exemples la résolution de problèmes logistiques par optimisation combinatoire, l'analyse logique de données fondée sur le raisonnement symbolique, et le développement de systèmes de recommandation par apprentissage artificiel. Le LERIA est organisé en 3 thèmes d'activité :

- Thème MOC : Méta-heuristiques et Optimisation Combinatoire,
- Thème RIC : Raisonnement dans l'Incertain et Contraintes,
- Thème ARC : Apprentissage Artificiel et Représentation des Connaissances.

Les recherches autour des contraintes sont principalement réalisées au sein du thème RIC.

Les contraintes dans RIC

À l'origine, la programmation par contraintes comportait deux volets primordiaux : le langage pour modéliser les problèmes, et les solveurs pour résoudre ces derniers. Pendant de nombreuses années, les efforts se sont portés sur les solveurs afin d'améliorer la résolution. Cependant, il y a quelques années, la partie langage est revenue sur l'avant de la

1. Seules sont représentées les personnes impliquées dans la thématique Contraintes du thème RIC.



scène, car la modélisation permet d'ouvrir les contraintes à des utilisateurs non experts, mais également d'obtenir des modèles possiblement plus robustes et résolus beaucoup plus efficacement. Différents aspects peuvent être pris en compte tels que la reformulation de modèle, la conversion de modèle ou le langage de modélisation. Nous travaillons principalement sur les voies suivantes.

Contraintes ensemblistes [6, 3, 4, 5] Par rapport aux modélisations basées sur des matrices ou des entiers, les ensembles sont pratiques car ils réduisent naturellement le nombre de symétries. De plus, il est bien connu que de nombreux problèmes peuvent être facilement modélisés avec des contraintes ensemblistes. Plusieurs solveurs de contraintes spécialisés pour les contraintes ensemblistes existent déjà. Nous nous intéressons à divers aspects des contraintes ensemblistes : les modèles CSP avec contraintes ensemblistes, la réduction des variables à domaine fini et des variables ensemblistes ainsi qu'à l'encodage des contraintes ensemblistes en SAT.

Encodage CSP/SAT [8, 9] Nous travaillons sur les encodages CSP vers SAT afin de mieux comprendre les facteurs clés qui déterminent leurs caractéristiques ainsi que leurs effets sur la résolution. Dans un premier temps, nous analysons l'impact de la provenance des variables du modèle SAT sur l'heuristique de branchement des solveurs SAT. En effet, certaines variables du modèle SAT correspondent directement à des variables du modèle CSP alors que d'autres, dites auxiliaires, sont ajoutées lors de l'encodage des contraintes du modèle CSP. Nous travaillons également sur l'encodage de mécanismes de propagation propres aux solveurs CSP dans le modèle SAT. Afin d'encoder au mieux le maximum d'informations provenant du mécanisme de propagation CSP

sans pour autant augmenter de manière démesurée la taille de l'instance SAT, nous proposons de nouveaux encodages SAT comme par exemple l'*Abacus encoding*.

Problèmes quantifiés sous contraintes [1]

Il existe plusieurs formalismes et langages de modélisation issus de la programmation par contraintes comme CSP et CHR (Constraint Handling Rules). Les CSP ont donné lieu à plusieurs extensions dont les QCSP (Quantified Constraint Satisfaction Problem) qui adressent les problèmes quantifiés sous contraintes. Néanmoins les formalismes quantifiés de la littérature sont à horizon borné ce qui rend difficile voire impossible la modélisation de certains problèmes quantifiés qui nécessite une représentation en intention et non en extension de la combinatoire. C'est pourquoi nous proposons une approche étendant CHR pour intégrer la quantification. Ceci nous permet de modéliser des problèmes à horizon non borné.

Modélisation et résolution hybrides Actuellement, les travaux liés à la frontière entre la programmation logique non-monotone (et de son langage phare, ASP) et la résolution de problèmes combinatoires contraints sur les domaines finis ne considère qu'un unique point de vue consistant à faire coopérer à haut niveau un solveur ASP et un solveur de contraintes. Un axe que nous explorons est d'appliquer des mécanismes de la propagation de contraintes à l'ASP.

Applications en cours

- *Ingénierie dirigée par les modèles [7, 2].*

Cette méthode consiste à abstraire les différentes parties d'un système sous la forme d'un ensemble de modèles, chaque modèle adoptant un niveau d'abstraction différent et adapté aux besoins de la personne les utilisant. Nous avons défini une approche



permettant d'intégrer des contraintes dans des transformations de modèles, pour spécifier certaines contraintes spécifiques au domaine d'application (par exemple la planification d'emploi du temps).

- *Emplois du temps universitaires (EDT)*. Le calcul d'EDT se traite généralement par optimisation combinatoire et des travaux récents se sont intéressés à la révision d'EDT pour mieux répondre au caractère dynamique du problème et aux exigences des différents acteurs en termes de contrôle et d'explicabilité du calcul. Notre approche vise à établir un cadre formel pour la révision d'EDT ciblant particulièrement le système universitaire français et qui se fonde sur la programmation par contraintes et possibles hybridations afin d'intégrer opérations et stratégies de réparation.
- L'*Inférence grammaticale* consiste à apprendre automatiquement une grammaire formelle (généralement sous forme de règles de productions ou d'un automate) à partir d'un ensemble d'observations. Nous nous intéressons actuellement à la modélisation SAT et INLP d'automates finis non déterministes devant accepter un ensemble de mots donnés et rejeter un ensemble de mots n'appartenant pas au langage.

Références

- [1] Vincent Barichard and Igor Stéphan. Quantified constraint handling rules. In *35th International Conference on Logic Programming (Technical Communications)*, pages 210–223, 2019.
- [2] Frédéric Jouault, Valentin Besnard, Théo Le Calvar, Ciprian Teodorov, Matthias Brun, and J. Delatour. Designing, Animating, and Verifying Partial UML Models. In *23rd International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems*, pages 211–217, 2020.
- [3] Frédéric Lardeux and Eric Monfroy. From Declarative Set Constraint Models to "Good" SAT Instances. In *Artificial Intelligence and Symbolic Computation*, volume 8884 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 76–87. Springer, 2014.
- [4] Frédéric Lardeux and Eric Monfroy. Expressively Modeling the Social Golfer Problem into SAT. In *15th International Conference on Computational Science*, 2015.
- [5] Frédéric Lardeux, Eric Monfroy, Broderick Crawford, and Ricardo Soto. Set constraint model and automated encoding into SAT : application to the social golfer problem. *Annals of Operations Research*, 2015.
- [6] Frédéric Lardeux, Éric Monfroy, Eduardo Rodriguez-Tello, Broderick Crawford, and Ricardo Soto. Solving complex problems using model transformations : from set constraint modeling to SAT instance solving. *Expert Systems with Applications*, 149 :113–243, 2020.
- [7] Théo Le Calvar, Fabien Chhel, Frédéric Jouault, and Frédéric Saubion. Toward a Declarative Language to Generate Explorable Sets of Models. In *34th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing*, 2019.
- [8] Claudia Vasconcellos-Gaete, Vincent Barichard, and Frédéric Lardeux. On the Use of CSP Semantic Information in SAT Models. In *18th Mexican International Conference on Artificial Intelligence*, pages 127–139, 2019.
- [9] Claudia Vasconcellos-Gaete, Vincent Barichard, and Frédéric Lardeux. Abacus : A new hybrid encoding for SAT problems. In *32nd IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, pages 145–152, 2020.



■ GOC : Graphes, Optimisation & Contraintes

MIS / GOC
Université de Picardie Jules Verne
www.mis.u-picardie.fr

Chumin LI
chu-min.li@u-picardie.fr

Corinne LUCET
corinne.lucet@u-picardie.fr

Membres

- Gilles DEQUEN, PR
- Gilles KASSEL, PR
- Vassilis GIAKOUMAKIS, PR
- Chumin LI, PR
- Catherine BARRY, MCF
- Laure BRISOUX-DEVENDEVILLE, MCF
- Claire DELAPLACE, MCF
- Jean-Luc DELÉAGE, MCF
- Frédéric FURST, MCF
- Jean-Luc GUERRIN, MCF
- Sorina IONICA, MCF
- Céline JOIRON, MCF
- Anne LAPUJADE, MCF
- Corinne LUCET (HDR), MCF
- Yu LI, MCF
- Marilyne ROSSELLE, MCF
- Ines SAAD (HDR), MCF
- Emilien ARNAUD, Doctorat
- Simon CAILLARD, Doctorat
- Olivier GÉRARD, Doctorat
- Clémence MAUGER, Doctorat
- Anass SBAI, Doctorat
- Monika TRIMOSKA, Doctorat
- Sulamithe TSAKOU, Doctorat
- Fabien VITON, Doctorat
- Mahmoud ELBATTAH, Post-doctorat

Thématique générale de l'équipe

Les principales activités de recherche de l'équipe GOC ont toutes en commun la résolution de problèmes NP-difficiles dans des domaines d'applications très divers comme la sécurité des systèmes (cryptanalyse algébrique), la logistique (planification, routage, localisa-

tion), l'aide à la décision ou encore les processus d'apprentissage et les ontologies. Ces domaines d'applications se rejoignent dans les projets portés par l'équipe autour de la santé, la cyber-sécurité ou la logistique industrielle. Les compétences développées au sein de l'équipe GOC pour traiter les problèmes académiques ou applicatifs associés adhèrent aux techniques de l'Intelligence Artificielle et de la Recherche Opérationnelle.

La résolution de ces problèmes suit une première phase de modélisation avant le développement concordant d'algorithmes. Un problème peut ainsi être modélisé comme une formule en forme normale conjonctive (CNF), sous la forme d'un graphe, sous la forme d'un programme linéaire (PL), ou encore sous la forme d'un système d'équations polynomiales, en fonction de sa nature et de sa structure propre. Relativement au modèle proposé, sont alors développés des algorithmes dont les objectifs sont soit l'obtention d'une solution optimale (méthode complète ou exacte) soit l'obtention d'une solution de bonne qualité, mais sans garantie d'optimalité (méthode incomplète ou approchée).

Le problème SAT qui consiste, étant donné une formule CNF, à décider si elle est valide ou non, a été et est toujours intensivement étudié au sein de l'équipe GOC. L'étude de SAT et de ses extensions comme MaxSAT et MinSAT, ainsi que leurs applications dans la résolution d'autres problèmes combinatoires, ont débouchés sur la production d'algorithmes très performants (Maple_LCM [9], MoMC [6] ,



TSM-MWC [2], WVNS-e [11]). Les solveurs Maple_LCM et WVNS-e ont du reste remportés des compétitions internationales comme *SAT 2017 competition* et *GECCO 2020 competition*. Mais l'étude et la maîtrise de SAT au sein de l'équipe ont également débouché sur des résultats innovants en cryptanalyse algébrique [13].

Un grand nombre de problèmes d'optimisation peuvent aussi se modéliser sous la forme d'un problème de graphe, comme celui de la recherche de la clique maximum (bio-informatique, chimie, réseaux sociaux, etc.) ou du nombre et de la somme chromatique d'un graphe (planification de tâches, allocations de fréquences, etc.). La forme décisionnelle de ces problèmes peut être abordée suivant les différents paradigmes de modélisation précédemment cités [6, 5]. L'étude de la structure de leur espace de recherche peut contribuer de manière significative à leur résolution, en fournissant par exemple des bornes pertinentes [4].

Les problèmes d'optimisation en logistique, peu importe l'aire applicative (e-santé, industrie), sont pour la plupart de ceux que nous avons abordés des problèmes linéaires. Des solutions optimales par des solveurs comme CPLEX peuvent être obtenues sur de petites instances, mais le passage à l'échelle nécessite généralement le développement de métaheuristiques, techniques exploratoires de l'espace de recherche. Nos collaborations avec les secteurs de la santé et de l'industrie nous ont permis de développer cet axe exigeant [1, 3].

Description des travaux

Dans le cadre des thématiques de l'équipe GOC, de nombreux travaux sont menés, que ce soit dans le cadre de projets en collaboration avec d'autres laboratoires et/ou des structures industrielles, ou dans une démarche indépendante. Nous présentons ci-dessous trois des projets récents développés au sein de l'équipe.

Massal'IA. Le projet Massal'IA est directement lié à la chaire de recherche et d'enseignement en Intelligence Artificielle de l'ANR, que Chumin LI a obtenu en 2020 pour une durée de quatre ans. Il s'agit d'une collaboration avec le laboratoire LIS de l'Université d'Aix-Marseille. Chumin LI a développé plusieurs algorithmes SAT, MaxSAT et MaxClique efficaces qui sont parmi les références fréquemment citées dans le domaine [7, 2, 9]. L'objectif du projet Massal'IA est d'élargir encore les capacités de ces algorithmes par l'intégration de processus d'apprentissage automatique en leur sein, afin de rendre possible l'optimisation à grande échelle. En effet dans les problèmes réels, les informations peuvent être complexes, incertaines et évolutives dans le temps, ce qui complexifie considérablement les problèmes associés. Il s'agira ensuite d'appliquer ces algorithmes au problème de la mobilité des véhicules électriques à l'échelle réelle. Un modèle de données sera également construit à base d'outils de l'IA (réseaux bayésiens, apprentissage automatique, etc.) pour la prédiction et la simulation du trafic et à l'aide à la validation des solutions au problème industriel. Un partenaire industriel majeur, Enedis, est impliqué dans ce projet, dont l'objectif est d'aider au développement de la mobilité électrique (localisation des bornes de recharge, planification des réserves d'énergie mobiles, etc.). Des travaux préliminaires, utilisant l'apprentissage par renforcement pour résoudre les problèmes combinatoires, ont été réalisés [8, 15].

PIA3 Smart Angel. Ce projet, porté par Gilles DEQUEN, est en partenariat avec Evolucare Technologies, le CHU Nîmes, l'Assistance Publique Hôpitaux de Paris (AP-HP), l'UPEC et la société INES. Smart Angel vise à construire, d'une part, un dispositif médical connecté et, d'autre part, à développer l'ensemble de la couche logicielle permettant



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

une surveillance médicale individualisée du patient dans les contextes intra et extra hospitaliers. Smart Angel implique plusieurs chercheurs du MIS issus de différentes équipes. Les axes concernant plus particulièrement l'équipe GOC sont l'anonymisation des données (axe modélisation et sécurité) et l'analyse de séries temporelles pour la prédiction et l'explication de situations critiques (axe modélisation et IA). L'anonymisation de données organisées et structurées classiquement sous la forme de tables suppose l'existence d'un objet hiérarchique décrivant de façon sémantique une phylogénie pour chaque attribut de la table. Considérant ces objets, le problème de l'anonymisation consiste à assurer, grâce à une généralisation de la sémantique de chaque attribut, que pour chaque ligne de la table, elle ne puisse être discriminée dans un ensemble d'au moins « p » autres lignes. La construction de ces « classes d'équivalence » relève d'un problème de combinatoire apparenté au partitionnement. Plus spécifiquement nous nous intéressons principalement à la question de la k -anonymité [10]. Le second thème porte sur l'étude et la conception de modèles de prédiction du patient en contexte hospitalier sur la base de séries temporelles multivariées. Au-delà de la conception de modèles de prédiction de situations critiques pour les patients en réanimation, nous nous intéressons à la question de l'explicabilité de la décision du modèle sur la base de construction de cartes de chaleur [14].

POSTCRYPTUM. Il s'agit de travaux portés par Sorina IONICA dans le cadre du projet ANR « Cryptanalyse algébrique pour la cryptographie post-quantum » dans lequel sont impliqués outre le laboratoire MIS, la DGA, l'AID, le CRIL de l'Université d'Artois et le LIP6 de l'Université la Sorbonne. Parmi les techniques bien établies en cryptanalyse, les attaques algébriques sont des méthodes permettant de dé-

crire une structure de cryptosystème comme un système d'équations polynomiales, et par conséquent de réduire sa sécurité à la difficulté de résolution du système associé. POST-CRYPTUM vise donc à concevoir des attaques algébriques efficaces pour plusieurs classes de cryptosystèmes qui peuvent être modélisées comme un système polynomial binaire. Ces systèmes booléens peuvent être traités comme des problèmes de satisfiabilité, puisque les polynômes booléens peuvent être utilisés pour représenter des contraintes. Une fois cette transformation effectuée, il devient possible d'utiliser des solveurs SAT pour énumérer les solutions de la formule logique correspondante. Dans ce dernier cas, des résultats prometteurs ont été obtenus dans la thèse de Monika TRIMOSKA [12, 13] sur l'attaque du calcul d'indice pour les courbes elliptiques à logarithme discret. Bien que des travaux aient préalablement été menés sur ce thème, les techniques de satisfiabilité restent peu connues et peu explorées par les cryptographes. De plus, la plupart des solveurs SAT ont été conçus pour répondre à des problèmes industriels de grande taille et ils ignorent complètement la nature algébrique des instances cryptographiques. Intégrer leur spécificités aux solveurs SAT ne pourra donc qu'améliorer les performances de ceux-ci sur ce type de problème.

Références

- [1] Simon Caillard, Laure Brisoux Devendeville, and Corinne Lucet. A planning problem with resource constraints in health simulation center. In *Optimization of Complex Systems : Theory, Models, Algorithms and Applications, WCGO 2019, World Congress on Global Optimization*, volume 991 of *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pages 1033–1042. Springer, 2019.
- [2] Hua Jiang, Chu-Min Li, Yanli Liu, and Fe-



- lip Manyà. A two-stage maxsat reasoning approach for the maximum weight clique problem. In *32nd AAAI Conference on Artificial Intelligence*, pages 1338–1346, 2018.
- [3] Hua Jiang, Corinne Lucet, Laure Deventeville, and Chu-Min Li. An effective variable neighborhood search with perturbation for location-routing problem. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 28(7) :1950024 :1–1950024 :17, 2019.
- [4] Clément Lecat, Corinne Lucet, and Chu-Min Li. New lower bound for the minimum sum coloring problem. In *31st AAAI Conference on Artificial Intelligence*, pages 853–859, 2017.
- [5] Chu-Min Li, Zhiwen Fang, Hua Jiang, and Ke Xu. Incremental upper bound for the maximum clique problem. *Journal on Computing*, 30(1) :137–153, 2018.
- [6] Chu-Min Li, Hua Jiang, and Felip Manyà. On minimization of the number of branches in branch-and-bound algorithms for the maximum clique problem. *Computers & Operations Research*, 84 :1–15, 2017.
- [7] Chu-Min Li, Fan Xiao, Mao Luo, Felip Manyà, and Zhipeng Lv. Clause vivification by unit propagation in cdcl sat solvers. *Artificial Intelligence*, 279 :103–197, 2020.
- [8] Yanli Liu, Chu-Min Li, Hua Jiang, and Kun He. A learning based branch and bound for maximum common subgraph related problems. In *34th AAAI Conference on Artificial Intelligence*, pages 2392–2399, 2020.
- [9] Mao Luo, Chu-Min Li, Fan Xiao, Felip Manyà, and Zhipeng Lü. An effective learnt clause minimization approach for cdcl sat solvers. In *26th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pages 703–711, 2017.
- [10] Clémence Mauger, Gaël Le Mahec, and Gilles Dequen. Multi-criteria optimization using l-diversity and t-closeness for k-anonymization. In *Data Privacy Management, Cryptocurrencies and Blockchain Technology - ESORICS 2020 International Workshops, DPM 2020 and CBT 2020*, volume 12484 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 73–88. Springer, 2020.
- [11] Zhouxing Su, Qingyun Zhang, Zhipeng Lu, Chu-Min Li, Weibo Lin, and Fuda Ma. Weighting-based variable neighborhood search for optimal camera placement. In *35th AAAI Conference on Artificial Intelligence*, pages 12400–12408, 2021.
- [12] Monika Trimoska, Sorina Ionica, and Gilles Dequen. Parity (XOR) reasoning for the index calculus attack. In *26th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, volume 12333 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 774–790. Springer, 2020.
- [13] Monika Trimoska, Sorina Ionica, and Gilles Dequen. A sat-based approach for index calculus on binary elliptic curves. In *12th International Conference on Cryptology in Africa*, volume 12174 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 214–235. Springer, 2020.
- [14] Fabien Viton, Mahmoud Elbattah, Jean-Luc Guérin, and Gilles Dequen. Multi-channel convnet approach to predict the risk of in-hospital mortality for ICU patients. In *1st International Conference on Deep Learning Theory and Applications*, pages 98–102, 2020.
- [15] Jiongzhi Zheng, Kun He, Jianrong Zhou, Yan Jin, and Chu-Min Li. Combining



reinforcement learning with lin-kernighan-helsgaun algorithm for the traveling salesman problem. In *35th AAAI Conference*

on Artificial Intelligence, pages 12445–12452, 2021.

■ AIC : Algorithmes pour l'inférence et contraintes

CRIL
Université d'Artois - CNRS UMR 8188
<http://www.cril.fr>

Gilles AUDEMARD
audemard@cril.fr

Christophe LECOUTRE
lecoutre@cril.fr

L'axe AIC est composé de 23 membres permanents et 6 doctorants. Pour éviter une liste à la Prévert, nous ne les citons pas tous ici.

Thématique générale de l'équipe

Cette dernière décennie, des avancées spectaculaires ont été obtenues dans les domaines de recherche croisés que constituent la résolution de problèmes de satisfaction de contraintes à domaines discrets (CSP), la satisfaisabilité propositionnelle (SAT), la représentation et le raisonnement sur le temps et l'espace et les extensions de ces différents problèmes. La taille des instances de ces problèmes combinatoires qui sont à présent résolues a souvent augmenté de plusieurs ordres de grandeur tandis que les champs d'application se sont multipliés. Parmi eux, on trouve des questions d'ordonnement, des problèmes d'allocation de fréquences, la conception de circuits VLSI, la validation de bases de connaissances, ou encore des questions de bio-informatique, de fouille de données et d'implantation de raisonnements non monotones.

L'activité de l'axe thématique « Algorithmes pour l'Inférence et Contraintes » (AIC) du CRIL relève de ces domaines de recherche connexes et de leur fertilisation croisée. Elle vise à améliorer les techniques au niveau conceptuel et à les implanter au sein de logiciels-solveurs innovants (le plus souvent

sous forme de logiciels libres).

Description des travaux

Nous présentons ci-dessous quelques travaux actuels au sein de l'axe AIC.

IA Explicable

Un des thèmes importants de notre projet de recherche pour les quatre ans à venir concerne l'IA explicable. Dans ce cadre, Pierre MARQUIS a été lauréat d'une chaire IA financée par l'ANR qui a débuté en septembre 2021. Le projet EXPEKCTATION concerne le développement d'approches pour un apprentissage automatique interprétable et robuste, en utilisant la compilation de connaissances : nous recherchons des techniques de prétraitement capables d'associer à un prédicteur boîte noire une boîte blanche, pouvant être utilisée pour fournir diverses formes d'explication et répondre à des requêtes de vérification sur la boîte noire. Nous prévoyons de nous concentrer sur le problème de l'interprétabilité post-hoc : on examinera des modèles d'apprentissage qui ne sont pas interprétables intrinsèquement et on analysera les modèles une fois appris. Nous nous concentrerons sur la question de l'interprétabilité globale (*i.e.* d'expliquer le comportement du modèle dans son ensemble). L'objectif principal du projet EXPEKCTATION est



de tirer parti des techniques de compilation de connaissances, dont nous possédons une expertise importante, afin de traiter des problèmes fondamentaux pour l'IA explicable et robuste. Deux questions principales seront examinées :

- Quels langages de représentation admettent des algorithmes « efficaces » pour dériver des explications et prendre en charge des requêtes de vérification ?
- Comment extraire une représentation traitable d'un prédicteur boîte noire ?

Des premiers résultats concernant la difficulté des requêtes que l'on peut réaliser sur des classifieurs booléens ou sur leur intelligibilité ont d'ores et déjà été mis en avant [1, 2]. D'autres travaux autour de l'IA explicable sont actuellement en cours dans notre axe à travers différentes thèses.

Modélisation

La modélisation est une étape cruciale en programmation par contraintes (PPC). Malheureusement, il reste beaucoup à faire pour simplifier celle-ci et rendre la PPC accessible à un public (scientifique) beaucoup plus large. Le développement de la suite PyCSP3/XCSP3 poursuit cet objectif, en reposant notamment sur des standards de l'informatique (Python, JSON, XML).

XCSP3 est un format de représentation, et plus généralement un projet de longue haleine autour de ce format, développé au CRIL depuis 2014. L'objectif à long terme est que XCSP3 devienne le format pivot pour les outils de programmation par contraintes. XCSP3 est un format intermédiaire, c'est-à-dire préservant la structure des modèles, compact et lisible. Plus d'informations sur XCSP3 est disponible sur le site vitrine : www.xcsp.org.

PyCSP3 est une bibliothèque Python permettant de modéliser des problèmes combinatoires sous contraintes, de type CSP

(Constraint Satisfaction Problem) et COP (Constraint Optimization Problem). L'utilisateur définit tout d'abord un modèle, et traduit ensuite ce modèle en instance(s) au format XCSP3 en utilisant simplement le compilateur fourni par la bibliothèque Python, après avoir indiqué les données à prendre en compte (typiquement au format JSON). PyCSP3 a une vocation assurément pédagogique car les étapes de modélisation et de résolution (avec par exemple, l'utilisation d'un solveur embarqué, tel que Ace et Choco) sont totalement découplées. La bibliothèque PyCSP3, accompagnée de nombreux modèles, est accessible sur [Github](https://github.com). Une documentation complète est également disponible [3].

SAT4J

Parmi les solveurs développés au CRIL, nous ne pouvons pas passer sous silence le solveur SAT4J. Développé depuis presque 20 ans, SAT4J a intégré le consortium Object-Web (maintenant OW2) en 2005. Il est intégré à l'IDE eclipse depuis 2008. Il est également utilisé dans de nombreux projets académiques dans différents domaines. SAT4J et son développeur principal, Daniel LE BERRE, ont été mis à l'honneur en 2018 avec la médaille de l'innovation du CNRS. Des informations complémentaires sur SAT4J sont accessibles à partir du site vitrine : <http://www.sat4j.org>.

Références

- [1] Gilles Audemard, Steve Bellart, Louenas Bounia, Frédéric Koriche, Jean-Marie Lagniez, and Pierre Marquis. On the computational intelligibility of boolean classifiers. *CoRR*, abs/2104.06172, 2021.
- [2] Gilles Audemard, Frédéric Koriche, and Pierre Marquis. On tractable XAI queries based on compiled representations. In *17th International Conference on Principles of*



Knowledge Representation and Reasoning,
pages 838–849, 2020.

[3] Christophe Lecoutre and Nicolas Szcze-

panski. PYCSP3 : modeling combinatorial constrained problems in python. *CoRR*, abs/2009.00326, 2020.

■ **RATIO : Raisonement**

LaBRI/Ratio
Université de Bordeaux
<https://ratio.labri.fr/>

Laurent SIMON

lsimon@labri.fr

Membres

- Laurent SIMON, PR
- Joanna OCHREMIK, CR
- Rohan FOSSÉ, Doctorat
- Guillaume BAUD-BERTHIER, Doctorat
- Gaël GLORIAN, Post-doctorat

Thématique générale de l'équipe

L'équipe Ratio du **LaBRI** (« raisonnement » en latin) est une jeune équipe née de la restructuration de l'équipe Méthodes Formelles du **LaBRI**. Elle regroupe des thèmes de recherche autour des problèmes de raisonnement avec données, connaissances et contraintes, notamment :

- l'analyse statique pour les bases de données et les modèles relationnels, les modèles semi-structurés (XML), et les données de graphes (RDF),
- les langages de représentation de connaissances, notamment les langages d'ontologies tels que les logiques de description,
- la réponse aux requêtes en présence de contraintes et/ou connaissances,
- le raisonnement sur des données incomplètes ou inconsistantes,
- les modèles et logiques sur les objets infinis,
- le problème de satisfaction des contraintes (CSP) et ses différentes variantes (domaine infini, domaine restreint, contraintes valuées, etc.),

- les problèmes de SAT, avec deux points saillants : la parallélisation (cf. l'outil *Glucose/Syrup*) ; et l'intégration d'outils heuristiques (issus par exemple de l'apprentissage automatique) permettant de diriger la recherche de preuves d'insatisfiabilité.

L'équipe, dans sa totalité, repose sur 10 permanents et 3 étudiants.

Au cœur de cette récente restructuration se trouve la volonté de l'équipe de donner plus de visibilité à certains domaines de recherche, comme ceux liés aux ontologies et aux problèmes de satisfaction de contraintes (CSP), même si les thèmes de l'équipe sont beaucoup plus larges, bien entendu.

Description des travaux

Du fait de son origine, l'équipe Ratio du **LaBRI** étudie les contraintes avec un double regard théorique et pratique. Ainsi, on trouvera des travaux autour de la complexité théorique des CSP, de la résolution pratique de SAT, et de l'application de SAT et de CSP à des problématiques du monde réel.

Étude de la complexité des CSP

Le problème de satisfaction des contraintes est une généralisation de SAT où les variables peuvent prendre des valeurs d'un domaine qui n'est pas nécessairement booléen, et



les contraintes spécifient les affectations possibles pour les tuples de variables. La direction plus particulièrement étudiée dans l'équipe réside autour de la notion de satisfaction des contraintes avec promesse (PCSP). Motivé par des problèmes ouverts sur l'inapproximabilité des variantes de SAT et de la coloration des graphes, l'objectif de PCSP est de distinguer les instances satisfaisables de celles qui n'ont pas de solutions, même en considérant une version assouplie des contraintes. Par ailleurs, il a été identifié depuis longtemps d'importants liens entre CSP et interrogation de bases de données, incomplètes ou incohérentes. Nous étudions ainsi l'identification des restrictions raisonnables de CSP utiles dans ce cadre, et sur le développement d'outils algébriques pour caractériser leurs propriétés [1]. De plus, nous étudions la complexité de plusieurs variantes du PCSP, notamment à l'aide de méthodes de recherche de preuves.

Un second axe récent traite de l'application pratique des CSP à des problèmes pratiques issus du jeu vidéo. Au sein d'un projet collaboratif avec Ubi-Soft, nous avons ainsi proposé d'étendre les capacités du solveur de contraintes Nacre [4] à l'aide de contraintes spécialisées dans la génération de variations de niveaux d'un jeu [2]. L'idée de ce travail est de permettre aux « Level Designers » des jeux d'explorer efficacement, et de manière déclarative, l'ensemble des variantes possibles d'un donjon pris comme référence.

Résolution pratique de SAT

Le problème SAT mêle le meilleur de la théorie et de la pratique. L'équipe travaille ainsi à la résolution pratique de SAT, grâce au maintien de l'outil Glucose, un solveur SAT de référence (conjointement avec le CRIL, Lens).

En plus de cet outil, notamment grâce à l'ANR SATAS² porté par l'équipe, nous étudions l'extension des solveurs SAT au cas pa-

rallèle, en vue de proposer une approche originale fondée sur la décomposition de la preuve plutôt que la décomposition de la recherche de solution [3]. Pour cela, nous proposons l'étude des preuves construites par ces solveurs pour en extraire à la volée des informations permettant de prédire quelle distribution de l'effort serait la plus efficace. L'un des problèmes est d'arriver à extraire automatiquement des informations au niveau sémantique (quelles variables sont en contradiction par exemple) de la formule, à partir de traces syntaxiques et surtout d'arriver à les généraliser pour résoudre de nouveaux problèmes.

Références

- [1] Albert Atserias and Joanna Ochremiak. Proof Complexity Meets Algebra. *ACM Transactions on Computational Logic*, 20(1) :1–46, 2019.
- [2] Gael Glorian and Adrien Debesson, Sylvain Yvon-Paliot, Laurent Simon. Chu-Min Li, Fan Xiao, Mao Luo, Filip Manyá, and Zhipeng Lv. Génération de donjons à l'aide de la programmation par contraintes. 2021.
- [3] Rohan Fossé and Laurent Simon. On the non-degeneracy of unsatisfiability proof graphs produced by SAT solvers. In John N. Hooker, editor, *Proceedings of the 24th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, volume 11008 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 128–143. Springer, 2018.
- [4] Gael Glorian, Jean-Marie Lagniez, and Christophe Lecoutre. NACRE - A nogood and clause reasoning engine. In Elvira Albert and Laura Kovács, editors, *Proceedings of the 23rd International Conference on Logic for Programming, Artificial Intelligence and Reasoning*, volume 73 of *EPiC Series in Computing*, pages 249–259. EasyChair, 2020.

2. Projet ANR-15-CE40-0017



■ C&A : Contraintes & Applications

I3S/C&A
Université Côte d'Azur
<https://www.i3s.unice.fr/fr/node/518>

Jean-Charles RÉGIN

Jean-Charles.Regin@univ-cotedazur.fr

Membres

- Jean-Charles RÉGIN, PR
- Elisabetta DE MARIA, MCF
- Joëlle DESPEYROUX, CR INRIA
- Cinzia DI GIUSTO, MCF
- Carine FÉDÈLE, MCF
- Arnaud MALAPERT, MCF
- Marie PELLEAU, MCF
- Arthur FINKELSTEIN, Doctorat
- Giovanni GATTI PINHEIRO, Doctorat
- Loïc GERMERIE, Doctorat
- Nicolas ISOART, Doctorat
- Victor JUNG, Doctorat
- Laetitia LAVERSA, Doctorat

Thématique générale de l'équipe

Les travaux de recherche de l'équipe C&A s'articulent autour de trois thématiques, l'optimisation combinatoire en utilisant la recherche opérationnelle et la programmation par contraintes, la combinaison de méthode de vérification et la programmation par contraintes, et la théorie de la concurrence et les méthodes formelles appliquées à la biologie et aux neurosciences.

La première thématique consiste en plusieurs thèmes récurrents comme la résolution de problèmes d'optimisation combinatoires complexes, plus particulièrement la modélisation et la résolution de problèmes d'ordonnancement, le problème du voyageur de commerce (TSP) et le problème de *bin packing*, la parallélisation de solveurs de programmation par contraintes, le développement d'algorithmes efficaces pour les diagrammes de dé-

cision multi-valués (MDD) et la résolution de problèmes à l'aide de MDD. Récemment nous avons produits quelques modèles originaux pour la production de texte ou de musique sous contraintes.

La seconde thématique s'intéresse à l'utilisation d'outils venant de l'interprétation abstraite ou du *model checking* afin d'améliorer la résolution en programmation par contraintes.

La troisième thématique est composée de trois thèmes : l'étude des propriétés (telles que la sécurité ou la vivacité) des systèmes concurrents, la modélisation et vérification formelle de systèmes dynamiques, la modélisation et l'étude de systèmes biologiques à l'aide de preuves – semi-automatiques – certifiées.

Description des travaux

TSP

En 2012, les arbres couvrants ont été utilisés afin de résoudre le problème du TSP en programmation par contraintes (PPC) [1]. Depuis, la contrainte *k-cutset* [14] a été introduite. Elle permet de gagner un facteur 2 sur l'état de l'art en s'intéressant aux coupes du graphe initial. Des améliorations pratiques ont aussi été intégrées comme dans la relaxation lagrangienne du TSP en étudiant les variations de la fonction objectif [15]. Aussi, des travaux ont été menés afin de permettre la parallélisation du TSP en PPC [16].

MDD

Les diagrammes de décision multi-valués (MDD) sont des structures de données per-



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

mettant de représenter sous forme compressée des ensembles de solutions. On peut aussi leur appliquer des opérations sans les décompresser. Nous avons développés des algorithmes très efficaces pour les définir, les combiner et les intégrer dans un solveur de PPC [25, 26, 27, 32, 28, 29, 30]. L'originalité de notre approche est d'avoir vu les MDD comme étant des graphes et d'avoir utilisé des procédures en largeur au lieu des habituelles procédures en profondeur. Leur capacité de compression est très impressionnante. Par exemple, on peut avec quelques millions de noeuds représenter 10^{30} solutions. Les MDD permettent de résoudre certains problèmes juste par une suite d'opération et donc sans avoir besoin d'une procédure de recherche. C'est un thème majeur de l'équipe qui implique plusieurs doctorants.

Récemment, il a été montré que l'utilisation de MDD pouvait réduire considérablement le temps de résolution pour des problèmes contenant des contraintes globales (telles que GCC ou les contraintes de séquences) [17]. En effet, un nouvel opérateur d'inclusion entre deux MDD permet de vérifier la satisfaisabilité, et une nouvelle notion de propriété de noeud plus spécifique permet de récupérer de manière très efficace les paramètres de contraintes globales. Nous avons aussi expliqué comment les MDD peuvent être utilisés dans la modélisation de problèmes théoriques [12].

EPS

Une méthode originale *Embarrassingly Parallel Search* (EPS) a été proposée afin de paralléliser la recherche de solutions en programmation par contraintes [34, 35, 31]. Cette méthode découpe le problème en un grand nombre de sous-problèmes cohérents, et équilibre dynamiquement la charge de travail des *workers*.

BPP

Le problème du *bin packing* est un problème majeur en informatique que l'on retrouve dans de nombreuses applications réelles. Nous collaborons depuis des années avec l'Université de Louvain-La-Neuve sur ce sujet et nous avons publiés ensemble de nombreux travaux [36, 33, 18, 24, 6].

Vérification

Un thématique nouvelle de l'équipe est l'intégration d'outils de domaines de la vérification de programmes tels que l'interprétation abstraite ou le *model checking*. Dans le cadre de l'interprétation abstraite, des travaux ont déjà été publiés utilisant les domaines abstraits au sein d'un solveur de contraintes [22, 23]. Plus récemment, la combinaison de domaines abstraits a été utilisée pour la résolution [38, 37].

Méthodes formelles pour la concurrence

Nous parlons des systèmes concurrents chaque fois que nous faisons référence aux systèmes qui fonctionnent en parallèle et qui échangent des informations pour se synchroniser (tels que les systèmes distribués). Ces systèmes sont omniprésents et trouvent des applications variées, de façon classique dans la modélisation des protocoles de communication, mais aussi dans d'autres domaines tels que la biologie [5] ou l'écologie [9].

Il s'agit des systèmes complexes à analyser car l'ensemble des comportements à étudier devient rapidement très grand, voire infini (principalement à cause de l'entrelacement du au parallélisme). Pour cette raison il est nécessaire d'introduire des modèles et des outils d'analyse appropriés. L'équipe travaille en particulier sur des modélisation via les automates communicantes [11, 2, 10], les algèbres des processus et les session types [13].



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Model checking pour la bio-informatique

Appliqué à l'étude du vivant, le *model checking* nous a permis de tester si des hypothèses biologiques sont valides ou pas dans un modèle biologique, de prédire l'évolution de certaines espèces biologiques qui ne peuvent pas être observées complètement, et de rechercher les paramètres biologiques qui permettent à un modèle d'afficher un comportement voulu. Des résultats très prometteurs ont été obtenus dans le domaine des neurosciences où nous avons identifié des circuits de neurones avec des topologies et comportements pertinents d'un point de vue biologique. Nous les avons composés et nous avons étudié le comportement résultant [4]. Nous avons également proposé un algorithme d'apprentissage de paramètres adapté à des réseaux de neurones biologiques [21] et un algorithme qui réduit automatiquement le nombre de neurones et connexions synaptiques d'un réseau, tout en préservant des comportements voulus [20].

Biomédecine et neurosciences en logique

Pour étudier la dynamique des systèmes biologiques, nous proposons ici d'utiliser le Calcul des Constructions Inductives (CCind), de deux manières.

Dans la première approche, nous modélisons les systèmes biologiques dans la logique linéaire (LL), bien adaptée à la description des systèmes de transitions. LL est elle-même formalisée en CCind. Cette approche, dite « à deux niveaux », permet une approche intégrée et (presque) complètement certifiée, la formalisation de LL en CCind ayant elle-même été prouvée correcte [7, 8, 3].

Dans la seconde approche, nous utilisons CCind directement en neurosciences pour décrire les neurones comme des programmes Coq ; les propriétés des neurones étant prou-

vées en CCind. Coq est un langage de programmation fonctionnel très expressif. C'est également l'un des systèmes de preuves implémentant CCind. Les deux approches logiques sont présentées dans un chapitre de livre [19].

Références

- [1] P. Benchimol, W.-J. Van Hove, J.-C. Régim, L.-M. Rousseau, and M. Rueher. Improved filtering for weighted circuit constraints. *Constraints*, 17(3) :205–233, 2012.
- [2] Benedikt Bollig, Cinzia Di Giusto, Alain Finkel, Laetitia Laversa, Etienne Lozes, and Amrita Suresh. A unifying framework for deciding synchronizability. In *CONCUR 2021 - to appear*, 2021.
- [3] Kaustuv Chaudhuri, Joëlle Despeyroux, Carlos Olarte, and Elaine Pimentel. Hybrid linear logics, revisited. *Mathematical Structures in Computer Science*, pages 1–26, 2019. A preliminary version is available as an HAL hal-01968154 and ArXiv report.
- [4] Elisabetta De Maria, Abdorrahim Bahrami, Thibaud L'yonnet, Amy Felty, Daniel Gaffé, Annie Ressouche, and Franck Grammont. On the Use of Formal Methods to Model and Verify Neuronal Archetypes. *Frontiers of Computer Science*, page 40, 2020.
- [5] Franck Delaplace, Cinzia Di Giusto, Jean-Louis Giavitto, Hanna Kludel, and Antoine Spicher. Activity networks with delays an application to toxicity analysis. *Fundam. Informaticae*, 160(1-2) :119–142, 2018.
- [6] Guillaume Derval, Jean-Charles Régim, and Pierre Schaus. Improved filtering for the bin-packing with cardinality constraint. *Constraints An Int. J.*, 23(3) :251–271, 2018.



- [7] Joëlle Despeyroux. (mathematical) logic for systems biology (invited paper). In *Proceedings of the 14th Intl. Conference on Computational Methods in Systems Biology*, volume 9859 of *Lecture Notes in Computer Sciences*, pages 3–12. Springer, 2016. Also appears as an HAL hal-01433682 and ArXiv report.
- [8] Joëlle Despeyroux, Amy Felty, Pietro Lio, and Carlos Olarte. A logical framework for modelling breast cancer progression. In *Proceedings of the 1st Intl. Symposium on Molecular Logic and Computational Synthetic Biology, series = Lecture Notes in Computer Sciences, volume = 11415, year = 2019, publisher = Springer, note = Also available as an HAL and ArXiv report.*
- [9] Cinzia Di Giusto, Cédric Gaucherel, Hanna Kludel, and Franck Pommereau. Analysis of discrete models for ecosystem ecology. In *12th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies*, pages 242–264, 2019.
- [10] Cinzia Di Giusto, Loïc Germerie, and Étienne Lozes. Towards generalised half-duplex systems. In *ICE 2021 – to appear*, 2021.
- [11] Cinzia Di Giusto, Laetitia Laversa, and Étienne Lozes. On the k-synchronizability of systems. In *23rd International Conference on Foundations of Software Science and Computation Structures, held as part of the European Joint Conferences on Theory and Practice of Software*, pages 157–176, 2020.
- [12] Enrico Formenti, Jean-Charles Régin, and Sara Riva. MDDs boost equation solving on discrete dynamical systems. In *18th International Conference on Integration of Constraint Programming, Artificial Intelligence*, pages = 196–213, year = 2021.
- [13] Cinzia Di Giusto and Jorge A. Pérez. Event-based run-time adaptation in communication-centric systems. *Formal Aspects Comput.*, 28(4) :531–566, 2016.
- [14] Nicolas Isoart and Jean-Charles Régin. Integration of structural constraints into TSP models. In Thomas Schiex and Simon de Givry, editors, *Principles and Practice of Constraint Programming*, pages 284–299, Cham, 2019. Springer International Publishing.
- [15] Nicolas Isoart and Jean-Charles Régin. Adaptive CP-based Lagrangian relaxation for TSP solving. In Emmanuel Hebrard and Nysret Musliu, editors, *Integration of Constraint Programming, Artificial Intelligence, and Operations Research*, pages 300–316, Cham, 2020. Springer International Publishing.
- [16] Nicolas Isoart and Jean-Charles Régin. Parallelization of TSP solving in CP. In *International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, pages 410–426. Springer, 2020.
- [17] V. Jung and J.-C. Régin. Checking constraint satisfaction. In *CPAIOR*, 2021.
- [18] A. Malapert, J.-C. Régin, and J. Parpaillon. The package server location problem. In *ICORES*, 2013.
- [19] Elisabetta De Maria, Joëlle Despeyroux, Amy Felty, Pietro Liò, Carlos Olarte, and Abdorrahim Bahrami. *Computational Logic for Biomedicine and Neuroscience*. ISTE-Wiley, 2020. Chapter in a book to appear. A preliminary version is available as an HAL hal-02895930 and ArXiv report.
- [20] Elisabetta De Maria, Daniel Gaffé, Cédric Girard Riboulleau, and Annie Ressouche. A model-checking approach to reduce spiking neural networks. In Paul Anderson, Hugo Gamboa, Ana L. N. Fred,



- and Sergi Bermúdez i Badia, editors, *11th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies*, pages 89–96. SciTePress, 2018.
- [21] Elisabetta De Maria, Cinzia Di Giusto, and Laetitia Laversa. Spiking neural networks modelled as timed automata : with parameter learning. *Nat. Comput.*, 19(1) :135–155, 2020.
- [22] Marie Pelleau, Antoine Miné, Charlotte Truchet, and Frédéric Benhamou. A constraint solver based on abstract domains. In *14th International Conference on Verification, Model Checking, and Abstract Interpretation*, pages 434–454, 2013.
- [23] Marie Pelleau, Charlotte Truchet, and Frédéric Benhamou. The octagon abstract domain for continuous constraints. *Constraints An Int. J.*, 19(3) :309–337, 2014.
- [24] F. Pelsser, P. Schaus, and J.-C. Régim. Revisiting the cardinality reasoning for binpacking constraint. In *CP*, 2013.
- [25] G. Perez and J.-C. Régim. Improving GAC-4 for table and MDD constraints. In *CP*, 2014.
- [26] G. Perez and J.-C. Régim. Efficient operations on MDDs for building constraint programming models. In *IJCAI*, 2015.
- [27] G. Perez and J.-C. Régim. Constructions and in-place operations for MDDs based constraints. In *CPAIOR*, 2016.
- [28] Guillaume Perez and Jean-Charles Régim. Mdds are efficient modeling tools : An application to some statistical constraints. In *14th International Conference on Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming*, pages 30–40, 2017.
- [29] Guillaume Perez and Jean-Charles Régim. MDDs : Sampling and probability constraints. In *23rd International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, pages 226–242, 2017.
- [30] Guillaume Perez and Jean-Charles Régim. Soft and cost MDD propagators. In *31st AAAI Conference on Artificial Intelligence*, pages 3922–3928, 2017.
- [31] Jean-Charles Régim and Arnaud Malapert. Parallel constraint programming. In *Handbook of Parallel Constraint Reasoning*, pages 337–379. Springer, 2018.
- [32] P. Roy, G. Perez, J.-C. Régim, A. Papadopoulos, F. Pachet, and M. Marchini. Enforcing structure on temporal sequences : The Allen constraint. In *CP*, 2016.
- [33] J.-C. Régim and M. Rezgui. Discussion about constraint programming bin packing models. In *AI for Data Center Management and Cloud Computing Workshop during AAAI*, 2011.
- [34] J.-C. Régim, M. Rezgui, and A. Malapert. Embarrassingly parallel search. In *CP*, 2013.
- [35] J.-C. Régim, M. Rezgui, and A. Malapert. Improvement of the embarrassingly parallel search for data centers. In *CP*, 2014.
- [36] J.-C. Régim and P. Schaus. Bound-consistent spread constraint, application to load balancing in nurse-to-patient assignments. *EURO Journal on Computational Optimization*, 2013.
- [37] Ghiles Ziat, Alexandre Maréchal, Marie Pelleau, Antoine Miné, and Charlotte Truchet. Combination of boxes and polyhedra abstractions for constraint solving. In *Formal Methods International Workshops*, pages 119–135, 2019.
- [38] Ghiles Ziat, Marie Pelleau, Charlotte Truchet, and Antoine Miné. Finding solutions by finding inconsistencies. In *24th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, pages 420–435, 2018.



■ La Programmation par Contraintes dans la Région Toulousaine

LAAS-CNRS/ROC

<https://www.laas.fr/public/en/roc/>

Emmanuel HÉBRARD

hebrard@laas.fr

Membres

- Michel ALDANONDO, PR [1.7.3](#)
- David ALLOUCHE, IR [1.7.7](#)
- Christian ARTIGUES, DR [1.7.6](#)
- Céline BROUARD, CR [1.7.7](#)
- Martin COOPER, PR [1.7.4](#) [1.7.9](#)
- Hélène FARGIER, DR [1.7.41.7.9](#)
- Jean-Loup FARGES [1.7.8](#)
- Paul GABORIT, PR [1.7.31.7.9](#)
- Simon DE GIVRY, CR [1.7.71.7.9](#)
- Emmanuel HEBRARD, CR [1.7.61.7.9](#)
- Marie-José HUGUET, PR [1.7.6](#)
- Joao MARQUES-SILVA, DR [1.7.41.7.9](#)
- Pierre LOPEZ, DR [1.7.6](#)
- Xavier LORCA, PR [1.7.3](#)
- Gauthier PICARD, DR [1.7.8](#)
- Cédric PRALET, CR [1.7.8](#)
- Nathalie ROUSSE, IR [1.7.7](#)
- Stéphanie ROUSSEL, IR [1.7.8](#)
- Thomas SCHIEX, DR [1.7.71.7.9](#)
- Mohamed SIALA, MCF [1.7.61.7.9](#)
- Élise VAREILLES, PR [1.7.51.7.9](#)
- Matthias ZYTNIKI, CR [1.7.7](#)
- Yacine IZZA, Post-doctorant [1.7.9](#)
- Valentin ANTUORI, Doctorant [1.7.6](#)
- Marianne DEFRESNE, Doctorante [1.7.9](#)
- Valentin DURANTE, Doctorant [1.7.9](#)
- Julien FERRY, Doctorant [1.7.6](#)
- Thomas GERSPACHER, Doctorant [1.7.9](#)
- Alexandre HEINTZMANN, Doctorant, [1.7.6](#)
- Hao HU, Doctorant [1.7.6](#)
- Carla JUVIN, Doctorante [1.7.6](#)
- Pierre MONTALBANO, Doctorant [1.7.9](#)
- Tom PORTOLEAU, Doctorant [1.7.6](#)
- Louis RIVIÈRE, Doctorant [1.7.6](#) [1.7.61.7.9](#)
- Trong HIEU TRAN, Doctorant [1.7.81.7.9](#)
- Fulya TRÖSSER, Doctorante [1.7.7](#)

Introduction

Peu de villes rassemblent plus de chercheur·e·s dont le domaine principal d'étude est la programmation par contraintes que Toulouse.

Si les aspects les plus théoriques ne sont pas négligés, les recherches menées dans le site toulousain ont un tropisme particulier pour les applications, peut-être en raison de l'écosystème industriel relativement dynamique de la région, en particulier dans le secteur aéronautique et spatial.

La programmation par contraintes est également bien représentée, au travers de trois chaires, dans l'institut interdisciplinaire d'intelligence artificielle de Toulouse (ANITI pour *Artificial and Natural Intelligence Toulouse Institute*) issu du programme d'investissements d'avenir (Plan Vilani).

Les chercheur·e·s recensé·e·s dans cet article se distribuent sur les institutions présentées ci-dessous.

IMT Mines Albi-Carmaux

Les activités d'IMT Mines Albi-CGI portent sur la mise au point de modèles de connaissances à base de contraintes et d'heuristiques de recherche afin d'aider à la prise de décision. Ces modèles sont à base de CSP discrets, continus ou mixtes, à structures statiques ou dynamiques. Les travaux de recherche exploitent soit le solveur Choco, soit le propagateur CoFiADe. Ces compétences scientifiques ont été mobilisées récemment dans le cadre de projet ANR, FUI ou ADEME, tels que le projet ANR OPERA (2016–2021) et les projets ADEME CRIBA (2013–2018) puis ANR



ISOBIM (2021–2024).

Le projet ANR OPERA (2016–2021) porte sur le développement d'un outil et d'une méthode d'aide à la définition d'offres en réponse à appel d'offres, en adoptant le point de vue de l'entreprise soumissionnaire. Chaque offre, constituée d'une solution technique et un processus de réalisation, est définie en exploitant des connaissances formalisées sous forme d'ontologie couplée à des CSP et du CBR [11]. Ce modèle est étendu pour permettre la définition d'offres sortant du catalogue standard des entreprises [33]. Le projet ANR OPERA a impliqué 4 centres de recherche (IMT Mines Albi, ISAE SUPAERO, ESTIA et ENIT) et 4 entreprises (AES, Axsens BTE, ALTRAN et Mecanuméric). Il a été le support de 3 thèses, Abdourahim SYLLA (2018, 2e prix des thèses AFIS), Delphine GUILLON (2029) et Rania AYACHI (2020), a donné lieu à 4 articles de journaux Web of Sciences et 27 articles de conférences nationales ou internationales.

IRIT – Institut de Recherche en Informatique de Toulouse

La recherche au sein de l'IRIT sur la programmation par contraintes (dans un sens large) traite principalement du problème de sa complexité computationnelle. Les techniques développées sont soit palliatives (opérations de filtrage et d'élagage) ou préventives (compilation [9], identification de classes polynomiales [5]). Par exemple, la compilation hors ligne de l'ensemble de modèles permet la configuration rapide de voitures (Renault). L'efficacité des solveurs permet d'envisager de fournir des explications formellement correctes pour les décisions prises par des systèmes d'apprentissage automatique de type boîte noire [16].

ISAE SUPAERO – Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace

Les activités d'ISAE SUPAERO-DISC sont étroitement liées à celles d'IMT Mines Albi, du fait du recrutement récent du Prof. Élise VAREILLES (2020). Ces travaux portent ainsi sur la mise au point de modèles de connaissances à base de contraintes et d'heuristiques de recherche afin d'aider à la prise de décision. Ces modèles sont à base de CSP discrets, continus ou mixtes, à structures statiques ou dynamiques. Les travaux de recherche exploitent exclusivement le propagateur de contraintes Co-FiADe. Ces compétences scientifiques ont été mobilisées récemment dans le cadre des projets ANR OPERA (2016–2021) et des projets ADEME CRIBA (2013–2018) puis ANR ISOBIM (2021–2024).

Les projets ADEME CRIBA (2013–2018) et ANR ISOBIM (2021–2024) visent à rénover les bâtiments d'habitation construits dans les années 60-70 afin d'améliorer leur performance énergétique. Pour ce faire, dans le cadre du projet ADEME CRIBA, des panneaux configurables en dimension, bardage et équipements sont apposés en façade et servent de nouvelle enveloppe aux bâtiments. Le problème de calepinage de façades avec ces panneaux configurables est formalisé comme un CSP qu'il faut optimiser en nombre de panneaux et en performance énergétique [34, 3]. Le projet ADEME CRIBA a impliqué 2 centres de recherche d'IMT Mines Albi, 4 entreprises (Syrthéa, Millet, SyBois, Domoland) et l'OPH 40. Un chantier pilote à Saint-Paul-lès-Dax, composé de 5 bâtiments et 110 logements sociaux, a servi de première validation aux propositions. Ce projet a été le support de la thèse d'Andrés Felipe BARCO SANTA (2016), d'un article de journal Web of Sciences et de 15 articles de conférences internationales. Le projet ANR ISOBIM, quant à lui, étant les résultats du projet ADEME CRIBA par la prise en



compte de panneaux non rectangulaires et de nouvelles contraintes architecturales. Ce projet implique 4 laboratoires de recherche (CRAN Nancy, IMT Mines Albi, ISAE SUPAERO et CRITT Bois) ainsi que 2 partenaires industriels (Poirot Construction et Synaptic).

LAAS-CNRS – Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes

L'activité de l'équipe ROC (Recherche Opérationnelle, Optimisation Combinatoire & Contraintes) se situe à la frontière entre intelligence artificielle et recherche opérationnelle, avec une part significative de ses recherches dans le domaine de la programmation par contraintes.

Le cœur des recherches consiste à concevoir, développer et évaluer des approches de programmation par contraintes, ainsi que des approches hybrides basées sur la programmation linéaire en nombres entiers, la satisfiabilité booléenne, l'apprentissage par renforcement ou la recherche locale, par exemple [12, 18, 30].

L'équipe cherche à confronter les méthodes proposées au monde réel, d'une part en considérant l'incertitude [10] ou des objectifs multiples, et d'autre part via l'application des méthodes développées au génie industriel, au transport, à l'industrie manufacturière à la gestion de la chaîne logistique, à la gestion de l'énergie [19], et à l'aéronautique et l'espace [25]. À ce titre, l'équipe participe régulièrement à des projets en collaboration avec des acteurs industriels (Renault, Airbus, Thalès, EDF, etc.).

En particulier, l'équipe ROC a participé à un projet commun avec le CNES pour la planification des activités de l'atterrisseur Philae sur la comète Churyumov-Gerasimenko en 2014 [31]. Ces travaux se poursuivent encore actuellement en collaboration avec l'équipe du Jet Propulsion Laboratory de la NASA qui était en charge du projet similaire concernant la sonde Rosetta [6].

MIAT-INRAE – Unité de mathématiques et informatique appliquées de Toulouse

L'équipe Statistiques et Algorithmique pour la Biologie (SaAB) a pour objectif de développer et de mettre à disposition des biologistes des méthodes mathématiques, statistiques et informatiques permettant de contribuer à la compréhension du vivant. Une partie des membres de l'équipe développe des algorithmes pour apprendre [4, 36] et traiter des requêtes d'optimisation et de comptage [7, 28, 22, 35] sur des *réseaux de fonctions de coûts*, un formalisme généralisant la programmation par contraintes, proche des modèles graphiques [8]. Elle applique principalement ses méthodes sur des problèmes issus de la biologie, notamment sur la conception par ordinateur de nouvelles protéines [2, 1, 37].

ONERA – Office national d'études et de recherches aérospatiales

L'unité SYD (SYstèmes intelligents et Décision) de l'ONERA se consacre à l'étude et au développement de cadres de modélisation et d'algorithmes pour la planification, l'ordonnement et l'allocation optimale de ressources dans un contexte où les aspects temporels ou spatiaux ne peuvent être occultés. Une partie importante des activités repose sur des compétences spécifiques en intelligence artificielle, optimisation combinatoire, recherche opérationnelle et décision dans l'incertain, et notamment des compétences en programmation par contraintes, satisfaction de formules Booléennes, recherche locale et métaheuristiques, processus décisionnels de Markov, systèmes multi-agents et optimisation sous contraintes distribuée. Les méthodes et outils développés sont appliqués à des problèmes du domaine aéronautique (optimisation conjointe des avions et de leurs chaînes de production [26],



Afia

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

gestion de conflits en trafic aérien [21, 29], *etc.*), du domaine spatial (conception de satellites [32], opération de grandes constellations [24], *etc.*), ou encore du domaine robotique (optimisation du déploiement de robots [23], diagnostic de systèmes [27], *etc.*). Une attention particulière est portée au développement de solutions prenant en compte la complexité des systèmes physiques considérés et leur insertion dans un monde dynamique et incertain, ainsi que le besoin de définir des algorithmes qui soient acceptables du point de vue des temps de résolution et qui restent « lisibles » pour les utilisateurs finaux. Ces travaux sont réalisés en lien étroit avec différents partenaires institutionnels (CNES, DGA, *etc.*) et industriels (groupe Airbus, Thalès, *etc.*).

ANITI

DeepLEVER – Deep Learner Explanation and Verification

La chaire DeepLEVER, dirigée par Joao MARQUE-SILVA, a pour objectif la synthèse [13], la vérification et l'explication [17, 15] de systèmes d'apprentissage automatique par des méthodes issues de la programmation par contraintes et de la satisfiabilité booléenne. En particulier, l'utilisation de ces techniques pour vérifier et garantir l'équité de ces modèles [14] est au centre des recherches de la chaire.

Design with Intuition¹ and Logic²

La chaire DIL, dirigée par Thomas SCHIEX, a pour objectif de développer des méthodes combinant des méthodes d'apprentissage automatique et profond avec des méthodes de modélisation discrète et de raisonnement automatique [28, 8, 36] pour des finalités de conception et d'analyse de systèmes, souvent biologiques. Elle vise en particulier le développement de méthodes d'IA hybride [4] pour

la conception assistée par ordinateur (Computational Protein Design [20, 37]) de protéines avec des applications dans le domaine de la santé et de l'environnement.

Références

- [1] David Allouche, Sophie Barbe, Simon de Givry, George Katsirelos, Yahia Lebah, Samir Loudni, Abdelkader Ouali, Thomas Schiex, David Simoncini, and Matthias Zytnicki. *Operations Research and Simulation in Healthcare*, chapter Cost Function Networks to Solve Large Computational Protein Design Problems. Springer, 2021.
- [2] David Allouche, Jessica Davies, Simon de Givry, George Katsirelos, Thomas Schiex, Seydou Traoré, Isabelle André, Sophie Barbe, Steve Prestwich, and Barry O'Sullivan. Computational protein design as an optimization problem. *Artificial Intelligence*, 212 :59–79, 2014.
- [3] Andrés Felipe Barco, Élise Vareilles, Paul Gaborit, and Michel Aldanondo. Building renovation adopts mass customization - configuring insulating envelopes. *J. Intell. Inf. Syst.*, 49(1) :119–146, 2017.
- [4] Céline Brouard, Simon de Givry, and Thomas Schiex. Pushing data into CP models using graphical model learning and solving. In Helmut Simonis, editor, *Principles and Practice of Constraint Programming - 26th International Conference, CP 2020, Louvain-la-Neuve, Belgium, September 7-11, 2020, Proceedings*, volume 12333 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 811–827. Springer, 2020.
- [5] Clément Carbonnel and Martin C. Cooper. Tractability in constraint satisfaction problems : a survey. *Constraints An Int. J.*, 21(2) :115–144, 2016.



- [6] Steve A. Chien, Gregg Rabideau, Daniel Tran, Martina Troesch, Joshua Doubleday, Federico Nespola, Miguel Perez Ayucar, Marc Costa Sitja, Claire Vallat, Bernhard Geiger, Nico Altobelli, Manuel Fernandez, Fran Vallejo, Rafael Andres, and Michael Kueppers. Activity-based scheduling of science campaigns for the rosetta orbiter. In *Proceedings of the 24th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pages 4416–4422, 2015.
- [7] M. Cooper, S. de Givry, M. Sanchez, T. Schiex, M. Zytnicki, and T. Werner. Soft arc consistency revisited. *Artificial Intelligence*, 174(7–8) :449–478, 2010.
- [8] Martin Cooper, Simon de Givry, and Thomas Schiex. Graphical models : Queries, complexity, algorithms. *Leibniz International Proceedings in Informatics*, 154 :4–1, 2020.
- [9] Hélène Fargier and Pierre Marquis. Disjunctive closures for knowledge compilation. *Artif. Intell.*, 216(1) :129–162, November 2014.
- [10] Begum Genc, Mohamed Siala, Gilles Simonin, and Barry O’Sullivan. Complexity study for the robust stable marriage problem. *Theoretical Computer Science*, 775 :76–92, 2019.
- [11] Delphine Guillon, Rania Ayachi,  elise Vaireilles, Michel Aldanondo, éric Villeneuve, and Christophe Merlo. Product v service system configuration : a generic knowledge-based model for commercial offers. *International Journal of Production Research*, 59(4) :1021–1040, 2021.
- [12] Emmanuel Hebrard and George Katsirelos. Constraint and satisfiability reasoning for graph coloring. *J. Artif. Intell. Res.*, 69 :33–65, 2020.
- [13] Hao Hu, Mohamed Siala, Emmanuel Hebrard, and Marie-José Huguet. Learning optimal decision trees with maxsat and its integration in adaboost. In *Proceedings of the 29th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pages 1170–1176, 2020.
- [14] Alexey Ignatiev, Martin C. Cooper, Mohamed Siala, Emmanuel Hebrard, and João Marques-Silva. Towards formal fairness in machine learning. In Helmut Simonis, editor, *Proceedings of the 26th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, volume 12333 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 846–867. Springer, 2020.
- [15] Alexey Ignatiev, Nina Narodytska, and João Marques-Silva. On relating explanations and adversarial examples. In Hanna M. Wallach, Hugo Larochelle, Alina Beygelzimer, Florence d’Alch e-Buc, Emily B. Fox, and Roman Garnett, editors, *Advances in Neural Information Processing Systems 32 : Annual Conference on Neural Information Processing Systems*, pages 15857–15867, 2019.
- [16] Joao Marques-Silva, Thomas Gerspacher, Martin Cooper, Alexey Ignatiev, and Nina Narodytska. Explaining naive bayes and other linear classifiers with polynomial time and delay. In H. Larochelle, M. Ranzato, R. Hadsell, M. F. Balcan, and H. Lin, editors, *Advances in Neural Information Processing Systems*, volume 33, pages 20590–20600. Curran Associates, Inc., 2020.
- [17] João Marques-Silva, Thomas Gerspacher, Martin C. Cooper, Alexey Ignatiev, and Nina Narodytska. Explaining naive bayes and other linear classifiers with polynomial time and delay. In Hugo Larochelle, Marc’Aurelio Ranzato, Raia Hadsell, Maria-Florina Balcan, and Hsuan-Tien Lin, editors, *Advances in Neural Information Processing Systems 33 : Annual*



- Conference on Neural Information Processing Systems*, 2020.
- [18] Margaux Nattaf, Christian Artigues, and Pierre Lopez. Cumulative scheduling with variable task profiles and concave piecewise linear processing rate functions. *Constraints*, 22(4) :530–547, Oct 2017.
- [19] Sandra Ulrich Ngueveu, Christian Artigues, and Pierre Lopez. Scheduling under a non-reversible energy source : An application of piecewise linear bounding of non-linear demand/cost functions. *Discrete Applied Mathematics*, 208 :98–113, 2016.
- [20] Hiroki Noguchi, Christine Addy, David Simoncini, Staf Wouters, Bram Mylemans, Luc Van Meervelt, Thomas Schiex, Kam YJ Zhang, Jeremy RH Tame, and Arnout RD Voet. Computational design of symmetrical eight-bladed β -propeller proteins. *IUCrJ*, 6(1) :46–55, 2019.
- [21] Jérémy Omer and Jean-Loup Farges. Hybridization of nonlinear and mixed-integer linear programming for aircraft separation with trajectory recovery. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(3) :1218–1230, 2013.
- [22] Abdelkader Ouali, David Allouche, Simon de Givry, Samir Loudni, Yahia Lebbah, Lakhdar Loukil, and Patrice Boizumault. Variable neighborhood search for graphical model energy minimization. *Artificial Intelligence*, 278(103194) :22p., 2020.
- [23] Adriana Pacheco, Cédric Pralet, and Stéphanie Roussel. Decomposition and cut generation strategies for solving multi-robot deployment problems. In *Proceedings of the 25th International Conference on Principle and Practice of Constraint Programming*, 2019.
- [24] Gauthier Picard. Planification multi-utilisateurs et multi-satellites de tâches d'observation dans des constellations avec portions d'orbites exclusives. In *Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents*. Cépaduès, 2021.
- [25] Cédric Pralet, Gérard Verfaillie, Adrien Maillard, Emmanuel Hebrard, Nicolas Jozefowicz, Marie-José Huguet, Thierry Desmousseaux, Pierre Blanc-Paques, and Jean Jaubert. Satellite data download management with uncertainty about the generated volumes. In *Proceedings of the 24th International Conference on Automated Planning and Scheduling*, 2014.
- [26] Cédric Pralet, Stéphanie Roussel, Thomas Polacsek, François Bouissière, Claude Cuiller, Pierre-Eric Dereux, Stéphane Kersuzan, and Marc Lelay. A scheduling tool for bridging the gap between aircraft design and aircraft manufacturing. In *Proceedings of the 28th International Conference on Automated Planning and Scheduling*, 2018.
- [27] Stéphanie Roussel, Xavier Pucel, Valentin Bouziat, and Louise Travé-Massuyès. Model-based synthesis of incremental and correct estimators for discrete event systems. In *Proceedings of the 29th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 2020.
- [28] Manon Ruffini, Jelena Vucinic, Simon de Givry, George Katsirelos, Sophie Barbe, and Thomas Schiex. Guaranteed diversity & quality for the weighted CSP. In *Proceedings of the 31st IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, pages 18–25, 2019.
- [29] Nicolas Schmidt, Thomas Chaboud, and Cédric Pralet. Tackling air traffic conflicts as a weighted csp : Experiments with the lumberjack method. arXiv :2001.11390, 2020.



AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

- [30] Mohamed Siala, Christian Artigues, and Emmanuel Hebrard. Two clause learning approaches for disjunctive scheduling. In *Proceedings of the 21st International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, pages 393–402, 2015.
- [31] Gilles Simonin, Christian Artigues, Emmanuel Hebrard, and Pierre Lopez. Scheduling scientific experiments for comet exploration. *Constraints An Int. J.*, 20(1) :77–99, 2015.
- [32] Marvin Stanczak, Cédric Pralet, Vincent Vidal, and Vincent Baudoui. A pipe routing hybrid approach based on a-star search and linear programming. In *Proceedings of the 18th conference on the Integration of Constraint Programming, Artificial Intelligence, and Operations Research*, 2021.
- [33] Abdourahim Sylla, Delphine Guillon, Elise Vareilles, Michel Aldanondo, Thierry Coudert, and Laurent Geneste. Configuration knowledge modeling : How to extend configuration from assemble/make to order towards engineer to order for the bidding process. *Computers in Industry*, 99 :29–41, 2018.
- [34] Abdourahim Sylla, Elise Vareilles, Thierry Coudert, Konstantinos Kirytopoulos, Michel Aldanondo, and Laurent Geneste. Readiness, feasibility and confidence : how to help bidders to better develop and assess their offers. *International Journal of Production Research*, 55(23) :7204–7222, 2017.
- [35] Fulya Trösser, Simon de Givry, and George Katsirelos. Relaxation-aware heuristics for exact optimization in graphical models. In *Proceedings of the 17th International Conference on the Integration of Constraint Programming, Artificial Intelligence, and Operations Research*, pages 475–491, 2020.
- [36] Fulya Trösser, Simon de Givry, and George Katsirelos. Improved acyclicity reasoning for bayesian network structure learning. In *Proceedings of the 30th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 2021.
- [37] Jelena Vucinic, David Simoncini, Mannon Ruffini, Sophie Barbe, and Thomas Schiex. Positive multistate protein design. *Bioinformatics*, 36(1) :122–130, 2020.

■ TASC : Theory, Algorithms and Systems for Constraints

LS2N/TASC
IMT Atlantique
[https://web.IMTAtlantiquetlantique.fr/
x-info/ppc/](https://web.IMTAtlantiquetlantique.fr/x-info/ppc/)

Samir LOUDNI
samir.loudni@IMTAtlantiquetlantique.fr

Charlotte TRUCHET
Charlotte.Truchet@univ-nantes.fr

Membres permanents

- Nicolas BELDICEANU, PR, IMT Atlantique
- Samir LOUDNI, PR, IMT Atlantique
- Frédéric BENHAMOU, PR, Université de Nantes
- Charles PRUDHOMME, MA, IMT Atlantique
- Gilles SIMONIN, MA, IMT Atlantique
- Charlotte TRUCHET, MCF HDR, Université de Nantes



Présentation et thématiques scientifiques

L'équipe TASC (Théorie et Applications des Systèmes de Contraintes) a été créée par Patrice BOIZUMAULT à la fin des années 90 à l'École des Mines, aujourd'hui IMT Atlantique. Depuis 2003 elle intègre des chercheurs de l'Université, d'abord au sein du LINA, puis au sein du LS2N.

L'équipe TASC se concentre sur la théorie et la pratique de la résolution de problèmes combinatoires à l'aide de la programmation par contraintes, en considérant l'ensemble de la chaîne d'aide à la décision, en partant des données jusqu'à l'optimisation en s'appuyant à la fois sur des aspects combinatoires, intelligence artificielle symbolique et sur des approches fouille de données symbolique pour fournir des composants efficaces.

Une partie des travaux de l'équipe TASC s'intéresse aux aspects combinatoires en lien avec les contraintes pour concevoir des approches pour le comptage et de l'échantillonnage uniforme de solutions. Concernant le monde numérique sûr, l'équipe travaille sur des modèles de programmation par contraintes pour la cryptographie symétrique. L'objectif est l'utilisation de contraintes pour mieux évaluer la sécurité de protocoles de cryptographie symétrique.

Contraintes, fouille de données, préférences et optimisation discrète se trouvent au cœur du processus de traitement de données. L'équipe se positionne sur ce triptyque afin de développer des approches déclaratives hybridant ces trois composants. Dans ce cadre, l'équipe travaille sur l'acquisition de modèles d'optimisation pour les problèmes d'ateliers en lien avec un jumeau numérique.

Les récents travaux de l'équipe sur l'appariement stable et l'appariement populaire ont montré l'utilité de la PPC pour proposer des modèles génériques utilisant des structures de

permutation et des propriétés des structures de préférence. Cependant, la complexité du monde réel nécessite l'ajout de contraintes secondaires au modèle d'appariement original. Dans ce cadre, notre objectif est d'utiliser la flexibilité des approches par contraintes en complément des études théoriques génériques déjà réalisées.

Enfin, l'équipe est investie aussi bien dans la mise en œuvre de ces travaux dans le contexte de problèmes industriels complexes, que dans la vulgarisation et la diffusion de la programmation par contraintes au niveau académique et industriel. Plusieurs de ces travaux sont réalisés en lien avec des projets en cours : ANR DeCrypt, ANR HERELLES, H2020 IA4EU, H2020 ASSISTANT sur les aspects IA et industrie 4.0.

Solveur Choco

Choco est une bibliothèque Java libre et open-source dédiée à la programmation par contraintes. Il est maintenu et mis à jour régulièrement, participe aux compétitions de solveurs internationales (MiniZinc Challenge et XCSP3), et est utilisé dans le projet ANR DeCrypt, et des contrats directs (récemment par exemple, avec les Affaires Maritimes, Thalès, la SNCF). Il est largement diffusés aussi bien au niveau national qu'international.

Catalogue de contraintes globales

Dictionnaire de contraintes décrivant les contraintes en termes de méta données, le catalogue référence plusieurs centaines de contraintes globales présentées dans un format commun, avec leur sémantique, des exemples, les références bibliographiques, etc. Le volume 2 sur les contraintes sur les séries temporelles a récemment été étendu (bornes, base de données d'invariants paramétrés) à l'occasion des projets Gaspard Monge et du projet européen Graceful.



Références

- [1] Zakarea Alshara, Frederico Alvares, Hugo Brunelière, Jonathan Lejeune, Charles Prud'homme, and Thomas Ledoux. Come4acloud : An end-to-end framework for autonomic cloud systems. *Future Gener. Comput. Syst.*, 86 :339–354, 2018.
- [2] Ekaterina Arafailova, Nicolas Beldiceanu, and Helmut Simonis. Deriving generic bounds for time-series constraints based on regular expressions characteristics. *Constraints An Int. J.*, 23(1) :44–86, 2018.
- [3] Ekaterina Arafailova, Nicolas Beldiceanu, and Helmut Simonis. Invariants for time-series constraints. *Constraints An Int. J.*, 25(3-4) :71–120, 2020.
- [4] Anicet Bart, Benoît Delahaye, Paulin Fournier, Didier Lime, Éric Monfroy, and Charlotte Truchet. Reachability in parametric interval markov chains using constraints. *Theor. Comput. Sci.*, 747 :48–74, 2018.
- [5] Anicet Bart, Charlotte Truchet, and Éric Monfroy. A global constraint for over-approximation of real-time streams. *Constraints An Int. J.*, 22(3) :463–490, 2017.
- [6] Nicolas Beldiceanu, Mats Carlsson, Rémi Douence, and Helmut Simonis. Using finite transducers for describing and synthesising structural time-series constraints. *Constraints An Int. J.*, 21(1) :22–40, 2016.
- [7] Nicolas Beldiceanu and Helmut Simonis. Modelseeker : Extracting global constraint models from positive examples. In Christian Bessiere, Luc De Raedt, Lars Kotthoff, Siegfried Nijssen, Barry O'Sullivan, and Dino Pedreschi, editors, *Data Mining and Constraint Programming - Foundations of a Cross-Disciplinary Approach*, volume 10101 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 77–95. Springer, 2016.
- [8] Giovanni Lo Bianco, Xavier Lorca, Charlotte Truchet, and Gilles Pesant. Revisiting counting solutions for the global cardinality constraint. *J. Artif. Intell. Res.*, 66 :411–441, 2019.
- [9] Begum Genc, Mohamed Siala, Gilles Simonin, and Barry O'Sullivan. Complexity study for the robust stable marriage problem. *Theor. Comput. Sci.*, 775 :76–92, 2019.
- [10] Jean-Noël Monette, Nicolas Beldiceanu, Pierre Flener, and Justin Pearson. A parametric propagator for pairs of sum constraints with a discrete convexity property. *Artif. Intell.*, 241 :170–190, 2016.
- [11] Nicolás Gálvez Ramírez, Éric Monfroy, Frédéric Saubion, and Carlos Castro. Improving complex SMT strategies with learning. *Int. Trans. Oper. Res.*, 27(2) :1162–1188, 2020.
- [12] Pierre Talbot, Éric Monfroy, and Charlotte Truchet. Modular constraint solver cooperation via abstract interpretation. *Theory Pract. Log. Program.*, 20(6) :848–863, 2020.



AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Comptes rendus de journées, événements et conférences



■ PAAMS 2020

Par **Yves DEMAZEAU**
LIG
CNRS
yves.demazeau@afia.asso.fr

Introduction

PAAMS Presentation

Research on Agents and Multi-Agent Systems has matured during the last decade and many effective applications of this technology are now deployed. An international forum to present and discuss the latest scientific developments and their effective applications, to assess the impact of the approach, and to facilitate technology transfer, became a necessity and was created almost two decades ago.

PAAMS, the International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems is the international yearly tribune to present, to discuss, and to disseminate the latest developments and the most important outcomes related to real-world applications. It provides a unique opportunity to bring multi-disciplinary experts, academics and practitioners together to exchange their experience in the development and deployment of agents and multi-agent systems.

The 2020 Edition

This report introduces the papers that were accepted for the 2020 edition of PAAMS (L'Aquila, Italy, 07-09 October 2020). These articles report on the application and validation of agent-based models, methods, and technologies in a number of key application areas, including : advanced models and learning, agent-based programming, decision-making, education and social interactions, formal and theoretic models, health and safety, mobility and

the city, swarms and task allocation. Each paper submitted to PAAMS went through a stringent peer review by three members of the Program Committee composed of 136 internationally renowned researchers from 27 countries. From the 64 submissions received, 12 were selected for full presentation at the conference ; another 17 papers were accepted as short presentations. In addition, a demonstration track featuring innovative and emergent applications of agent and multi-agent systems and technologies in real-world domains was organized. In all, 17 demonstrations were shown.

The PAAMS attendees have enjoyed the increased quality of the papers as well as the overall interest of PAAMS event (main, workshops, sessions). 65 attendees joined the PAAMS'2020 main session.

Yves DEMAZEAU and Tom HOLVOET (PAAMS'20 Program Co-chairs), and Juan Manuel CORCHADO and Stefania COSTANTINI (PAAMS'20 Organizing Co-Chairs), would like to thank all the contributing authors, the members of the Program Committee, the sponsors (IBM, AEPIA, AFIA, APPIA, FBKI, CNRS, KUL, U. L'Aquila, U. of Salamanca) and the Organizing Committee for their hard and highly valuable work. Their work contributed to the success of the PAAMS 2020 event. Thanks for their help – PAAMS 2020 would not exist without their contribution.

Proceedings

All papers can be downloaded from online PAAMS' proceedings [1].

- *An Interruptible Task Allocation Model*. Thomas Alves, Jérémy Rivière, Cédric Alaux, Yves Le Conte, Frank Singhoff, Thierry Duval et al. Pages 3-15
- *RT-BDI : A Real-Time BDI Model*. Fran-



- cesco Alzetta, Paolo Giorgini, Mauro Marioni, Davide Calvaresi Pages 16-29
- *Routing Model Evaluator*. Vince Antal, Tamás Gábor Farkas, Alex Kiss, Miklós Miskolczi, László Z. Varga. Pages 30-41
 - *The DigForSim Agent Based Simulator of People Movements in Crime Scenes*. Alessandro Biagetti, Angelo Ferrando, Viviana Mascardi. Pages 42-54
 - *Personal Data Privacy Semantics in Multi-Agent Systems Interactions*. Davide Calvaresi, Michael Schumacher, Jean-Paul Calbimonte. Pages 55-67
 - *Towards Real-Time Crowd Simulation Under Uncertainty Using an Agent-Based Model and an Unscented Kalman Filter*. Robert Clay, Le-Minh Kieu, Jonathan A. Ward, Alison Heppenstall, Nick Malleson. Pages 68-79
 - *The JaCa-Android Framework for Programming BDI-Based Personal Agents on Mobile Devices*. Angelo Croatti, Alessandro Ricci. Pages 80-92
 - *Assisted Parameter and Behavior Calibration in Agent-Based Models with Distributed Optimization*. Matteo D'Auria, Eric O. Scott, Rajdeep Singh Lather, Javier Hilty, Sean Luke. Pages 93-105
 - *Fast and Efficient Partner Selection in Large Agents' Communities : When Categories Overcome Direct Experience*. Pasquale De Meo, Rino Falcone, Alessandro Sapienza. Pages 106-117
 - *Multi-Agent Modelling and Simulation of Hospital Acquired Infection Propagation Dynamics by Contact Transmission in Hospital Wards*. Dario Esposito, Davide Schumann, Domenico Camarda, Yehuda E. Kalay. Pages 118-133
 - *Unsupervised Sleep Stages Classification Based on Physiological Signals*. Rahma Ferjani, Lilia Rejeb, Lamjed Ben Said. Pages 134-145
 - *Recommending Learning Videos for MOOCs and Flipped Classrooms*. Jaume Jordán, Soledad Valero, Carlos Turró, Vicent Botti. Pages 146-157
 - *Improving Sustainable Mobility with a Variable Incentive Model for Bike-Sharing Systems Based on Agent-Based Social Simulation*. Alberto López Santiago, Carlos A. Iglesias, Álvaro Carrera. Pages 158-170
 - *Decentralized Constraint Optimization in Composite Observation Task Allocation to Mobile Sensor Agents*. Toshihiro Matsui. Pages 171-187
 - *Comparing the Performance of Message Delivery Methods for Mobile Agents*. Andrei Olaru, Dragoş Petrescu, Adina Magda Florea. Pages 188-199
 - *Application of Agent-Based Modelling to Simulate Ribosome Translation*. Gael Pérez-Rodríguez, Beatriz T. Magalhães, Nuno F. Azevedo, Anália Lourenço. Pages 200-211
 - *Intent Recognition from Speech and Plan Recognition*. Michele Persiani, Thomas Hellström. Pages 212-223
 - *Planner-Guided Robot Swarms*. Michael Schader, Sean Luke. Pages 224-237
 - *A MAS-Based Approach for POI Group Recommendation in LBSN*. Silvia Schiaffino, Daniela Godoy, J. Andrés Díaz Pace, Yves Demazeau. Pages 238-250
 - *Agent Programmability Enhancement for Rambling over a Scientific Dataset*. Matthew Sell, Munehiro Fukuda. Pages 251-263
 - *Scalable Heterogeneous Multiagent Learning from Demonstration*. William Squires, Sean Luke. Pages 264-277
 - *Multimodal Joke Generation and Paralinguistic Personalization for a Socially-Aware Robot*. Hannes Ritschel, Thomas Kiderle, Klaus Weber, Florian Lingensfelder, Tobias Baur, Elisabeth André. Pages 278-290
 - *A Framework for Verifying Autonomous Robotic Agents Against Environment As-*



AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

- *sumptions*. Hoang Tung Dinh, Tom Holvoet. Pages 291-302
- *Impact of Trust and Reputation Based Brokerage on the CloudAnchor Platform*. Bruno Veloso, Benedita Malheiro, Juan Carlos Burguillo, João Gama. Pages 303-314
- *Formal Verification of Autonomous UAV Behavior for Inspection Tasks Using the Knowledge Base System IDP*. Jan Vermaelen, Hoang Tung Dinh, Tom Holvoet. Pages 315-326
- *Pattern-Based Goal-Oriented Development of Fault-Tolerant MAS in Event-B*. Inna Vistbakka, Elena Troubitsyna. Pages 327-339
- *A Study on Automated Receptionists in a Real-World Scenario*. Ralf Wolter, Koen V. Hindriks, Dalya Samur, Catholijn M. Jonker. Pages 340-352
- *Navigation of Autonomous Swarm of Drones Using Translational Coordinates*. Jawad N. Yasin, Sherif A. S. Mohamed, Mohammad-Hashem Haghbayan, Jukka Heikkonen, Hannu Tenhunen, Juha Plosila. Pages 353-362
- *Multi-agent Service Area Adaptation for Ride-Sharing Using Deep Reinforcement Learning*. Naoki Yoshida, Itsuki Noda, Toshiharu Sugawara. Pages 363-375

Références

- [1] Yves Demazeau, Tom Holvoet, Juan M. Corchado, and Stefania Costantini, editors. *Advances in Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Trustworthiness*. The PAAMS Collection, volume 12092 of LNCS. Springer, 2020.

■ 5^e Forum Industriel de l'Intelligence Artificielle

Ghislain ATEMEZING

Mondeca

ghislain.atemezing@mondeca.com

Grégory BONNET

GREYC

Université de Caen Normandie

gregory.bonnet@unicaen.fr

Stéphane BRUNESSEAU

Airbus Defence and Space

stephan.brunessaux@airbus.com

Par

Introduction

Le cinquième Forum Industriel de l'Intelligence a connu une histoire mouvementée en raison de la crise sanitaire. Initialement programmé à l'Université Paris-Descartes en avril 2020, il avait été reporté au 8 octobre à l'Institut des Sciences Complexes pour être finalement virtualisé. Malgré cela l'auditoire a été au

rendez-vous avec 70 participants distincts au cours de la journée avec en moyenne une quarantaine à chaque session, sans compter les 9 orateurs et les organisateurs.

Cette année, le forum était consacré au thème « RGPD, DROIT & IA » avec trois temps : un temps traitant de l'impact de la RGPD sur les systèmes d'intelligence artificielle, un temps sur les problématiques de droits soulevées par ces systèmes du point de vue des concepteurs, et un temps sur les questions de gouvernance et de régulation que ces systèmes posent, vu comme la question des droits par le prisme des utilisateurs.

RGPD et systèmes d'IA

Contrairement aux États-Unis d'Amérique ou à la Chine, l'Europe a fait le choix de mettre en place un droit fondamental à la protection de la vie privée sous la forme du



RGPD (Règlement Général sur la Protection des Données) dont Jean-Michel LIVOWSKI a détaillé les vingt principes. Timothée PARIS a alors argumenté que, malgré un caractère apparemment contraignant, ce règlement permet l'innovation car il se fonde non sur des normes de conception mais sur des principes dont la responsabilité de mise en oeuvre est laissée à l'innovateur. Bertrand PAILHÈS a ensuite présenté le travail de la CNIL (Commission nationale de l'informatique et des libertés) et a mis en lumière le fait qu'un traitement soit fondé sur un système d'intelligence artificielle ne change fondamentalement le traitement qu'en fait la CNIL. Les concepteurs de ce type de systèmes doivent alors se poser les mêmes questions qu'ils se posaient pour des systèmes d'information classiques, à savoir celles de la finalité des données, de la proportionnalité des données utilisées au regard de la finalité de l'application, de la durée de conservation des données et de la sécurité des données. Notons que la question du droit de rectification exercé sur données personnelles dans un corpus d'entraînement n'a pas été traitée par la CNIL.

Problèmes de droits

Si le RGPD ne semble pas poser de problème fondamental pour le développement de systèmes d'intelligence artificielle, les productions de ces systèmes, leurs mécanismes et les données dont ils se servent en posent. Par exemple, Arnaud BILLION s'est interrogé sur la question du droit d'auteur. Le fondement de ce droit est l'appropriation de la production par son auteur, qu'en est-il alors des textes ou images générées par un système d'intelligence artificielle? Jean-Marc DELTORN a présenté le travail réalisé au sein de l'office européen des brevets en s'interrogeant sur la propriété intellectuelle des modèles d'intelligence artificielle. Il a insisté sur l'attention qu'il fallait porter à

l'absence de spécificité technique qui rendrait un programme générique, et donc non brevetable. Enfin, Gérard HAAS a montré que pour qu'un système d'intelligence artificielle soit un produit régi par la responsabilité des produits défectueux, il était nécessaire que le système soit associé à un produit physique.

Gouvernance et de régulation

Au-delà des droits individuels des concepteurs de systèmes d'intelligence artificielle, la question de la régulation collective de ces derniers a été abordée. Juliette SÉNÉCHAL a présenté les dernières discussions juridiques au niveau européen quand à une future définition de la notion de système d'intelligence artificielle. En particulier, il s'agirait de définir une notion d'intelligence artificielle à *haut risque*, c'est-à-dire pouvant présenter un comportement aléatoire ou impossible à prévoir, ou pouvant présenter un danger au même titre qu'un animal. Notons que la création d'une agence européenne de régulation de l'intelligence artificielle a été proposée, bien qu'il est loin d'être certain qu'une telle entité puisse voir le jour. Raja CHATILA a précisé que la question de l'explicabilité était sans nul doute au coeur de la résolution des problèmes de régulation, sachant qu'il nous faut adapter les explications en fonction du besoin et qu'il nous faut nous garder de la tentation de dissimuler l'usage de systèmes d'intelligence artificielle pour échapper à la réglementation. Quoi qu'il en soit se pose la question de quelle doit être cette régulation. Nicolas LERÈGLE s'est alors interrogé sur le syllogisme suivant : si le droit est intelligent et que l'intelligence peut être artificielle alors le droit peut-il être artificiel? Pouvons-nous envisager que la régulation des systèmes d'intelligence artificielle viennent d'autres systèmes d'intelligence artificielle?



Table ronde

Enfin, la journée s'est clôturée par une table ronde au cours de laquelle les industriels invités, Alain BERGER pour Ardans, Pierre FEILLET

pour IBM, Ghislain ATEMEZING pour Mondeca et Stéphan BRUNESSAUX pour Airbus, ont présenté leurs activités et discutés de leurs problématiques en matière de RGPD, Droit & IA.

■ Robotique & IA 2020

Par

Christophe LEROUX

LIST

CEA

christophe.leroux@cea.fr

Olivier SIMONIN

CITI Lab

INSA Lyon

olivier.simonin@insa-lyon.fr

Présentation

La quatrième Journée « Robotique et Intelligence Artificielle » de l'AfIA sur la thématique « Interactions : humain, robots, environnement » a regroupé environ quatre-vingt-dix personnes le 15 décembre 2020. Cet événement a été organisé par Christophe LEROUX du CEA, LIST et Olivier SIMONIN du CITI, INSA Lyon, pour l'Association Française pour l'Intelligence Artificielle (AfIA).

L'introduction de la journée a été effectuée par Gregorio AMEYUGO, responsable du Département Intelligence Ambiante et Systèmes Interactifs du CEA LIST. Cette présentation a été l'occasion de donner une vue d'ensemble des activités IA et robotique au CEA. La journée s'est poursuivie par une présentation de Engelbert Mephu NGUIFO, professeur à l'Université de Clermont Auvergne, sur les activités de l'AfIA.

La journée organisée en vidéoconférence, était découpée en deux parties. La première partie a été consacrée à des présentations scientifiques d'une demi-heure chacune par des

orateurs de différentes organisations de recherche en France. La journée est complétée par une présentation du futur Programme de recherche Européen Data IA et Robotique et par plusieurs tables rondes dans différents secteurs d'application : inspection et maintenance d'infrastructures, intervention postaccidentelle, sécurité. Ces tables rondes ont permis à d'échanger entre chercheurs et utilisateurs sur des problématiques diverses et de faire émerger des idées de recherche et d'innovation.

Les présentations ont été l'objet de nombreuses questions et d'interactions entre les participants.

Programme

9h00. Accueil

9h15. « Ouverture », par Christophe LEROUX (CEA-LIST et CA AfIA) et Olivier SIMONIN (CITI-INSA Lyon, CA AfIA)

9h20. « Introduction », par Grégorio AMEYUGO (chef de Département Intelligence Ambiante et Systèmes Interactifs) et Engelbert Mephu NGUIFO (AfIA)

9h45. « Integrating Learning and Geometry for Robotics », par Christian WOLF (INSA Lyon, LIRIS)

10h15. « Active interaction between robots and humans for automatic curriculum learning and assistive robotics », par Sao Mai NGUYEN (ENSTA Paris)

10h45. « Towards ergonomically enhanced robotic co-workers », par Pauline MAURICE (CNRS, LORIA)



AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

11h15. Pause

11h30. « Object layout aware instance segmentation for robotic bin picking », par Liming CHEN (Centrale Lyon, LIRIS)

12h00. « Robotique d'assistance et aide à la mobilité : compenser, rééduquer, interagir », par Marie BABEL (INRIA Rennes, IRISA)

12h30. Déjeuner

14h00. « Multi-robot interactive teams for large infrastructure inspection : The H2020 BugWright2 project », par Cédric PRADALIÉ (Georgia Tech, Lorraine)

14h30. « IA et robotique au CEA », par Franck GEFARD (CEA LIST), Clément ROLLINAT (CEA LIST) et Ashley HILL (CEA

LIST)

15h15. « Programme de recherche européen IA et robotique, opportunités, débats », par Christophe LEROUX (CEA)

15h30. Pause

15h45. « Inspection et Maintenance d'Infrastructures Transport / Assainissement », par Jacques BERTHELLEMY (CEREMA)

16h15. « Sécurité, Intervention post accidentelle », par Thibault REFFAY (Atraksis), Cédric MAILLET (Chef de salle, Gestion de crise, CEA Paris-Saclay), Philippe KESSLER (GIE Intra) et Laurent BOURRIEZ (référént national Incendie, CEA Paris-Saclay)

17h15. Synthèse et clôture de la journée



Afia
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Thèses et HDR du trimestre

Si vous êtes au courant de la programmation de soutenances de thèses ou HDR en Intelligence Artificielle cette année, vous pouvez nous les signaler en écrivant à redacteur@afia.asso.fr.



■ Thèses de Doctorat

Arnaud ABREU

« Réseaux neuronaux convolutifs profonds et représentations hiérarchiques : applications et perspectives pour la pathologie numérique »

Supervision : *Cedric WEMMERT*
Pierre BROUSSET

Le 01/10/2020, à l'Université de Strasbourg

Lisa CORBAT

« Fusion de segmentations complémentaires d'images médicales par Intelligence Artificielle et autres méthodes de gestion de conflits »

Supervision : *Jean Christophe LAPAYRE*
Julien HENRIET

Le 13/10/2020, à l'Université de Bourgogne Franche-Comte

Kergann Le CORNEC

« Apprentissage Few Shot et méthode d'élagage pour la détection d'émotions sur bases de données restreintes »

Supervision : *Vincent BARRA*

Le 03/10/2020, à l'Université Clermont Auvergne

Nour EI MAWASS

« Protection Anti-Abus de Réseaux Sociaux Numériques par Apprentissage Statistique. »

Supervision : *Paul HONEINE*

Laurent VERCOUTER

Le 14/10/2020, à l'Université de Normandie

Tiziano DALMONTE

« Logiques Modales Non-Normales : Sémantiques de Voisinage et leurs Calculs »

Supervision : *Nicola OLIVETTI*

Le 05/10/2020, à l'Université de Aix-Marseille

Guillaume BONO

« Deep multi-agent reinforcement learning for dynamic and stochastic vehicle routing problems »

Supervision : *Olivier SIMONIN*

Le 28/10/2020, à l'Université de Lyon

Alexandre SABLAYROLLES

« Mémorisation et apprentissage de structures d'indexation avec les réseaux de neurones »

Supervision : *Cordelia SCHMID*
Matthijs DOUZE

Le 08/10/2020, à l'Université Grenoble Alpes

Loucas Pillaud vivien Pillaud VIVIEN

« Learning with Reproducing Kernel Hilbert Spaces: Stochastic Gradient Descent and Laplacian Estimation »

Supervision : *Francis BACH*

Alessandro RUDI

Le 30/10/2020, à l'Université Paris Sciences et Lettres



Timothee Sohm QUERON

« Aversion au risque et apprentissage automatique »

Supervision : *Tristan CAZENAVE*

Le 02/11/2020, à l'Université Paris Sciences et Lettres

Bilal MESSAOUDI

« Approches par décomposition pour des problèmes réels de planification et de tournées de véhicules »

Supervision : *Ammar OULAMARA*

Le 04/11/2020, à l'Université de Lorraine

Rebecca FRIBOURG

« Contribution to the study of factors influencing the sense of embodiment towards avatars in virtual reality »

Supervision : *Anatole LECUYER*

Le 04/11/2020, à l'Université de Rennes 1

Waleed RAGHEB

« Affective Behavior Modeling on Social Networks »

Supervision : *Jerome AZE*

Sandra BRINGAY

Le 06/11/2020, à l'Université de Montpellier

Illyne SAFFAR

« Machine learning to infer user behavior in 5G autonomic networks »

Supervision : *Cesar VIHO*

Marie Line Alberi MOREL

Kamal Deep SINGH

Le 10/11/2020, à l'Université de Rennes 1

Yves MERCADIER

« Classification automatique de textes par réseaux de neurones profonds : application au domaine de la santé »

Supervision : *Sandra BRINGAY*

Jerome AZE

Le 17/11/2020, à l'Université de Montpellier

Anthony STROCK

« Mémoire de travail dans les réseaux de neurones récurrents aléatoires »

Supervision : *Nicolas ROUGIER*

Xavier HINAUT

Le 19/11/2020, à l'Université de Bordeaux

Amira BARHOUMI

« Une approche neuronale pour l'analyse d'opinions en arabe »

Supervision : *Yannick ESTEVE*

Lamia Hadrich BELGUITH

Nathalie CAMELIN

Le 23/11/2020, à l'Université de Le Mans

Jianyong XUE

« Architecture cognitive constructiviste : un modèle pour concevoir un agent autonome capable de faire du sens et de construire des connaissances de l'environnement »

Supervision : *Salima HASSAS*

Olivier GEORGEON

Le 23/11/2020, à l'Université de Lyon

Maziar Moradi FARD

« Apprentissage de représentations de données dans un apprentissage non-supervisé »

Supervision : *Eric GAUSSIÉ*

Le 24/11/2020, à l'Université de Grenoble Alpes



Adrian ROBERT

« Représentation et interrogation de connaissances dans des cartes cognitives spatio-temporelles »

Supervision : *Stephane LOISEAU*

David GENEST

Brice TROULLET

Le 25/11/2020, à l'Université d'Angers

Marie FORTIN

« Expressivité de la logique du premier ordre, de la logique dynamique propositionnelle sans étoile et des automates communicants »

Supervision : *Paul GASTIN*

Le 27/11/2020, à l'Université Paris-Saclay

Titouan LORIEUL

« Incertitude des prédictions dans les modèles d'apprentissage profonds appliqués à la classification fine »

Supervision : *Alexis JOLY*

Le 02/12/2020, à l'Université de Montpellier

Andrea MENDIZABAL

« Combinaison entre simulation numérique et apprentissage automatique - Applications à la formation, la planification préopératoire et l'assistance peropératoire »

Supervision : *Stephane COTIN*

Le 03/12/2020, à l'Université de Strasbourg

Thalita Firmo DRUMOND

« Apports croisés de l'apprentissage hiérarchique et la modélisation du système visuel : catégorisation d'images sur des petits corpus de données »

Supervision : *Frederic ALEXANDRE*

Thierry VIEVILLE

Le 03/12/2020, à l'Université de Bordeaux

Nicolas CARION

« Apprentissage par renforcement multiagent et détection d'objets par prédiction structurée »

Supervision : *Tristan CAZENAVE*

Le 04/12/2020, à l'Université de Paris Sciences et Lettres

Omar KRICHEN

« Conception d'un système tutoriel intelligent orienté stylet pour l'apprentissage de la géométrie basé sur une interprétation à la volée de la production manuscrite de figures »

Supervision : *Eric ANQUETIL*

Le 04/12/2020, à l'Université de Rennes, INSA

Johann FAOUZI

« Machine learning to predict impulse control disorders in Parkinson's disease »

Supervision : *Olivier COLLIOT*

Jean Christophe CORVOL

Le 04/12/2020, à Sorbonne Université

Roua ELCHAMAA

« Stratégie de Régulation de Trafic Basée sur un Système Multi-Agents et la Connaissance Sémantique dans un Système de Transport Coopératif (C-ITS) »

Supervision : *Yacine OUZROUT*

Rima CHAMOUN

Le 04/12/2020, à l'Université de Lyon



Tanguy GIUFFRIDA

« Fuzzy4U : un système d'adaptation des Interfaces Homme-Machine en logique floue pour l'accessibilité »

Supervision : *Sophie Dupuy CHESSA*
Maud DAMPERAT
Eric CERET

Le 08/12/2020, à l'Université de Grenoble Alpes

Leo GAUTHERON

« Construction de Représentation de Données Adaptées dans le Cadre de Peu d'Exemples Étiquetés »

Supervision : *Marc SEBBAN*
Amaury HABRARD

Le 08/12/2020, à l'Université de Lyon

Alessio MANSUTTI

« Reasoning with separation logics: complexity, expressive power, proof systems »

Supervision : *Stéphane P DEMRI*
Etienne LOZES

Le 10/12/2020, à l'Université Paris-Saclay

Romain WALLON

« Raisonnement à partir de contraintes pseudo-Booléennes et compilation »

Supervision : *Daniel Le BERRE*
Pierre MARQUIS

Le 14/12/2020, à l'Université d'Artois

Marcel Adonis HADDAD

« Nouveaux modèles robustes et probabilistes pour la localisation d'abris dans un contexte de feux de forêt »

Supervision : *Cecile MURAT*
Marc DEMANGE

Le 14/12/2020, à l'Université Paris Sciences et Lettres

Mohamad KANAAN

« Analyse des comportements des clients sur un site marchand en ligne »

Supervision : *Hamamache KHEDDOUCI*
Le 15/12/2020, à l'Université de Lyon

Naziha SENDI

« Transparent approach based on deep learning and multiagent argumentation for hypertension management »

Supervision : *Etienne COLLE*
Farida ZEHRAOUI
Nadia Abchiche MIMOUNI

Le 16/12/2020, à l'Université Paris-Saclay

Aurelien APPRIOU

« Évaluation des états mentaux liés à l'apprentissage à partir de signaux cérébraux et physiologiques »

Supervision : *Fabien LOTTE*

Le 17/12/2020, à l'Université de Bordeaux

Claire PRUDHOMME

« Ingénierie de simulation multi-agents conduite par la connaissance pour évaluer l'efficacité des plans de gestion de catastrophes »

Supervision : *Christophe CRUZ*
Frank BOOCHS
Ana ROXIN

Le 17/12/2020, à l'Université de Bourgogne Franche-Comté

Robin PELLE

« Contribution à la modélisation formelle d'essaims de robots mobiles »

Supervision : *Evelyne CONTEJEAN*
Thibaut BALABONSKI

Le 18/12/2020, à l'Université Paris-Saclay



Afia
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Zahra Vahidi FERDOUSI

« De la recommandation traditionnelle à la recommandation contextuelle par modèle de contexte à base de corrélation »

Supervision : *Dario COLAZZO*

Elsa NEGRE

Le 18/12/2020, à l'Université Paris
Sciences et Lettres

■ **Habilitations à Diriger les Recherches**

Nous n'avons malheureusement pas eu connaissance ce trimestre d'HDR dans le domaine de l'IA. N'hésitez pas à nous envoyer les informations concernant celles dont vous avez entendu parler. (redacteurs-bulletins@afia.asso.fr)



AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

À PROPOS DE L'AfIA

L'objet de l'AfIA, Association Loi 1901 sans but lucratif, est de promouvoir et de favoriser le développement de l'Intelligence Artificielle (IA) sous ses différentes formes, de regrouper et de faire croître la communauté française en IA et, à la hauteur des forces de ses membres, d'en assurer la visibilité.

L'AfIA anime la communauté par l'organisation de grands rendez-vous. Se tient ainsi chaque été une semaine de l'IA, la « Plate-forme IA » (Pfia 2019 Toulouse, Pfia 2020 Angers, Pfia 2021 Bordeaux) au sein de laquelle se tiennent la Conférence Nationale d'Intelligence Artificielle (CNIA), les Rencontres des Jeunes Chercheurs en IA (RJCIA) et la Conférence sur les Applications Pratiques de l'IA (APIA) ainsi que des conférences thématiques invitées qui évoluent d'une année à l'autre, sans récurrence obligée.

Ainsi, Pfia 2021 héberge du 28 juin au 2 juillet 2021 à Bordeaux, outre la 24^e CNIA, les 19^{es} RJCIA et la 7^e APIA : les 32^{es} IC, les 16^{es} JFPDA, les 29^{es} JFSMA et les 15^{es} JIAF, trois journées thématiques (Défense & IA, Jeux & IA, Santé & IA) et une section tutorielle accessible à tous les inscrits à la plateforme.

Forte du soutien de ses 340 adhérents à jour de leur cotisation en 2021, l'AfIA assure :

- le maintien d'un [site web](#) dédié à l'IA reproduisant également les [Brèves](#) de l'IA ;
- une *journée recherche* « Perspectives et Défis en IA » (PDIA 2021) ;
- une *journée enseignement* « Enseignement et Formation en IA » (EFIA 2021) ;
- une *journée industrielle* « Forum Industriel en IA » (FIIA 2020) ;
- la remise annuelle d'un [prix de thèse](#) en IA ;
- le soutien à plusieurs collèges, actuellement au nombre de 8, ayant leur propre activité :
 - Collège [Industriel](#) (depuis janvier 2016) ;
 - Collège [Apprentissage Artificiel](#) (depuis janvier 2020) ;
 - Collège [Interaction avec l'Humain](#) (depuis juillet 2020) ;

- Collège [Représentation et Raisonnement](#) (depuis avril 2017) ;
 - Collège [Science de l'Ingénierie des Connaissances](#) (depuis avril 2016) ;
 - Collège [Systèmes Multi-Agents et Agents Autonomes](#) (depuis octobre 2016) ;
 - Collège [Technologies du Langage Humain](#) (depuis juillet 2019) ;
 - Collège [Compétitions](#) (depuis octobre 2018).
- la parution trimestrielle des [Bulletins](#) de l'AfIA ;
 - un lien entre ses membres et sympathisants sur les réseaux sociaux [LinkedIn](#), [Facebook](#) et [Twitter](#) ;
 - le [parrainage](#) scientifique, mais aussi éventuellement financier, d'événements en IA ;
 - la diffusion mensuelle de [Brèves](#) sur les actualités de l'IA en France ([abonnement](#) ou [envoi](#) à la liste) ;
 - la réponse aux consultations officielles ou officieuses (Ministères, Missions, Organismes) ;
 - la réponse aux questions de la presse, écrite ou orale, également sur internet ;
 - la divulgation d'offres de [collaborations](#), de [formations](#), d'[emploi](#), de [thèses](#) et de [stages](#).

L'AfIA organise aussi mensuellement des [journées communes](#) avec d'autres associations. Pour 2021 : [TAL & IA](#) avec [ATALA](#) ; [IHM & IA](#) avec [AFIHM](#) ; [EGC & IA](#) avec [EGC](#).

Enfin, l'AfIA encourage la participation de ses membres aux grands événements de l'IA, dont Pfia. Ainsi, les membres de l'AfIA, pour leur inscription à Pfia, bénéficient d'une réduction équivalente à deux fois le coût de leur adhésion, leur permettant d'assister à [Pfia 2021](#) sur 5 jours au tarif de 0€ !

Rejoignez-vous vous aussi et [adhérez](#) à l'AfIA pour contribuer au développement de l'IA en France. L'adhésion peut être individuelle ou, à partir de cinq adhérents, être réalisée au titre de personne morale. Parmi les personnes morales, certaines peuvent vouloir rejoindre notre Collège [Industriel](#), au plus près de l'IA !

Merci également de susciter de telles adhésions en diffusant ce document autour de vous !



CONSEIL D'ADMINISTRATION

Benoit LE BLANC, *président*
Domitile LOURDEAUX, *vice-présidente*
Isabelle SESÉ, *trésorière*
Grégory BONNET, *secrétaire*
Dominique LONGIN, *rédacteur*
Emmanuel ADAM, *webmestre*

Autres membres :

Sandra BRINGAY, Yves DEMAZEAU, Gaël DIAS,
Catherine FARON-ZUCKER, Pierre FEILLET,
Thomas GUYET, Marie LEFEVRE, Frédéric MA-
RIS, Engelbert Mephu NGUIFO, Gauthier PI-
CARD, Valérie REINER, Céline ROUVEIROL,
Laurent SIMON, Charlotte TRUCHET

COMITÉ DE RÉDACTION

redaction@afia.asso.fr

Emmanuel ADAM
Rédacteur

Grégory BONNET
Rédacteur en chef adjoint
resp-gt-redaction@afia.asso.fr

Gaël LEJEUNE
Rédacteur

Dominique LONGIN
Rédacteur en chef
resp-gt-redaction@afia.asso.fr

Laurent SIMON
Rédacteur

LABORATOIRES ET SOCIÉTÉS ADHÉRANT COMME PERSONNES MORALES

.....
Ardans, Berger Levrault, CRIL, CRISTAL, Dassault Aviation, ENIB, EURODECISION, GRETTIA,
GREYC, Huawei, I3S, IBM, INRIA Sophia Antipolis Méditerranée, IRIT, ISAE-SUPAERO, Lab-
STICC, LAMSADE, LERIA, LGI2P, LHC, LIG, LIMICS, LIMSI, LIP6, LIPADE, LIRIS, LIRMM,
LITIS, MaIAGE, Naver Labs, Renault, Thales, Université Paris-Saclay, Veolia.

■ Pour contacter l'Afia

Président

Benoit LE BLANC
École Nationale Supérieure de Cognitique
Bordeaux-INP
109 avenue Roul, 33400 Talence
Tél. : +33 (0) 5 57 00 67 00
president@afia.asso.fr

Serveur WEB

<http://www.afia.asso.fr>

Adhésions, liens avec les adhérents

Isabelle SESÉ
tresorier@afia.asso.fr

■ Calendrier de parution du Bulletin de l'Afia

	Hiver	Printemps	Été	Automne
Réception des contributions	15/12	15/03	15/06	15/09
Sortie	31/01	30/04	31/07	31/10