



Département d'évaluation de la recherche

DOCUMENT
D'AUTOÉVALUATION DES
UNITÉS DE RECHERCHE

CAMPAGNE D'ÉVALUATION 2024-2025
Vague E

Avril 2024

CRIL, université d'Artois et CNRS UMR 8188

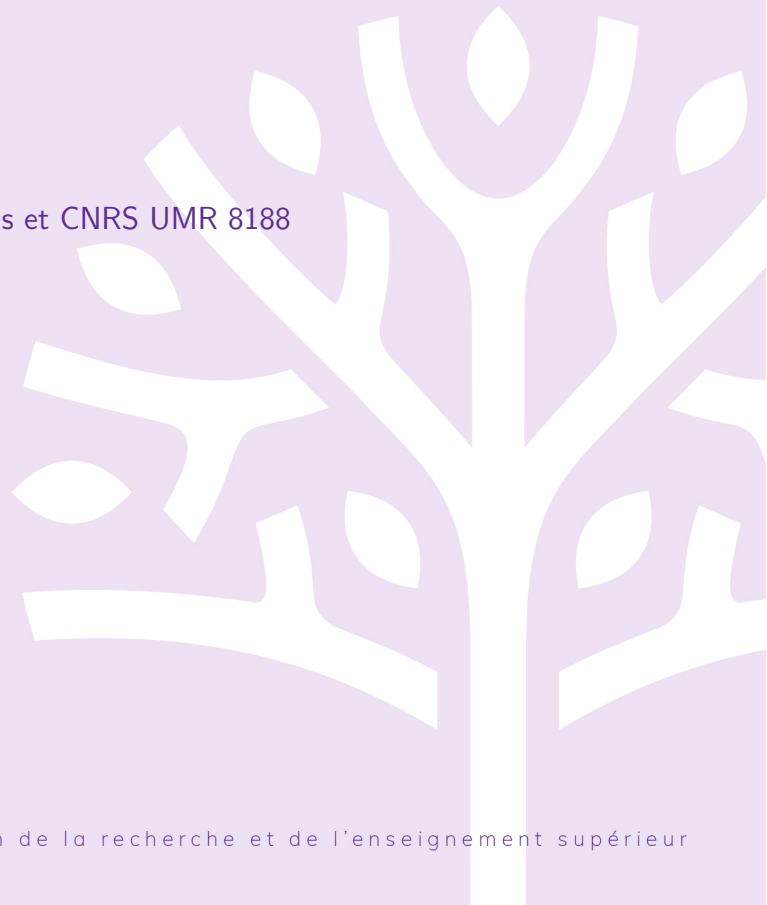


TABLE DES MATIÈRES

1 Informations générales pour le contrat en cours	3
1.1 Identification de l'unité	3
1.2 Présentation de l'unité	3
1.2.1 Historique, localisation de l'unité	3
1.2.2 Organisation de l'unité	3
1.2.3 Équipes, plateformes, services communs, etc.	4
1.2.4 Effectif de l'unité et de ses éventuelles équipes au 31/12/2023	6
1.2.5 Thématiques scientifiques	7
1.3 Les thématiques scientifiques et leurs enjeux	8
1.4 Profil d'activités liées à la recherche	9
1.5 Environnement de recherche	10
1.6 Prise en compte des recommandations du précédent rapport	11
2 Introduction du portfolio	17
3 Autoévaluation du bilan	19
3.1 Autoévaluation de l'unité	19
Domaine 1. Profil, ressources et organisation de l'unité	19
Domaine 2. Attractivité	27
Domaine 3. Production scientifique	33
Domaine 4. Inscription des activités de recherche dans la société	40
3.2 Axe « Données »	43
Les thématiques scientifiques de l'axe « Données » et leurs enjeux	43
Profil d'activités liées à la recherche	44
Prise en compte des recommandations du précédent rapport	44
Introduction du portfolio	44
Autoévaluation de l'axe « Données »	45
3.3 Axe « Connaissances »	51
Les thématiques scientifiques de l'axe « Connaissances » et leurs enjeux	51
Profil d'activités liées à la recherche	51
Prise en compte des recommandations du précédent rapport	51
Introduction du portfolio	52
Autoévaluation de l'axe « Connaissances »	53
3.4 Axe « Contraintes »	64
Les thématiques scientifiques de l'axe « Contraintes » et leurs enjeux	64
Profil d'activités liées à la recherche	65
Prise en compte des recommandations du précédent rapport	65
Introduction du portfolio	66
Autoévaluation de l'axe « Contraintes »	66
4 Trajectoire de l'unité	77
4.1 La trajectoire de l'axe « Données »	77
4.2 La trajectoire de l'axe « Connaissances »	79
4.3 La trajectoire de l'axe « Contraintes »	82
4.4 La trajectoire du CRIL dans son écosystème	85
Références	87

1 INFORMATIONS GÉNÉRALES POUR LE CONTRAT EN COURS

1.1 Identification de l'unité

Nom de l'unité : Centre de Recherche en Informatique de Lens

Acronyme : CRIL

Label et numéro : UMR 8188

Domaine scientifique principal : Sciences et Technologies

Panels scientifiques par ordre décroissant de pertinence :

- Panel 1
ST6 : Sciences et technologies de l'information et de la communication - STIC

Équipe de direction :

Pierre Marquis (DU) et Daniel Le Berre (DUA)

Liste des tutelles de l'unité de recherche :

- CNRS
- Université d'Artois

Écoles doctorales de rattachement :

Ecole Doctorale en Sciences, Technologies et Santé n°585

1.2 Présentation de l'unité

1.2.1 Historique, localisation de l'unité

Le Centre de Recherche en Informatique de Lens (CRIL) est un laboratoire de recherche qui développe depuis trente ans des activités de recherche en **intelligence artificielle (IA) et ses applications**. Le CRIL est implanté dans le Pas-de-Calais, à Lens, sur les sites de l'UFR des Sciences et de l'IUT de Lens, deux composantes de l'université d'Artois géographiquement proches (mille cinq cents mètres). Dans la suite du document, nous désignons les locaux qui nous sont alloués sur ces deux sites par « CRIL / Fac » et « CRIL / IUT ».

Le CRIL constitue l'unique UMR contractualisée de façon bilatérale entre le CNRS et l'université d'Artois, université multi-polaire et multi-disciplinaire de 12 500 étudiants, créée au début des années 1990. L'implantation et l'essor de structures universitaires et de recherche dans l'ancien bassin minier lensois, en particulier dans le domaine de l'informatique, constitue un outil stratégique pour la reconversion de ce territoire, dans un contexte socio-économique délicat depuis plusieurs décennies (qui transparaît par exemple dans le pourcentage d'étudiants boursiers à l'université d'Artois, de l'ordre de 40% en 2023/2024, 44% à l'UFR des Sciences). L'offre de formation universitaire en informatique comporte plusieurs filières corrélées : BUT, licence, master, doctorat. Parallèlement au développement des enseignements universitaires en informatique, le CRIL s'est soigneusement bâti depuis 1994 avec pour objectif de constituer un pôle d'excellence scientifique de visibilité internationale sur une thématique ciblée, l'intelligence artificielle et ses applications, complémentaire à celles des autres laboratoires de recherche en informatique de la région. Cet aspect constitue sans aucun doute une singularité de l'unité. Associé au CNRS avec un statut de FRE en 2002, le CRIL est devenu Unité Mixte de Recherche (UMR 8188) en 2008. Depuis 2018, le CRIL est au centre du domaine d'intérêt majeur (DIM) « Intelligence Artificielle » de l'université d'Artois, qui regroupe sept laboratoires.

1.2.2 Organisation de l'unité

Les instances du CRIL comportent un conseil de laboratoire de 15 membres et une assemblée générale, laquelle se réunit une fois par an en session ordinaire et autant que nécessaire en session extraordinaire. Les décisions relatives au

fonctionnement de l'unité sont prises par la direction après avis du conseil de laboratoire, qui se réunit environ sept fois par an, en fonction des besoins.

Durant la période de référence, le CRIL a nommé des **réfèrent(e)s** ou des **correspondant(e)s** à la demande de ses tutelles sur la base de leur appétence ou de leurs connaissances préalables du sujet : Communication (Fabien Delorme, IR CNRS), Égalité-parité (COREGAL, Anastasia Paparrizou, CR CNRS, puis Anne Parrain, MCF université d'Artois), Durabilité (Emmanuel Lonca, IGR université d'Artois), ED STS (Jean-François Condotta, PR université d'Artois), Europe (Salem Benferhat, PR université d'Artois), Handicap (Virginie Delahaye, ITA AI CNRS), Intégrité Scientifique (Gilles Audemard, PR université d'Artois), Science Ouverte (Daniel Le Berre, PR université d'Artois), Séminaires (Srdjan Vesic, CR HDR CNRS, puis Zied Bouraoui, MCF HDR université d'Artois), Valorisation (Daniel Le Berre, PR université d'Artois).

Une mission égalité-parité a été mise en place afin de sensibiliser, organiser et réaliser des actions visant à promouvoir l'égalité femmes-hommes. Elle est animée par un groupe de six collègues.

Le CRIL fonctionne sous **délégation de gestion au profit du CNRS**, ce qui signifie que la gestion de ses dotations de fonctionnement, de ses contrats, de sa valorisation est dévolue essentiellement au CNRS.

1.2.3 Équipes, plateformes, services communs, etc.

L'organisation scientifique de l'unité s'appuie sur des **axes de recherche** auxquels les membres du CRIL sont rattachés.

L'ensemble des personnels ITA et BIATSS sont regroupés dans des services communs. Les services sont sous l'autorité du directeur de laboratoire, Pierre Marquis (PR, université d'Artois). Le directeur est épaulé par un directeur-adjoint, Daniel Le Berre (PR, université d'Artois) et par l'administratrice du laboratoire, Virginie Delahaye (ITA AI CNRS).

Trois axes de recherche Avoir concentré plus de 30 personnels académiques (dont l'employeur est l'université d'Artois ou le CNRS) dans des thématiques proches résulte d'une politique volontariste de structuration de la recherche, qui constitue un invariant de l'unité depuis sa création il y a trente ans. La vision de l'ancien directeur (et fondateur de l'unité), Éric Grégoire, largement partagée par la nouvelle direction, était que cette concentration thématique était indispensable pour arriver à construire une unité visible nationalement et internationalement dans une ville de taille moyenne en province.

La question d'organiser des recherches dispersées conduites par des spécialistes aux intérêts distincts ne se pose donc pas au CRIL. Chaque CRILienne et CRILien est concerné(e) par la recherche de ses collègues, est en mesure de comprendre les questions de recherche qu'elles / ils abordent et pourrait travailler avec elles et eux. C'est un point qui différencie le CRIL d'autres laboratoires d'informatique dont la structuration en équipes traduit la co-existence de groupes aux préoccupations scientifiques qui n'ont pas toujours une intersection large. Cette singularité du CRIL l'a conduit à se munir d'une organisation spécifique, autour de **trois axes thématiques complémentaires à l'intérieur de l'IA** et bénéficiant d'une fertilisation croisée forte, qui sont :

- « **Données** » ;
- « **Connaissances** » ;
- « **Contraintes** ».

L'axe « Données » a été créé en 2022 après discussion et vote lors d'une assemblée générale extraordinaire. Sa création voulue par la direction de l'unité visait à munir l'unité d'un outil structurant pour identifier et rendre plus visible les activités de recherche concernant la science des données et l'apprentissage automatique, dont le développement était appelé par le HCERES lors de la dernière évaluation de l'unité.

Les axes de l'unité sont pilotés par des binômes de responsables, dont le rôle principal est l'animation de la recherche au sein de l'axe concerné.

Les trois axes ne constituent pas des équipes au sens premier du terme, dans la mesure, notamment, où certains membres du CRIL sont actifs au sein de deux ou trois axes et où des sujets de recherche sont communs. En particulier, les **deux actions transverses** qui ont été développées au CRIL entre 2018 et 2023, et qui regroupent des activités de recherche concernant d'une part **l'IA explicable (XAI)** et d'autre part, **l'IA au service d'autres disciplines (AI4*)**, ont conduit à

des résultats qui n'auraient pu être obtenus sans mettre en commun des compétences disciplinaires relevant directement de plusieurs axes. Néanmoins, pour donner une idée des forces de recherche en présence dans chaque axe, la direction a demandé à chaque membre permanent du CRIL de choisir un axe principal de rattachement. La répartition par axe ainsi obtenue est la suivante :

- « Données » : 8 (dont 6 HDR),
- « Connaissances » : 9 (dont 6 HDR),
- « Contraintes » : 15 (dont 7 HDR).

Les axes du CRIL n'ont ni budget propre ni séminaires propres. La taille de chacun des axes fait que leur animation scientifique n'a pas besoin d'une formalisation particulière (et de la lourdeur qu'elle induirait), elle se fait souvent par petits groupes, suite à des discussions autour d'un café ou d'un thé (dans nos salles de convivialité, au « CRIL / Fac » comme au « CRIL / IUT », on trouve toujours un tableau blanc).

Au vu de la spécificité du laboratoire et de sa taille, le CRIL est convaincu qu'en ce qui le concerne, cette structuration en axes thématiques a été et demeure plus productive que celle qui aurait pu résulter d'une éventuelle scission en équipes. Il peut être éclairant de noter que la grande majorité des enseignants-chercheurs du CRIL ont été recrutés sur la base du thème global du laboratoire (l'IA), indépendamment de l'axe dans lequel leurs travaux pourraient s'inscrire de manière privilégiée. Durant la période d'évaluation, un coloriage des postes de MCF mis au concours a cependant été appliqué pour privilégier l'axe « Données » nouvellement créé (il s'agissait d'accroître les compétences et forces vives du laboratoire en apprentissage automatique et fouille de données et répondre ainsi aux remarques reçues lors de la dernière évaluation de l'unité).

Cellule support à la recherche Les services administratifs du CRIL (secrétariat et la comptabilité/gestion) sont dirigés par une ITA AI CNRS (Virginie Delahaye), administratrice du laboratoire, épaulée par un ITA TECHE CNRS (Frédéric Renard) et une BIATSS TECHN université d'Artois (Sandrine Saitzek).

Cellule d'appui à la recherche La cellule d'appui à la recherche est dirigée par un enseignant-chercheur, Daniel Le Berre (PR).

- Développement logiciel et valorisation : Fabien Delorme (IR CNRS), Emmanuel Lonca (IGR université d'Artois) et Alain Kemgué (IR CNRS en CDD sur fonds propres du CRIL entre 2018 et 2023 puis IR CNRS en CDI à partir de 2024) sont chargés des missions de valorisation. Leur principal rôle est d'accomplir des missions de développement de logiciels (pour des durées de 3 à 6 mois) suite à des demandes remontées au fil de l'eau par les CRILiennes et CRILiens. Ces demandes doivent concerner prioritairement la finalisation et/ou la mise à un niveau professionnel de prototypes logiciels valorisables. Elles sont arbitrées par la direction de l'unité. Les collègues impliqués dans le service de valorisation viennent également en renfort des autres membres du laboratoire pour les actions de sensibilisation et de vulgarisation scientifique. Le service joue ainsi un rôle d'interface pro-active avec notre environnement socio-économique et culturel.
- Système, réseau et gestion du cluster : François Chevallier (IGE université d'Artois), épaulé par Emmanuel Lonca (IGR université d'Artois) pour le cluster de calcul, et par Olivier Roussel (MCF université d'Artois) pour les équipements du CRIL/IUT, assurent ce service au laboratoire.

Hygiène et sécurité François Chevallier (IGE université d'Artois) est l'assistant de prévention du laboratoire.

Communication La communication du laboratoire est sous la responsabilité d'un IR CNRS, Fabien Delorme.

Séminaires Un **séminaire de laboratoire unique**, concernant les trois axes de recherche du laboratoire, a été mis en place il y a longtemps déjà. Le créneau retenu le plus souvent pour les présentations est le jeudi en début d'après-midi, là où il y a en général moins de contraintes d'enseignement. Ceci permet au plus grand nombre de CRILiennes et CRILiens d'assister à ces présentations et d'y retrouver leurs collègues pour un moment de discussion. Les étudiants du master d'informatique, parcours intelligence artificielle, de l'université d'Artois sont aussi conviés à assister aux séminaires. Un budget est dédié chaque année pour permettre d'inviter des collègues d'autres laboratoires à donner des présentations.

Srdjan Vesic (de 2017 à 2018) et Zied Bouraoui (depuis 2019) ont assuré la gestion des séminaires durant la période de référence. La figure 1 indique le nombre de séminaires proposés chaque année par des membres du CRIL ou des collègues extérieurs au CRIL. Entre le 1er janvier 2018 et le 31 décembre 2023, 79 séminaires se sont tenus et les exposés donnés concernaient dans 52 cas des collègues extérieurs au CRIL.

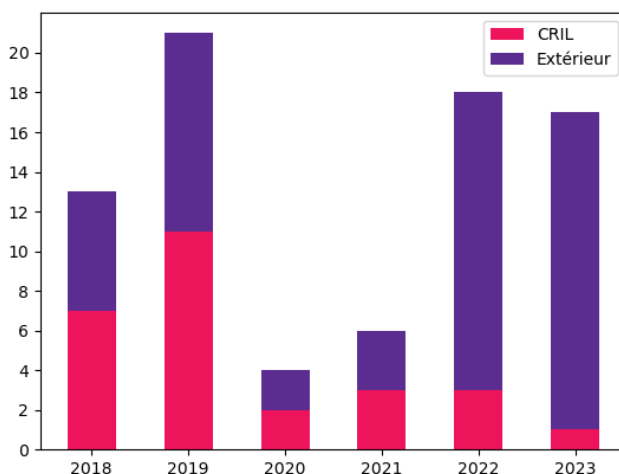


FIGURE 1 – Séminaires organisés pendant la période 2018-2023

1.2.4 Effectif de l'unité et de ses éventuelles équipes au 31/12/2023

TABLE 1 : Effectif de l'unité en 2018 et en 2023

Catégorie	Effectif 2018	Effectif 2023
Professeurs et assimilés	10	13
Maîtres de conférences et assimilés	18	16
Directeurs de recherche et assimilés	1	1
Chargés de recherche et assimilés	3	2
Professeurs du secondaire détachés dans le supérieur	2	2
ITA-BIATSS autres personnels cadre et non cadre EPIC...	5	6
Total permanents	39	40
Enseignants-chercheurs non titulaires, émérites et autre	0	3
Chercheurs non titulaires, émérites et autres	20	26
dont doctorants	14	23
Autres personnels non titulaires	3	1
Total	62	70

Entre 2018 et 2023, le CRIL a vu ses effectifs de personnels non permanents augmenter significativement grâce aux financements de projets obtenus.

Pour ce qui est des personnels permanents, l'effectif global est resté stable mais des départs et arrivées sont néanmoins à noter. Côté départs, Sylvain Lagrue (MCF HDR Artois) a quitté le CRIL en 2018 pour intégrer l'UTC comme PR ; Ivan Varzinczak (MCF HDR Artois) a quitté le CRIL en 2022 et Anastasia Paparrizou (CR CN CNRS) a quitté le CRIL en 2023 : ces deux départs sont liés à des rapprochements familiaux. Côté arrivées, Romain Wallon a été recruté comme

MCF à l'université d'Artois en 2021, Nejat Arinik et Wissem Inoubli ont été recrutés en 2023, eux-aussi en tant que MCF à l'université d'Artois. Trois collègues MCF HDR Artois sont devenus PR par la voie du recrutement (Jean-Marie Lagniez et Yakoub Salhi en 2020) ou du repyramidage (Saïd Jabbour en 2022).

Emmanuel Lonca a été titularisé comme IGR à l'université d'Artois en 2019. Notons aussi qu'Alain Kemgué, IR CNRS en CDD sur fonds propres du CRIL en 2023, est devenu IR CNRS en CDI en 2024.

Pour ce qui est des personnels enseignants-chercheurs non permanents, le CRIL dispose en 2023 de deux MAST (Cyrille d'Halluin et Nicolas Paris). Par ailleurs, un recrutement a été opéré en 2023 sur une chaire de professeur junior (CPJ). Florent Capelli a été recruté sur cette chaire.

Enfin, le nombre de doctorants financés sur contrat doctoral a **augmenté significativement** entre 2018 et 2023 (de 9 à 22 cf. infra).

La pyramide des âges donnée à la figure 2 fournit une vision globale de l'ancienneté des membres du CRIL, axe par axe.

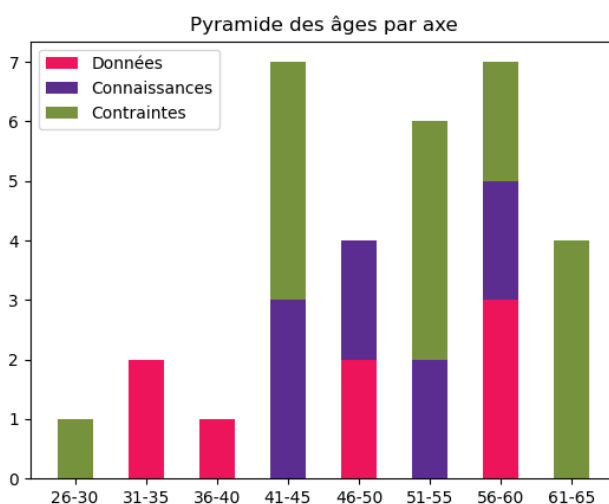


FIGURE 2 – Pyramide des âges des EC/C permanents par axe

1.2.5 Thématiques scientifiques

Les thématiques scientifiques principales de l'unité sont (par axe) :

- « Données » : apprentissage automatique, fouille de données et extraction de connaissances, interrogation, gestion et exploitation de données,
- « Connaissances » : représentation des connaissances, gestion d'informations imparfaites, changement de croyances, argumentation,
- « Contraintes » : satisfaction et optimisation sous contraintes, modélisation, compilation de connaissances et comptage de modèles.

S'y ajoutent les thématiques de l'IA explicable (XAI), et plus largement, de l'IA de confiance et de l'IA responsable, et celle de l'IA au service d'autres disciplines (AI4*), avec un accent sur la chimie, l'environnement et la santé. Ces deux thématiques constituent les actions transverses du CRIL. Elles mobilisent des CRILiennes et des CRILiens dont les recherches relèvent des trois axes de l'unité.

1.3 Les thématiques scientifiques et leurs enjeux

Les recherches développées au CRIL entre 2018 et 2023 visent à répondre à des **questions disciplinaires** en IA (propres à chacun des trois axes) mais aussi à des **questions d'interaction entre IA et les autres sciences et/ou avec la société**. Les résultats obtenus sont pour la plupart des résultats fondamentaux (le CRIL est un laboratoire avec un profil de **recherche amont**). En comparaison aux laboratoires de l'Hexagone ayant une signature similaire, une particularité de la production scientifique du CRIL est de comporter une part significative de **développement logiciel**. Si la plupart des logiciels produits sont des prototypes n'ayant pas d'autre vocation que de permettre des preuves de concepts, plusieurs logiciels ouverts, maintenus et documentés, ont également été développés et mis à disposition de la communauté scientifique. La pérennisation de ces logiciels a requis (et requiert) un investissement spécifique des collègues qui les maintiennent et de la cellule d'appui.

Les grandes questions de recherche de nature disciplinaire qui ont été abordées au sein de chacun des trois axes pendant la période de référence sont les suivantes :

- « Données » : les activités de recherche développées dans l'axe « Données » concernent les aspects conceptuels, méthodologiques et algorithmiques des données et visent à proposer des solutions efficaces à des problèmes de traitement de données et à fournir des résultats exploitables, fiables et explicables à l'utilisateur des systèmes de traitement de données. Du *data mining* à la gestion des données au sens large en passant par l'apprentissage automatique, les verrous que l'on tente de lever au sein de cet axe sont liés, d'une part, au caractère massif des données, à leurs caractéristiques (comme l'hétérogénéité et l'incohérence) et à leur sécurité et, d'autre part, à la qualité des résultats que l'on souhaite obtenir en termes de pertinence, de précision, fiabilité, interprétabilité, etc. Les mots-clés génériques de l'axe sont : fouille de données, gestion et exploitation des données et apprentissage automatique.
- « Connaissances » : l'axe « Connaissances » se consacre à l'étude (l'identification, la modélisation, la représentation et l'implémentation) des différents types d'information (connaissances, croyances, préférences, actions, etc.) et de raisonnements nécessaires au développement de systèmes physiques ou virtuels évoluant de manière autonome. Les travaux réalisés s'articulent notamment autour des thématiques et problématiques suivantes : dynamique des croyances, argumentation, raisonnement épistémique, raisonnement sur les actions, fusion d'informations, gestion des informations conflictuelles, ontologies et logiques de description, modèles graphiques et incertitude, espaces conceptuels.
- « Contraintes » : les travaux réalisés au sein de l'axe « Contraintes » portent sur la conception d'encodages, le changement de représentations (ou compilation) et le développement et l'évaluation, tant théorique qu'empirique, d'algorithmes efficaces et pouvant être utilisés dans les systèmes s'appuyant sur des représentations à base de contraintes. Depuis quelques années maintenant, l'axe « Contraintes » s'attaque également à des problèmes calculatoirement plus difficiles, comme le comptage de modèles de formules propositionnelles ou de réseaux de contraintes, qui utilisent des oracles NP pour être résolus.

Les questions de recherche abordées au sein de chaque axe et les résultats obtenus sont détaillés dans la partie du document dédiée à la présentation des axes.

Des recherches concernant deux actions transverses, l'une sur la thématique de « l'IA explicable » (XAI), l'autre sur celle de « l'IA au service d'autres disciplines » (AI4*), ont également démarré au CRIL en 2020, avec le contrat quinquennal. Puisque ces actions ne sont pas propres à un axe en particulier, elles sont décrites dans la partie du document qui concerne le laboratoire dans son ensemble.

L'IA explicable est un domaine qui a émergé avec l'expansion fulgurante de l'apprentissage automatique et l'opacité des modèles les plus précis (comme les réseaux de neurones profonds). Les utilisateurs humains de systèmes d'IA ont, en effet, besoin de garde-fous pour éviter de tenir pour correctes des prédictions erronées et la capacité à fournir des explications des prédictions réalisées est une voie pour rejeter de telles prédictions. Ce besoin est critique lorsque des composants IA sont utilisés dans des applications sensibles et l'exigence d'explication est l'objet de réglementation en Europe (avec le RGPD depuis 2018 et avec l'*AI Act* maintenant). Pour ces raisons, nous avons choisi de mettre la thématique de « l'IA explicable » au centre du projet scientifique du CRIL pour le contrat 2020-2024 (étendu à 2025 suite à la pandémie COVID). En effet, il nous semblait que les compétences de l'unité sur les questions de recherche concernant les données, les connaissances et les contraintes, pouvaient être mobilisées avec profit pour créer des synergies et être à l'origine de

TABLE 2 – Profil d'activités liées à la recherche du CRIL

Activités (Répartir 100 points sur ces 7 items)	Points
Administration et animation de la recherche : pilotage de la recherche (VP, direction d'institut, DAS, par exemple), participation à des instances d'évaluation (CNU, CoNRS, CSS, Hcéres, par exemple), responsabilité de dispositifs Idex ou Isite, direction de projets (ANR, Horizon Europe, ERC, CPER, PIA, France 2030, par exemple), responsabilités éditoriales dans des revues ou collections nationales et internationales.	15
Aide aux politiques publiques et expertise technique : pouvoirs publics aux niveaux européen, national et régional, entreprises, instances internationales comme FAO, OMS, etc.	3
Contribution à l'adossement d'enseignements innovants à la recherche : EUR, SFRI, etc.	0
Dissémination de la recherche : partage de connaissances avec le grand public, médiation scientifique, interface sciences et société.	7
Recherche et encadrement de la recherche.	65
Valorisation, transfert, innovation.	10
Autres activités. (à préciser en une ligne maximum).	0

recherches originales en IA explicable.

Les recherches au CRIL sur « l'IA au service d'autres disciplines » ont été suscitées au départ par la création à l'université d'Artois du **domaine d'intérêt majeur (DIM) IA** en 2018. Les échanges scientifiques avec des collègues d'autres laboratoires artésiens, relevant de disciplines variées (chimie, santé, sociologie, droit) qui ont eu lieu dans le cadre de ce DIM ont mis en évidence un large ensemble de questions d'intérêt pour lesquelles les techniques d'IA maîtrisées au CRIL pouvaient être exploitées avec profit. Depuis lors, les travaux à caractère pluridisciplinaire, conduits conjointement avec ces collègues, ont été intensifiés suite au montage du projet **ANR VIVAH (« Contrats doctoraux en intelligence artificielle »)** répondant à un appel qui s'inscrivait dans le cadre de la stratégie nationale en IA, au retour positif obtenu et aux financements de thèse alloués (et complétés par l'université d'Artois). L'action transverse sur « l'IA au service d'autres disciplines » a pris une ampleur beaucoup plus importante suite au montage et au financement du projet **PIA4 ExcellenceS MAIA (« Maîtrise des Applications de l'IA »)**, porté par l'université d'Artois pour l'alliance A2U (UArtois - ULCO - UPJV). MAIA vise à étudier, développer et déployer les interactions fortes existant entre l'IA et trois domaines d'applications phares de l'alliance A2U, la santé (UPJV), la chimie (incluant les matériaux et l'énergie) (UPJV - UArtois) et l'environnement (en particulier, la mer) (ULCO) ainsi que sur leurs aspects économiques, sociologiques, éthiques et juridiques. Ce projet interdisciplinaire associe 19 laboratoires, ainsi qu'un large réseau d'acteurs socio-économiques (collectivités, entreprises, clusters, etc.). Prévu pour durer jusqu'en 2031, ce projet, par les collaborations qu'il va promouvoir et les moyens financiers qu'il va apporter (11M€), va influencer significativement sur les activités de recherche conduites au CRIL durant le prochain contrat.

1.4 Profil d'activités liées à la recherche

Les points donnés dans ce tableau reflètent plus **un ressenti** qu'une mesure qui aurait été réalisée tout au long de la période d'évaluation et que l'on pourrait objectiver. Néanmoins, les ratios entre points fournis dans ce tableau nous semblent refléter peu ou prou la réalité de la répartition des activités des CRILiennes et CRILiens, pour celles qui concernent la recherche. Ces pourcentages sont issus d'agrégation de pourcentages individuels, collectés auprès des membres permanents de chaque axe, puis ajustés par les responsables d'axe et enfin par la direction de l'unité.

Ainsi, le secteur d'activités qui a, collectivement, mobilisé le plus les CRILiennes et CRILiens est de très loin la recherche (marquée par la production scientifique réalisée mais aussi par la participation de CRILiennes et CRILiens à divers comités éditoriaux et à de nombreux comités de programme, au niveau national et au niveau international) et l'encadrement de la recherche (28 thèses soutenues entre 2018 et 2023, 23 thèses en cours à ce jour).

Vient ensuite l'administration et l'animation de la recherche pour lesquelles on pourra noter en particulier la participation de Christophe Lecoutre au CNU en section 27, de Pierre Marquis et Anastasia Paparrizou au CoNRS (en CID 53 et section 6, respectivement), de Daniel Le Berre au CSI de l'INS2I, de Sébastien Konieczny comme directeur du GDR IA, le pilotage du projet PIA4 MAIA et la participation aux comités de pilotage des CPER DATA et Cornelia par Christophe

Lecoutre, le pilotage du projet européen STARWARS par Salem Benferhat, le pilotage de divers projets ANR (PRC PING/ACK 2019-2023 - Pierre Marquis, JCJC ERIANA 2023-2027 - Zied Bouraoui, PRC EXPIDA 2023-2027 - Saïd Jabbour, PRC AGGREEY 2023-2026 - Srdjan Vesic, PRC CROQUIS 2022-2026 - Salem Benferhat, PRCI EQUUS 2020-2024 - Stefan Mengel) et des responsabilités éditoriales dans des revues (comme *Artificial Intelligence* - Salem Benferhat et Ivan Varzinczak, *JAIR* - Frédéric Koriche et Ivan Varzinczak, *AI Communications* - Zied Bouraoui et Pierre Marquis, *AMAI* - Salem Benferhat, *Progress in Artificial Intelligence* - Pierre Marquis, *JSAT* - Daniel Le Berre, *Constraints* - Christophe Lecoutre, etc.). Par ailleurs, Stefan Mengel est trésorier de l'association internationale SAT depuis 2020.

La valorisation est un autre secteur d'activités sur lequel le CRIL a porté son attention entre 2018 et 2023, par la mise à disposition à la communauté scientifique de divers logiciels libres de recherche (d4, Metrics et PyXAI par exemple).

La dissémination de la recherche s'est surtout traduite par la participation de quelques collègues (essentiellement, Sébastien Konieczny et Pierre Marquis) à des activités de diffusion envers le grand public.

Quelques actions conduites par quelques CRILiennes ou CRILiens entre 2018 et 2023 relèvent de « l'aide aux politiques publiques et expertise technique » mais elles sont à la marge pour ce qui est du temps qui y a été consacré.

Les parties du rapport concernant chacun des trois axes montrent qu'il n'y a pas de différence notable de profils d'activités liées à la recherche selon l'axe considéré.

Évidemment, il est à noter que la très grande majorité des membres académiques permanents de l'unité sont des **enseignants-chercheurs ou des enseignantes-chercheuses**, que le pilotage des formations en informatique à l'université d'Artois sont assurés par elles et eux et que nombre de CRILiennes et de CRILiens sont aussi **fortement impliqués dans la gestion de l'université** (en tant que vice-président ou vice-présidente, chargé de mission délégué, directeur d'UFR ou chef de département).

1.5 Environnement de recherche

Comme déjà évoqué, la structuration de la recherche au sein de l'université d'Artois s'appuie sur des **domaines d'intérêt majeur (DIM)**. Le CRIL se situait jusqu'en 2018 en dehors des DIM de l'université, année où un DIM en intelligence artificielle (DIM IA) a été créé par l'établissement. Le CRIL est le laboratoire central de ce DIM, qui regroupe six autres laboratoires de l'université d'Artois. En particulier, le DIM IA est dirigé par Christophe Lecoutre, membre du CRIL. Le DIM IA a porté (et porte encore) deux projets importants pour le CRIL et dont l'université a été lauréate : **VIVAH** et **MAIA**.

Nous avons aussi évoqué précédemment que l'université d'Artois a entamé un rapprochement avec deux autres EPSCP de la Région Hauts-de-France (l'université du Littoral Côte d'Opale (ULCO) et l'université de Picardie Jules Verne (UPJV)) pour créer une alliance, appelée **A2U**. Il s'agit une structure flexible qui permet à chaque établissement de garder son identité tout en favorisant la création de synergies sur divers plans (concernant aussi bien l'enseignement que la recherche). Côté recherche, l'alliance A2U est à l'origine du montage de plusieurs projets PIA et de la création de pôles thématiques, regroupant divers laboratoires de son territoire. Parmi eux, figure le pôle « IA et optimisation » auquel le CRIL participe. A2U finance des actions au sein des pôles, en particulier par un dispositif de bonus qualité-recherche en réseau, qui vise à promouvoir les travaux de recherche entre les établissements participant à l'alliance.

Au niveau régional, le CRIL a aussi participé activement à **humAIn** (2019-2022), une alliance régionale autour l'IA et ses développements regroupant l'ensemble des universités publiques (et écoles d'ingénieurs) des Hauts-de-France, le CNRS et INRIA. La problématique de l'IA explicable figure parmi celles abordées par cette alliance. Enfin, toujours au niveau régional, le CRIL a participé aux contrats de plan État / Région qui ont été conclus pendant la période de référence. Il s'agit des CPER Data 2015-2022 et CPER Cornelia 2022-2027. Christophe Lecoutre a assuré et assure encore la représentation du CRIL et de l'université d'Artois dans les comités de pilotage de ces CPER. Le CPER Data (2015-2022) portait sur les enjeux de la donnée et des technologies numériques clés associées (*cloud computing*, *big data* et calcul intensif) en synergie forte avec le tissu économique régional. Il s'articulait autour de trois axes de recherche : internet des objets, intelligence des données et des connaissances, calcul haute performance et optimisation. Le CPER Cornelia (CO-construction RespoNsable Et durabLe d'une Intelligence Artificielle) vise à poser les bases d'une IA responsable et durable, avec des réponses scientifiques à ce défi majeur, un travail multidisciplinaire de co-construction et une mise en

situation progressive. Il comporte quatre axes : les bases théoriques et scientifiques de l'IA, l'IA embarquée et les enjeux sociétaux, les liens et applications multidisciplinaires, et l'impact socio-économique, la médiation et la création d'un pôle de compétence en IA.

1.6 Prise en compte des recommandations du précédent rapport

Les points à améliorer listés par le comité de visite lors de la dernière évaluation du CRIL étaient principalement ceux repris ci-après.

Observation du comité d'évaluation

plus beaucoup de projets de « grande taille » (avec des financements de thèse) après 2019, en particulier plus de contrats industriels depuis 2017.

Le CRIL a répondu à de nombreux appels à projets pendant la période de référence, ce qui a permis à l'unité de nouer de nouvelles collaborations scientifiques, d'augmenter ses moyens financiers et de ce fait, de pouvoir recruter plus de personnels non permanents (doctorant(e)s, post-doctorant(e)s, ingénieur(e)s en CDD). Ces projets sont décrits sommairement dans la suite de ce document. Parmi eux, figurent (entre autres) le projet PIA4 MAIA déjà évoqué, mais aussi deux projets européens (TAILOR et STARWARS), deux chaires ANR d'enseignement et de recherche en IA et dix projets ANR (PRC, JCJC, PRCE ou PRCI).

Le diagramme ci-dessous résume le nombre de soumissions à l'appel à projet générique annuel de l'ANR et le nombre de projets financés pendant la période d'évaluation.

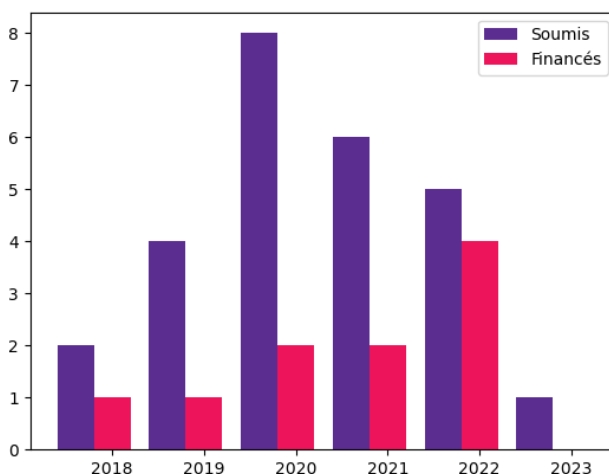


FIGURE 3 – Nombre de soumissions et financements AAP générique ANR

Une remarque additionnelle faite à l'oral par le comité de visite lors de sa venue à Lens pour l'évaluation du contrat précédent était que les CRILiennes et CRILiens n'étaient que très peu pilotes des projets développés lors du contrat. Cet état de fait a bien changé pendant le contrat 2020-24 : six projets ANR sur onze (sans compter les chaires) et le projet européen STARWARS ont été portés ou sont encore portés par des collègues du CRIL par exemple.

Observation du comité d'évaluation

nombre de doctorants peu élevé, en particulier une seule thèse CIFRE pendant la période de référence

Le développement de l'activité contractuelle pendant la période de référence 2018-2023 a permis de financer 28 thèses soutenues. S'y ajoutent 23 thèses en cours aujourd'hui en 2024, ce qui constitue une augmentation sensible par rapport aux nombres de thèses en cours durant le contrat 2013-2018 (ce nombre oscillait entre 14 et 18 selon les années).

On peut observer sur le diagramme suivant que le nombre de thèses soutenues chaque année a augmenté durant la période d'évaluation. En 2018, six des huit thèses soutenues se sont inscrites dans le cadre de cotutelles. La durée moyenne des thèses soutenues entre 2018 et 2023 fut de 39 mois.

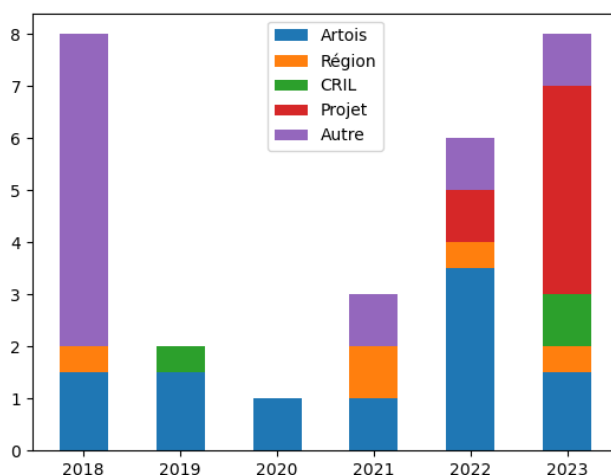


FIGURE 4 – Thèses soutenues pendant la période 2018-2023

Si l'on s'intéresse maintenant au financement des thèses démarrées durant la période d'évaluation, on peut observer que le nombre de thèses financées a augmenté significativement en 2020 notamment grâce au projet VIVAH (avec le financement de 3 thèses) et en 2023 grâce au projet MAIA.

A contrario, le nombre de thèses CIFRE n'a pas progressé. Concernant les contrats industriels, une double remarque préalable s'impose. D'une part, pour le CRIL, la recherche de contrats industriels de gré à gré vise surtout à faire émerger des questions scientifiques nouvelles qu'il nous plairait d'aborder. En particulier, cette recherche ne répond pas à une nécessité impérieuse de faire croître nos ressources financières. D'autre part, peu d'industries sont implantées localement dans le bassin minier et leur nombre n'a pas augmenté entre 2018 et 2023.

Pour autant, les actions de recherche conjointes avec des entreprises implantées en Région ont été réalisées. Un projet de laboratoire commun avec Kiabi a même été en discussion. La pandémie a malheureusement mis un coup de frein brutal à cette collaboration qui n'a pu redémarrer. Néanmoins, les compétences du CRIL ont permis de mettre en place une activité de recherche partenariale avec l'entreprise Exakis Nelite pour le Groupe ADP, qui a conduit à un contrat de recherche et au financement de la thèse de Thibault Falque (soutenue en 2023) portant sur l'optimisation des flux passagers et de la gestion de ressources aéroportuaires via des techniques d'apprentissage automatique et de programmation par contraintes. Par ailleurs, une thèse en partenariat avec ONERA a commencé en 2023 pour la prise en compte des courbes d'apprentissage dans l'équilibrage des chaînes d'assemblage en aéronautique. Enfin, une demande de thèse CIFRE avec la société DECIMA a été déposée en fin d'année 2023 sur la thématique de l'optimisation énergétique des bâtiments et acceptée en mars 2024. Elle débutera en mai 2024.

Observation du comité d'évaluation

une seule HDR soutenue pendant la période de référence

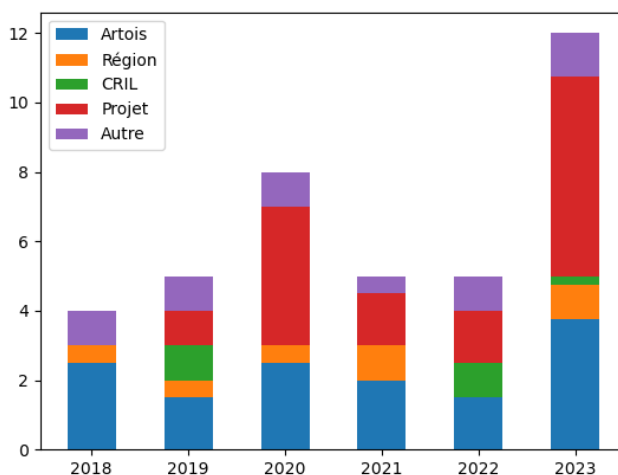


FIGURE 5 – Thèses commencées pendant la période 2018-2023

La soutenance des HDR est un indicateur « démographique », lié à la pyramide des âges au sein de l'unité : il dépend directement de l'avancement des collègues dans leur carrière. Durant la période d'évaluation, 9 HDR ont été soutenues. Dans l'ordre chronologique des soutenances : Saïd Jabbour en 2018 (dont l'HDR avait été mentionnée lors de la venue du HCERES au laboratoire début 2019, et est mentionnée dans le rapport HCERES), Karim Tabia, Ivan Varzinczak, Yakoub Salhi, Tiago de Lima et Jean-Marie Lagniez en 2019, Srdjan Vesic et Stefan Mengel en 2021 et Zied Bouraoui en 2022.

Observation du comité d'évaluation

déséquilibre hommes / femmes

Commençons par un bilan chiffré : du côté des personnels académiques, le CRIL compte quatre enseignantes-chercheuses (aucune HDR) pour vingt-cinq enseignants-chercheurs. Depuis le départ d'Anastasia Paparrizou, le CRIL ne compte plus de chercheuses CNRS (pour trois chercheurs CNRS). Du côté des personnels administratifs et techniques, le CRIL compte deux femmes pour quatre hommes. Du côté des doctorant(e)s ayant soutenu leur thèse entre 2018 et 2023, le CRIL a compté huit femmes pour vingt hommes. Enfin, chez les doctorant(e)s en cours de thèse, le CRIL compte six femmes pour dix-sept hommes.

Le déséquilibre hommes / femmes est un problème important, qui touche de nombreux laboratoires d'informatique, et dont la remédiation est difficile faute de leviers suffisants. Le recrutement de collègues femmes sur des emplois académiques permanents est opéré par des comités de sélection, formés à part égale par des femmes et des hommes, mais qui doivent faire face au nombre souvent très restreint de candidatures féminines. Parmi les recommandations de l'unité, transmises aux comités de sélection mis en place suite aux « promotions PR » de Jean-Marie Lagniez et de Yakoub Salhi et au départ d'Ivan Varzinczak, figurait celle poussant à recruter en priorité une femme comme règle de départage. Cette règle n'a pas suffi pour permettre le recrutement de collègues femmes. Par ailleurs, jusqu'à présent, aucune maîtresse de conférences ou chargée de recherches rattachée au CRIL n'a soutenu une HDR, qui rendrait possible une promotion par changement de corps.

L'incitation de la direction de l'unité à recruter des doctorantes et post-doctorantes a conduit aux ratios de 8/28 pour les thèses soutenues, et 6/23 pour les thèses en cours, ratios qui sont trop faibles. Là encore, l'existence d'un vivier insuffisant explique de tels ratios.

Pour promouvoir l'informatique auprès des étudiantes, le CRIL s'efforce d'actionner, chaque fois que possible, les (trop)

minces leviers dont il dispose. Ainsi, chaque année depuis 2020, divers collègues (dont des collègues femmes) participent aux journées « Numérik'Elles » organisées en Région et ayant pour objectif de faire découvrir aux jeunes femmes les métiers du numérique et de l'informatique à travers des ateliers pratiques, des témoignages, des stages-découvertes. En 2022, le CRIL a aussi financé sur fonds propres l'acquisition de la BD « Les décodeuses du numérique » pour l'offrir à toutes les doctorantes de l'unité et à tous les étudiants et toutes les étudiantes du master d'informatique de l'université d'Artois. Enfin, la direction de l'unité, via des nominations (dont le nombre est contingenté), a veillé à faire progresser le nombre de femmes siégeant au conseil d'unité par rapport au précédent contrat (trois femmes pour quinze membres contre une femme pour quinze membres précédemment).

Observation du comité d'évaluation

administration du cluster par un seul CRILien

L'administration du cluster de calcul de l'unité est maintenant réalisée par un binôme (François Chevallier et Emmanuel Lonca), pour assurer une résilience plus importante. Dans le futur, ils pourront être épaulés par Alain Kemgué.

Observation du comité d'évaluation

faible mise en valeur des résultats méthodologiques sur l'évaluation expérimentale

L'évaluation des logiciels produits par le CRIL passe typiquement par une évaluation expérimentale. Un effort notable a été fourni pendant le contrat dans l'objectif de capitaliser les développements de programme dédiés à l'analyse de données d'expérimentations. Cet effort s'est concrétisé par la création de Metrics.

Metrics est une bibliothèque *open source* écrite en Python ainsi qu'une application web, conçue pour faciliter la réalisation d'expérimentations et leur analyse. L'objectif principal de Metrics est de fournir une chaîne complète d'outils allant de l'exécution du logiciel à l'analyse de ses performances. L'ambition de Metrics est donc de simplifier la récupération des données expérimentales à partir de nombreuses entrées différentes (y compris les fichiers produits par le logiciel analysé), et fournir une interface simple pour produire des graphiques communément utilisés, calculer des statistiques sur l'exécution de ce logiciel, et organiser le tout en un minimum d'efforts. Au final, le but principal de Metrics est de favoriser le partage et la reproductibilité des résultats expérimentaux et de leur analyse. [Un tutoriel de cet outil](#) a été présenté à PFIA'2022.

Par ailleurs, l'expérience des membres de l'unité sur la problématique de l'évaluation expérimentale de solveurs a été mise à profit de la communauté scientifique via l'organisation de compétitions internationales ou la participation à la mise en place de telles compétitions :

- Christophe Lecoutre et Olivier Roussel (en 2018 et en 2019) puis Gilles Audemard, Christophe Lecoutre et Emmanuel Lonca en 2022 et 2023 ont organisé les quatre éditions de la [compétition XCSP³](#) de solveurs de contraintes.
- Jean-Marie Lagniez et Emmanuel Lonca (en collaboration avec Jean-Guy Mailly et Julien Rossit du LIPADE) ont organisé la [4th International Competition on Computational Model of Argumentation](#) en 2021.
- Daniel Le Berre a été *technical and reproducibility advisor* des compétitions internationales de comptage de modèles [MC](#) en 2021, 2022 et 2023.

Observation du comité d'évaluation

recrutements / collaborations avec des spécialistes de ML à mettre en place pour réaliser le projet de laboratoire

Le projet scientifique de l'unité, centré sur « l'IA explicable », a conduit plusieurs CRILiennes et CRILiens à monter en compétence en apprentissage automatique par auto-formation. En effet, la question de l'explicabilité des systèmes d'IA (quoique non spécifique aux systèmes à base d'apprentissage automatique) est une question cruciale pour ceux-ci. Par ailleurs, la direction de l'unité a mis en place plusieurs actions visant à faire croître la compétence du CRIL sur les questions liées à l'apprentissage automatique et assurer une montée en puissance des membres de l'unité sur les thématiques de la science des données et de l'apprentissage automatique :

- création de l'axe « Données » en 2022 (voulue plus tôt par la direction de l'unité mais ayant fait l'objet d'une mise en place retardée à cause de la pandémie).
- recrutement d'un ingénieur de recherche doté d'une bonne expérience des applications de l'apprentissage automatique, Alain Kemgué.
- recrutement à la rentrée 2023/2024 de deux maîtres de conférences (Nejat Arinik et Wissem Inoubli) expérimentés en apprentissage automatique (l'un des deux postes mis au concours a conduit à des recrutements infructueux deux années de suite faute de candidate ou candidat d'un niveau en apprentissage automatique jugé suffisant par le comité de sélection qui opérait).
- financement sur fonds propres à la rentrée 2022/2023 d'une thèse en apprentissage automatique portant sur l'apprenabilité de circuits interprétables (sujet connecté avec l'action transverse « IA explicable »).



2 INTRODUCTION DU PORTFOLIO

Nous avons collectivement choisi de mettre en exergue d'abord trois publications « disciplinaires », une par axe, apparaissant dans des supports de référence en IA (IJCAI, KR) et portant sur des questions de recherche pour lesquelles des compétences reconnues de l'unité ont été mobilisées : contraintes pour la fouille pour la première, fusion de croyances et ontologies pour la deuxième, apprentissage par renforcement pour les contraintes pour la troisième. Chacune de ces publications implique au moins un doctorant ou postdoctorant. Leur contenu est décrit brièvement dans les sections du document relatives aux axes.

- Yacine Izza, Saïd Jabbour, Badran Raddaoui, Abdelhamid Boudane, [On the Enumeration of Association Rules : A Decomposition-based Approach](#), in IJCAI'20, pp. 1265-1271, 2021.
- Zied Bouraoui, Sébastien Konieczny, Thanh Ma, Nicolas Schwind, Ivan Varzinczak, [Region-Based Merging of Open-Domain Terminological Knowledge](#), in KR'22, pp. 81-90, 2022.
- Frédéric Koriche, Christophe Lecoutre, Anastasia Paparrizou, Hugues Watzte, [Best Heuristic Identification for Constraint Satisfaction](#), in IJCAI'22, pp. 1859-1865, 2022.

Pour l'action transverse « IA explicable », vu l'importance du développement logiciel dans la production scientifique du CRIL, nous avons retenu [PyXAI](#), une bibliothèque logicielle libre pour l'IA explicable, dédiée aux modèles d'apprentissage à base d'arbres, développée depuis 2020.

Pour l'action transverse « IA au service d'autres disciplines », nous avons opté pour une publication à IJCAI portant sur les travaux réalisés en IA pour la Chimie :

- Astrid Klipfel, Yaël Frégier, Adlane Sayede, Zied Bouraoui, [Unified Model for Crystalline Material Generation](#), in IJCAI'23, pp. 6031 – 6039, 2023.

Cette publication implique une doctorante et un collègue du laboratoire de mathématiques (LML) et un autre du laboratoire de chimie (UCCS) de l'université d'Artois.

Nous avons enfin sélectionné trois faits saillants, jugés représentatifs de la qualité des recherches conduites au CRIL entre 2018 et 2023 et/ou de la visibilité de l'unité via ses membres.

Il s'agit d'abord des deux chaires ANR d'enseignement et de recherche en IA, obtenues suite à un appel à projets au niveau national, plutôt compétitif. [BE4musIA \(BELief change FOR better MULti-Source Information Analysis\)](#), portée par Sébastien Konieczny, traite de la problématique de la fusion d'informations multi-sources dans le but d'estimer la fiabilité des informations et de leurs sources. La détection des *fake news* est une application visée. [EXPEKCTATION, EXPLAINable artificial intelligence : a KnowlEdge CompilaTion FoundATIOn](#), portée par Pierre Marquis, concerne le développement d'approches et d'outils pour l'IA explicable, utilisant des méthodes de raisonnement automatisé basées sur des contraintes, en particulier la compilation de connaissances. Un des objectifs est de définir des techniques de prétraitement pour associer un prédicteur de type boîte noire à un circuit qui pourra être utilisé pour fournir diverses formes d'explication et pour répondre à des requêtes de vérification sur la boîte noire correspondante. Pour en terminer avec les chaires, signalons enfin que deux collègues du CRIL (Tiago de Lima et Srdjan Vesic) participent aux activités de la chaire *Responsible AI* portée par Nathalie Nevejans (une collègue juriste de l'université d'Artois, qui conduit des recherches entrant dans le DIM IA) et centrée sur les questions d'éthique. Ce travail en collaboration a permis au CRIL de développer des compétences supplémentaires.

Autre fait remarquable que nous tenions à pointer, [la médaille de l'innovation CNRS 2018 décernée à Daniel Le Berre](#) pour la bibliothèque libre [SAT4J](#). Il s'agit de la première médaille de l'innovation concernant l'informatique et nous sommes tous très fiers au laboratoire qu'elle soit revenue à un CRILien. Cette médaille est venue récompenser un travail d'ampleur, conduit dans la durée et qui a produit une bibliothèque utilisée quotidiennement par des millions de personnes (via l'utilisation de SAT4J au sein de la plate-forme Eclipse). Elle témoigne de la qualité des logiciels libres de recherche qui peuvent être développés au CRIL.

Enfin, il nous a paru important de souligner que le CNRS a confié le montage et la direction du [GDR IA](#) (de 2018 à 2022) à un CRILien, Sébastien Konieczny. Le GDR IA a connu une évolution / réincarnation en GDR RADIA à partir de 2023.



3 AUTOÉVALUATION DU BILAN

3.1 Autoévaluation de l'unité

Dans toute la suite de cette section, nous détaillons les entrées qui concernent **le CRIL dans son ensemble** et insistons sur les **actions transverses** réalisées entre 2018 et 2023 puisqu'elles concernent les trois axes de l'unité. A contrario, les entrées spécifiques aux axes sont juste synthétisées ici (les détails correspondants sont donnés dans les sections du rapport concernant les axes).

Domaine 1. Profil, ressources et organisation de l'unité

Référence 1. L'unité s'est assigné des objectifs scientifiques pertinents. Depuis 2018, le projet scientifique du CRIL, décidé collégalement, concerne **l'IA explicable (XAI)**. Il s'agit d'une problématique majeure depuis lors (et encore aujourd'hui) puisque le déploiement de systèmes d'IA dans le cadre d'applications sensibles (médicales, juridiques ou touchant à la sécurité ou à la santé des personnes) ne pourra se faire (au moins en Europe) que si des garanties sur les résultats produits par ces systèmes sont fournies. L'IA explicable ayant de multiples facettes, il nous a semblé important de déterminer dans quelle mesure le bagage scientifique des CRILiennes et des CRILiens pouvait être exploité pour proposer des solutions originales à certaines questions de recherche concernant la production d'explications, et plus largement, le développement de systèmes d'IA de confiance. Le projet proposé avait été considéré comme « très cohérent, ambitieux et bien motivé » par le comité de visite lors de la dernière évaluation de l'unité.

En sus des objectifs disciplinaires poursuivis dans chacun des trois axes (et décrits dans les sections correspondantes du document), sont venues s'ajouter depuis 2018 des questions de recherche concernant **l'IA au service d'autres disciplines**. L'impulsion à l'origine de cette orientation scientifique a été fournie par l'une de nos tutelles, l'université d'Artois, qui souhaitait voir apparaître l'IA au cœur de la signature de l'établissement. Cette impulsion s'est traduite concrètement par la création du DIM IA en 2018, puis par le montage des projets VIVAH suite à l'appel à projets « Contrats doctoraux en IA » et MAIA suite à un appel à projets PIA4 Excellences. Le fait que ces projets aient été retenus (à partir de 2020 pour VIVAH et de 2022 pour MAIA) a conduit à une dynamique importante au sein de l'unité (et plus largement de l'établissement et de l'alliance A2U) et à de nouvelles collaborations. Les questions de recherche abordées au sein de VIVAH et de MAIA sont typiquement pluridisciplinaires. Elles ont un caractère très actuel puisque l'impact de l'IA sur les autres sciences (en particulier, lorsqu'elles ont une base empirique importante) est reconnu comme potentiellement gigantesque (et que l'IA suscite pour cette raison de très nombreux travaux partout sur la planète). Assurément, VIVAH et MAIA ont permis, permettent et vont permettre de développer plus avant au sein du CRIL un volet « recherche appliquée et valorisation » que nous espérons notable.

Si les disciplines visées par MAIA relèvent de la santé, de la chimie et de l'environnement (des disciplines pour lesquelles A2U dispose de forces importantes), l'IA explicable constitue aussi un volet transverse du projet. Il en va de même des sciences humaines et sociales, et en particulier du droit, de l'éthique, de la psychologie, de la sociologie, de l'économie et de l'ergonomie (certaines de ces disciplines étaient déjà présentes dans des thèses VIVAH).

Référence 2. L'unité dispose de ressources adaptées à son profil d'activités et à son environnement de recherche et les mobilise. Les dotations récurrentes de l'unité se montent *grosso modo* à 110k€/an de l'université d'Artois et à 30k€/an du CNRS. À l'université d'Artois, depuis 2021, un contrat objectifs-moyens a été mis en place avec les laboratoires : la dotation des laboratoires de l'université d'Artois est attribuée au prorata des points que chaque laboratoire reçoit (ces points correspondent à l'évaluation de l'unité selon divers critères, quantitatifs et qualitatifs) et de l'enveloppe globale que l'établissement réserve pour la recherche. Ces moyens (et les *overheads* et les reliquats de contrat éventuels) constituent les moyens communs de l'unité : ils sont mutualisés. Ces moyens servent en priorité à financer les matériels dont le laboratoire a besoin (bureaux, ordinateurs, connectique, etc.), les déplacements des doctorants dans le cadre de la formation doctorale ou d'écoles thématiques, le matériel et les missions des collègues qui ne disposent pas de contrats. Un principe de solidarité interne est à l'œuvre au CRIL depuis toujours et les bénéficiaires de sources externes de financement doivent éviter de trop solliciter le budget commun. Nous nous efforçons également de financer une fois par an pour chaque doctorant(e) qui le demande une mission pour participer à la conférence nationale de son domaine (c'est important pour leur permettre de nouer des contacts qui pourront être utiles pour la suite de leur parcours).

Par ailleurs, nous incitons l'ensemble des collègues académiques à proposer chaque année des projets en réponse à l'appel unique CNRS et plus généralement, à porter des projets et/ou participer à des montages de projets, de tout type. Quand un projet est financé, les collègues impliqués décident de l'utilisation des moyens reçus pour le réaliser. Le prélèvement de solidarité de l'ordre de 15% du budget global du projet pour les projets qui le permettent (en place dans l'unité lors du précédent contrat) a été abaissé en 2022 à 15% pris uniquement sur le budget de fonctionnement du projet. Il s'agissait de donner une motivation de plus aux collègues pour développer des activités partenariales supplémentaires.

La figure 6 donne une vue synthétique de l'origine des dépenses sur la période. Il faut noter que pour l'université d'Artois, il s'agit de la dotation annuelle du laboratoire, des financements BQR, de la dotation spécifique de 2018 pour le cluster de calcul et de la dotation du MESRI au bénéfice du CRIL de 2020. Pour le CNRS, il s'agit de la dotation annuelle du laboratoire, des financements résultant des appels à projet (PEPS, émergence, etc) et des dotations exceptionnelles. La part prédominante de l'ANR durant la période de référence s'explique en grande partie par le financement de deux chaires IA, en plus des projets PRC, PRCE et PRCI. **Les financements de thèse de l'université d'Artois et de la région ne figurent pas dans ce camembert car les doctorant(e)s concerné(e)s sont payé(e)s directement par l'université (contrairement à celles et ceux financé(e)s, par exemple, par l'ANR).**

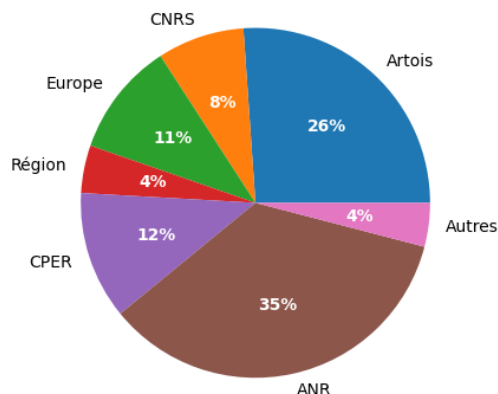


FIGURE 6 – Origine des dépenses en pourcentage sur la période 2018-2023

La figure 7 résume le type de dépenses du laboratoire par année dans le cadre de sa délégation de gestion CNRS. On pourra noter les plans d'équipement spécifiques pour le cluster en 2018 (CPER Data et dotation spécifique de l'université d'Artois) et 2020 (financement obtenu par l'université au bénéfice du CRIL lors de son COP avec le MESRI). On pourra noter aussi la faible part des missions en 2020 et 2021 à cause de la pandémie COVID. Enfin, de nombreux CDD (doctorants, postdoctorants, ingénieurs) ont été embauchés depuis 2020, principalement sur des financements ANR (PRC, PRCE, Chaires IA).

Pour les six années entre 2018 et 2023 dans leur ensemble, on pourra observer sur la figure 8 que le principal poste de dépense est celui des personnels contractuels, bien que les financements de thèse de l'université d'Artois et de la Région ne soient pas comptabilisés.

A l'intérieur de chaque axe, divers projets ont été montés entre 2018 et 2023. Le détail est donné dans les parties du document relatives à chacun des axes. Il en a été de même pour les deux actions transverses de l'unité, comme détaillé dans les sections suivantes.

IA explicable (XAI) Les recherches en IA explicable réalisées entre 2018 et 2023 ont été soutenues par plusieurs projets :

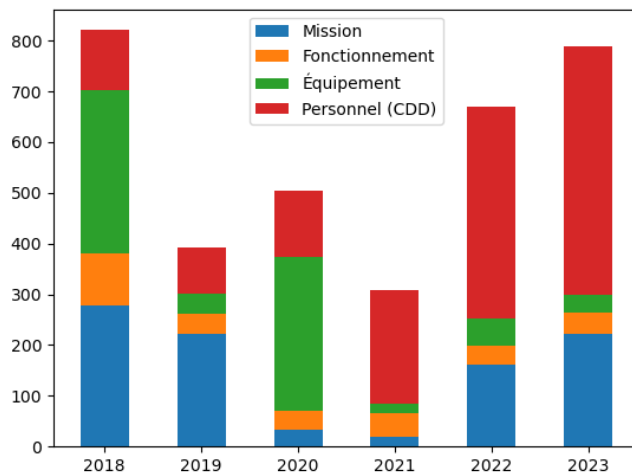


FIGURE 7 – Type de dépenses par années en k€

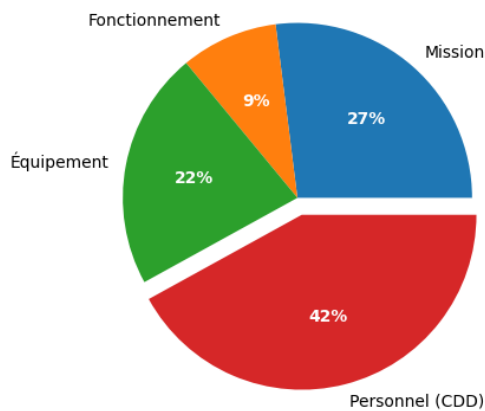


FIGURE 8 – Répartition des dépenses en pourcentage sur la période 2018-2023

- la chaire ANR d'enseignement et de recherche **EXPEKCTATION** portée par Pierre Marquis. Cette chaire a permis de financer deux thèses (soutenues en 2023) :
 - Steve Bellart : calcul d'explications formelles pour les modèles d'apprentissage automatique à ensemble d'arbres
 - Louenas Bounia : modèles formels pour l'IA explicable : des explications pour les arbres de décision mais aussi quelques mois d'ingénieur (Nicolas Szczepanski) et de post-doctorant (Olivier Peltre).
- la participation du CRIL au projet européen **TAILOR H2020 ICT-48 RIA Proposal on the Foundations of Trustworthy AI**. Le projet TAILOR (pour « *Trustworthy AI Integrating Learning, Optimisation and Reasoning* ») a été monté par la Confédération Européenne de Laboratoires en Intelligence Artificielle CLAIRE (à laquelle le CRIL participe) en vue de répondre un appel de l'Union Européenne visant à bâtir un réseau d'excellence européen en IA. Le CRIL a eu la chance d'être retenu comme *contributing partner*, et le projet TAILOR celui d'être financé à compter de 2020 et pour trois ans (prolongés à quatre), ce qui permet au CRIL de recevoir des moyens supplémentaires (parmi les 55 partenaires, seuls quelques laboratoires ont été associés en France, dont les instituts 3IA ANITI (Toulouse) et MIAI (Grenoble)). Le projet a permis de financer un post-doctorant (Ismail Baaj) pendant deux ans.
- le projet PINTE (exPlications INTElligibles) conclu avec l'IRT SystemX dans le cadre du programme confiance.ai de la stratégie nationale en IA. Ce projet a été focalisé sur la problématique du calcul d'explications intelligibles. La disponibilité de connaissances du domaine (incluant l'expertise métier et les préférences utilisateur) a été peu exploitée jusqu'ici pour produire des explications de prédictions mais apparaît comme un levier intéressant pour calculer des explications pertinentes (par exemple, parce que ces connaissances se basent sur un ensemble de concepts que l'utilisateur à qui les explications sont destinées connaît) et pour simplifier ou reformuler les explications produites de façon à les rendre plus intelligibles. Comme le nombre d'explications possibles est en général exponentiel dans le nombre d'attributs servant à décrire les instances à classer (même pour des modèles simples, considérés comme « interprétables »), la prise en compte de préférences utilisateur est un moyen de se focaliser sur les « meilleures explications », de réduire la taille de l'ensemble des explications à considérer et d'accroître ainsi l'interprétabilité des explications transmises à l'utilisateur. Le projet a permis de financer un ingénieur de recherche (Nicolas Szczepanski) pendant un an.

IA au service d'autres disciplines Le projet VIVAH a permis de financer huit thèses (cinq co-financées par l'ANR), dont quatre pour lesquelles le CRIL est impliqué sur des sujets d'IA au service d'autres disciplines :

- Caren Al Anaissy (thèse en cours) : application de la théorie de l'argumentation au raisonnement juridique,
- Gökhan Tahil (thèse en cours) : détermination de constantes d'association entre des cyclodextrines et ses invités par apprentissage automatique et contraintes,
- Astrid Klipfel (thèse soutenue en 2023) : *Equivariant Message-Passing Neural Networks and Probabilistic Diffusion Models for Materials Science*,
- Sara Kebir (thèse soutenue en 2023) : approches légères pour une solution de maison intelligente pour personnes âgées.

MAIA, via un premier appel à financement de thèses en 2023, a déjà permis de démarrer les thèses suivantes :

- Clément Lens : développement d'un système de détection d'évolution critique chez des patients hospitalisés (thèse en collaboration avec le CH d'Arras, co-financée par la Communauté Urbaine d'Arras),
- Mengda Xing : utiliser l'intelligence artificielle pour l'optimisation du fonctionnement des électrodes de batterie (thèse en collaboration avec le laboratoire LRCS de l'UPJV),
- Diane Sam-Mine : interventions socio-psychologiques artificiellement intelligentes (thèse en collaboration avec le laboratoire SHERPAS de l'université d'Artois).

Par ailleurs, l'université d'Artois a financé ou co-financé d'autres thèses au CRIL qui ont un caractère pluridisciplinaire et qui impliquent d'autres chercheurs ou chercheuses de l'établissement ou d'autres établissements :

- David Ing (thèse en cours) : découverte de connaissances à partir de données migratoires (thèse en collaboration avec l'IRD),
- Naïm Es Sebbani (thèse en cours) : modélisation conceptuelle des expressions idiomatiques (thèse en collaboration avec le laboratoire Grammatica).

En plus des thèses précédentes, on pourra aussi citer deux thèses en cotutelle soutenue en 2018 concernant le secteur de la santé :

- Ali Mensi : résolution de CSP qualitatifs pour le temps par des techniques de recherche locale, application à la planification hospitalière,
- Marwa Harzi : optimisation des soins d'urgence sous incertitudes à l'aide de formalismes qualitatifs spatio-temporels.

Enfin, dans le cadre du projet ANR Croquis qui consiste à appliquer les méthodes de l'IA dans le domaine des sciences de l'eau, le travail de thèse d'Omar Et-targuy consiste, d'une part, à proposer une représentation graphique des systèmes d'information géographique (SIG) associés aux réseaux des eaux usées et, d'autre part, à proposer des méthodes d'intégration et de fusion de données hétérogènes provenant de sources diverses.

Pour accueillir dans de bonnes conditions les personnels recrutés sur les divers projets financés depuis 2018 (en particulier, sur le contrat VIVAH et sur les chaires), le CRIL a eu besoin de locaux supplémentaires. Nous avons eu la chance d'obtenir en octobre 2021 l'usage de 140 m² de bureaux supplémentaires (voir la figure 9), au 3ème étage du bâtiment B de la Faculté des Sciences, dans une aile murée jusque là et qui a été réaménagée par l'université d'Artois suite à notre demande. L'équipement de ces bureaux a été assuré par le CNRS suite à une demande de financement exceptionnel.



FIGURE 9 – Bureaux du DIM IA utilisés par les chaires IA et les thèses VIVAH

Le développement du projet MAIA crée maintenant de nouveaux besoins en matière de locaux et notre demande de réhabilitation du 4ème étage du bâtiment B de la Faculté des Sciences à cette fin a reçu une réponse positive de la direction de l'université. Le prochain contrat devrait donc voir le CRIL disposer de locaux supplémentaires.

Référence 3. Les pratiques de l'unité sont conformes aux règles et aux directives définies par ses tutelles en matière de gestion des ressources humaines, de sécurité, d'environnement, de protocoles éthiques et de protection des données ainsi que du patrimoine scientifique.

Transparence, explication et partage Les règles de bonne pratique mises en place au CRIL et permettant un fonctionnement harmonieux de l'unité s'appuient sur des principes assez simples de transparence, d'explication et de partage. Ces principes sont indispensables pour que chaque membre de l'unité puisse s'assurer qu'il ou elle fait l'objet d'un traitement équitable et reste motivé(e). Les décisions prises (et leurs motivations) figurent dans les compte-rendus de réunions du conseil d'unité et sont accessibles à toutes et tous via l'intranet du laboratoire. Pour ce qui est du partage de moyens

communs, en complément de sa dotation (qui bénéficie à tous les membres de l'unité qui en ont besoin), le CRIL se voit attribuer en moyenne chaque année deux financements de thèse par l'université (avec un co-financement possible par la Région Hauts-de-France). Leur attribution fait l'objet d'une discussion et d'un vote au conseil d'unité. Des règles présidant à l'affectation de ces financements à des sujets / équipes d'encadrants ont été établies par le conseil d'unité en 2018 et revues en 2020 et 2022. Les principes sous-jacents à la politique d'allocation des contrats doctoraux sont :

- l'adéquation du sujet au projet du laboratoire,
- le partage de la ressource entre membres du CRIL. En particulier, on s'attend à voir apparaître en priorité dans l'équipe d'encadrement associé à chaque sujet trois permanents du laboratoire, dont au moins un non-HDR (et évidemment au moins un HDR).

Dans le cas où le nombre de propositions de sujets de thèse respectant les règles précédentes est inférieur au nombre de financements possibles sur les moyens communs de l'unité (en particulier, les financements sur DGF, DGF/Région et ressources propres), on considère dans l'ordre :

- les sujets portés par des équipes d'encadrement de deux personnes dont un HDR et un non-HDR,
- les sujets portés par des équipes d'encadrement de deux personnes HDR,
- les sujets portés par des équipes d'encadrement formées d'au moins une personne HDR et qui n'entrent pas dans les catégories précédentes ou qui ne satisfont pas les deux règles par défaut énoncées ci-avant. Le départage éventuel pour cette dernière catégorie est décidé par le conseil de laboratoire par un vote après discussion.

Pour classer les sujets remontés, nous nous appuyons sur le taux d'encadrement cumulé de l'équipe d'encadrement sur les 6 dernières années universitaires. Les thèses financées par d'autres voies que les moyens communs se voient appliquer un coefficient réducteur de 0.5 (de façon à promouvoir la recherche d'autres sources de financement pour nos doctorant(e)s). En outre, chaque année n , aucun(e) collègue n'est impliqué(e) dans plus d'une équipe d'encadrement associée à un sujet proposé pour financement sur les moyens communs et tout(e) collègue bénéficiant d'un (co-)encadrement de thèse sur les moyens communs n'est pas éligible à un tel (co-)encadrement l'année $n+1$.

Les profils de postes d'enseignant-chercheur ou d'enseignante-chercheuse mis aux campagnes d'emploi sont discutés, définis et votés par le conseil d'unité. Les compositions des comités de sélection correspondants sont définies par votes (collège par collège) à bulletins secrets, votes pour lesquels les collègues concernés (leur ensemble variant selon le type de poste) sont électeurs ou électrices. La méthode de vote par approbation est utilisée aussi bien pour choisir les membres internes des comités que les membres externes. Ainsi, chaque CRILien et CRILienne dispose de la même influence sur l'issue du scrutin. Depuis 2018, la direction n'a pas participé aux comités de sélection mis en place.

Pour ce qui est des demandes de financements de projets, le conseil d'unité classe chaque année les projets transmis par les CRILiennes et CRILiens et entrant dans le cadre de l'appel unique CNRS (il s'agit en particulier des projets relevant du volet « Emergence » de l'appel unique et avant cela, des projets exploratoires PEPS). Côté université, les demandes de financements entrant dans le cadre du BQR ou celles relevant du dispositif « *visiting professors* » (permettant d'accueillir pour une semaine au plus des collègues issus d'universités à l'étranger) sont systématiquement remontées (elles sont arbitrées au niveau de l'établissement).

Durant le présent contrat, la direction de l'unité s'est efforcée de mobiliser tous les collègues prêts à le faire pour répartir les tâches à réaliser (en particulier, de devenir référent(e) ou correspondant(e) pour une activité spécifique). Au delà du partage du travail, ce procédé vise à un double effet vertueux : montrer la confiance que la direction de l'unité accorde à ses membres et permettre aux collègues concernés de se forger une expérience de gestion d'une activité au bénéfice du collectif (et réaliser parfois que ce n'est pas toujours aussi simple que ce que l'on peut penser quand les intérêts des un(e)s et des autres peuvent diverger et qu'il faut prendre des décisions néanmoins).

Diffusion de l'information L'organisation du temps de travail des agents de la cellule d'appui à la recherche fait qu'il est facile pour les CRILiens et CRILiennes de les contacter et d'obtenir, souvent dans un délai très court, des réponses aux questions qu'ils / elles se posent. La direction de l'unité s'organise aussi pour être le plus possible disponible et rester réactive face aux demandes reçues. La taille de l'unité permet à la direction d'être proche de tous et toutes et ainsi de pouvoir réagir rapidement si une éventuelle situation de mal-être survient.

La diffusion de l'information du CRIL vers l'extérieur est surtout médiée par le site web de l'unité, que l'on s'efforce de maintenir à jour.

La diffusion de l'information au sein du CRIL passe beaucoup par l'utilisation de la messagerie. Par ailleurs, tous les documents de référence sont mis à disposition depuis l'intranet du laboratoire. On y trouve entre autres le règlement intérieur de l'unité, les compte-rendus des réunions du conseil, le guide de référence sur la recherche intègre et responsable, le guide de la protection du potentiel scientifique et technique, une circulaire sur la violence, la discrimination, le harcèlement moral ou sexuel et les agissements sexistes au travail, ainsi que divers documents relatifs à l'hygiène et à la sécurité (conduite à tenir, DUER - Document Unique d'Évaluation des Risques, consignes en cas d'accident ou de malaise, livret d'accueil hygiène et sécurité, liste des sauveteurs secouristes de travail, etc.).

Sécurité des agents et des systèmes François Chevallier (IGE université d'Artois) est l'assistant de prévention du CRIL et son correspondant SSI. Il met en place et veille aux respects des mesures décidées par les tutelles concernant la sécurité et la santé des agents et la sécurité des systèmes informatiques.

Si la pandémie COVID a provoqué beaucoup de stress et un surcroît de travail énorme chez les enseignants-chercheurs et enseignantes-chercheuses, il nous a quand même permis de définir des plans de continuité d'activité et d'éprouver leur robustesse. L'action de toutes et tous et le soutien des tutelles ont été décisifs pour passer cette période en minimisant les risques liés au COVID. La production scientifique du CRIL n'a pas baissé pendant la pandémie.

Egalité femmes-hommes Anastasia Paparrizou puis Anne Parrain (après le départ d'Anastasia Paparrizou en 2023) ont été les correspondantes égalité femmes-hommes au sein du CRIL. Anne Parrain est, par ailleurs, vice-présidente déléguée à l'égalité femme-homme de l'université d'Artois. Leur mission est de contribuer à l'amélioration de la prise en compte du genre au sein de l'unité, diffuser les informations pertinentes, animer des réflexions sur cette problématique. Leur activité est appuyée par un comité égalité-parité, formé de six personnes.

Qualité de vie au travail La qualité de vie au travail est une dimension dont la prise en compte est essentielle dans un laboratoire. Elle l'est sans doute encore plus depuis la pandémie puisque certains collègues académiques ont pris l'habitude de travailler autrement, sans se déplacer aussi souvent qu'avant. Si cette pratique peut avoir des aspects positifs (du point de vue du bilan carbone et de l'environnement), elle peut aussi être à l'origine de difficultés (notamment en cas de situation conflictuelle), conduire certain(e)s à un repli sur eux-mêmes et obérer toute collaboration nouvelle. Il est donc important de faire en sorte que chaque collègue ait autant que possible envie d'être présent(e) sur site pour pouvoir dialoguer et travailler avec les autres CRILiens et CRILiennes. La direction s'y emploie en allouant une partie des moyens communs pour améliorer leurs conditions de travail.

Le CRIL a fait entre 2018 et 2023 l'achat de machines à café performantes (nos « clusters de calcul » à destination des CRILiennes et des CRILiens!) pour le « CRIL / Fac » et le « CRIL /IUT », la rénovation de la cafétéria du « CRIL / Fac », l'équipement d'une salle de visioconférence au « CRIL / IUT », l'achat de réhausseurs de postes de travail et de fauteuils de bureau adaptés pour toutes les CRILiennes et les CRILiens qui le demandent (de façon à éviter les troubles musculo-squelettiques), et d'autres dispositifs (par exemple, des casques à élimination de bruit, qui ont été fort utiles quand les agents ont dû travailler à domicile pendant la pandémie, dans des conditions dégradées). La direction est restée à l'écoute des besoins de toutes et tous et s'est efforcée de satisfaire les demandes reçues chaque fois qu'elles étaient raisonnables.

Des moments de convivialité (pots avant les vacances d'été ou la fin d'année civile, galette des rois, barbecue, etc.) ont été organisés régulièrement.

Les Journées Des Doctorants (JDD) constituent également des événements récurrents où les CRILiennes et les CRILiens se retrouvent hors les murs pour échanger dans une ambiance studieuse et détendue. Les doctorantes et doctorants de l'unité y trouvent une opportunité pour présenter l'état d'avancement de leurs travaux à l'ensemble du laboratoire, ce qui constitue pour eux un bon exercice, préparatoire à leur soutenance de thèse. Pour les autres membres de l'unité, c'est une occasion de mieux connaître les développements des travaux de recherche effectués par d'autres. Nous essayons de mettre sur pied des JDD tous les deux ans. Pendant la période de référence, nous avons pu organiser deux occurrences

des JDD, l'une à Ostende s'est tenue les 27 et 28 juin 2019 et la suivante à Amiens les 1er et 2 juin 2022 (la pandémie nous ayant contraint à décaler dans le temps son organisation).

Développement durable Quelques actions allant dans le sens du développement durable ont été entreprises par la direction de l'unité durant le contrat. Par exemple, l'achat de *mugs* et de gobelets réutilisables pour les membres de l'unité nous a permis de nous passer de l'achat de gobelets en plastique pour les fontaines à eau. L'acquisition d'ordinateurs avec des garanties plus longues (jusqu'à 8 ans) quand de telles garanties sont possibles est maintenant privilégié de façon à avoir à renouveler moins souvent le matériel. Enfin, un bilan carbone de l'unité a été réalisé par notre correspondant durabilité (voir figure 10), Emmanuel Lonca (IGR université d'Artois).

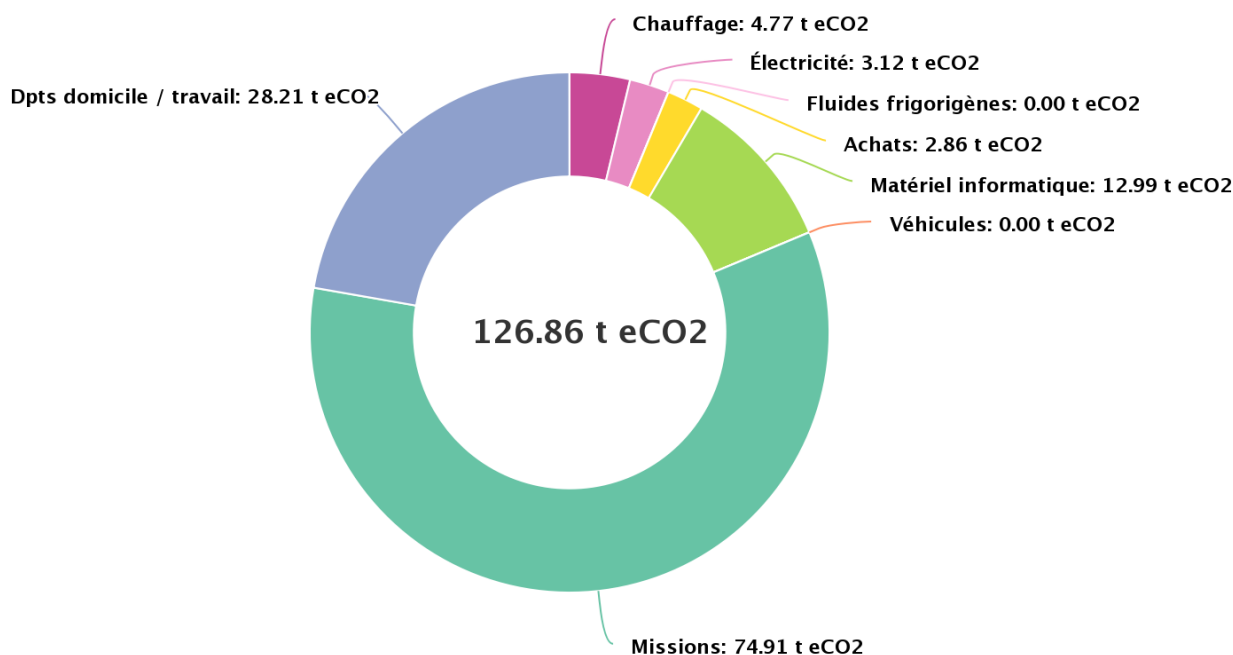


FIGURE 10 – Bilan carbone en tonne équivalent CO2 du CRIL pour 2022

Il ressort de ce bilan que les missions (en particulier, les déplacements pour participer à des congrès) contribuent le plus au bilan carbone du CRIL. Les CRILiennes et CRILiens sont invité(e)s à privilégier le train à l'avion quand cela est possible et a du sens (en particulier, parce que le temps de transport et le coût du transport en Europe est souvent bien plus élevé quand on choisit de se déplacer en train).

Risques psycho-sociaux Le principal risque psycho-social perçu dans l'unité est dû à la croissance de la bureaucratie dans le système ESR, en dépit du « choc de simplification » promis depuis 2013 par la puissance publique, mais que nous n'avons nullement aperçu jusqu'ici (bien au contraire!). La lourdeur de cette bureaucratie, l'utilisation de logiciels mal conçus (comme le trop fameux triptyque Etamine-Notilus-Goelett), le fait de devoir respecter des protocoles surannés, inadaptés à la réalité et à la temporalité de la pratique de la recherche aujourd'hui, tout cela crée une perte de temps et d'énergie, une fatigue importante, une démotivation et un risque de *burn-out* très clair chez certain(e)s (en particulier, nos gestionnaires qui sont à l'interface des CRILiennes et CRILiens et de l'administration et reçoivent bien souvent le stress des autres membres de l'unité quand rien ne fonctionne comme on pourrait s'y attendre). Il est largement temps que l'État se rende compte que le temps que les personnels académiques passent à réaliser des tâches administratives les écarte de leurs missions premières (créer de nouveaux savoirs et, pour les enseignants-chercheurs et enseignantes-chercheuses, transmettre des connaissances). Alléger significativement ces tâches conduirait sans l'ombre d'un doute à

une recherche plus performante, sans que cela coûte un sou de plus. A contrario, nous pensons que vouloir transformer les académiques en *neo-managers* qui seraient conduits à réaliser des tâches pour lesquels ils / elles ne disposent pas de compétences spécifiques et les détourner ainsi de leur vocation est une grave erreur.

Synthèse de l'autoévaluation du domaine 1

Les questions de recherche étudiées au CRIL entre 2018 et 2023 nous semblent scientifiquement pertinentes. En particulier, l'IA explicable (XAI), au centre du projet scientifique de l'unité, a été, est et va sans doute rester une problématique à enjeu important, avec le développement tous azimuts d'applications utilisant des technologies d'IA et tout particulièrement, des modèles d'apprentissage automatique. L'expertise du CRIL permet d'aborder la question de l'explication d'un point de vue relativement original et de développer des méthodes et outils logiciels pour l'IA explicable offrant des garanties de performance. L'IA au service d'autres disciplines (AI4*), incluant l'IA explicable comme un de ses volets, est une thématique en plein essor et à fort impact. Elle a permis au CRIL de développer plus avant des recherches appliquées et de nouer de nouvelles collaborations. Les thèmes abordés répondent aux demandes des tutelles et s'inscrivent pleinement dans les directions de recherche promues dans l'écosystème ESR du site (en particulier, l'alliance A2U). L'organisation de l'unité, en trois axes maintenant, répond bien aux besoins ressentis. Les moyens offerts par les tutelles et ceux obtenus via le montage de divers projets financés ont permis d'obtenir des résultats que nous pensons intéressants. La période 2018-2023 a enfin permis à l'unité de formaliser et mettre en place diverses règles de fonctionnement et de partage des ressources qui conviennent au plus grand nombre et pourront être pérennisées.

Domaine 2. Attractivité

Référence 1. L'unité est attractive par son rayonnement scientifique et s'insère dans l'espace européen de la recherche. Le rayonnement scientifique de l'unité, au niveau national et international, est assurément dû à la qualité de sa production scientifique (les supports de publications choisis, les logiciels développés) décrite plus loin dans ce document. Ce rayonnement se traduit par la participation de membres de l'unité à diverses instances d'évaluation de la recherche (en particulier, pour l'ANR ou le HCERES) mais aussi à des comités éditoriaux de revues et aux comités de programme de conférences de référence du domaine (dont le détail sera donné dans les sections du document relatives aux axes). S'ajoutent à cela des conférences invitées, l'organisation de manifestations scientifiques ou encore l'établissement de collaborations internationales dans un cadre contractuel.

Participation à des instances d'évaluation de la recherche

- 2023 : Zied Bouraoui et Sébastien Konieczny ont été membres du Comité d'Evaluation de l'ANR CE23 : Intelligence Artificielle.
- 2023 : Sébastien Konieczny a été membre du jury du Prix informatique Lovelace-Babbage de l'Académie des Sciences en partenariat avec la Société Informatique de France. Ce prix récompense une jeune chercheuse et un jeune chercheur (moins de 40 ans ou moins de 12 ans depuis la thèse).
- 2022 : Pierre Marquis a été membre du Comité d'Evaluation de l'ANR CE23 : Intelligence Artificielle et du comité ANR - JST CREST (Japon) pour la thématique : *Trusted Quality AI Systems*.
- 2022 : Salem Benferhat a été membre du Comité d'Evaluation de l'ANR pour l'appel à projets bilatéral franco-allemand en intelligence artificielle (MESRI-BMBF).
- 2020 : Sébastien Konieczny a été membre du Comité d'Evaluation de l'ANR pour l'appel Trilatéral France-Allemagne-Japon en IA.
- De 2018 à 2023, Christophe Lecoutre a été membre nommé du CNU section 27.
- De 2019 à 2023, Daniel Le Berre a été membre nommé du conseil scientifique de l'INS2I.
- De 2016 à 2021, Pierre Marquis a été membre nommé de la commission interdisciplinaire 53 « Méthodes, pratiques et communications des sciences et des techniques » du Comité National de la Recherche Scientifique.
- Depuis 2022, Anastasia Paparrizou est membre élue de la section 6 (informatique) du Comité National de la Recherche Scientifique.
- Depuis 2022, Daniel Le Berre est membre du collège « codes sources et logiciels » du comité pour la science ouverte (CoSO). En 2022, il a présidé le jury du premier prix science ouverte du logiciel libre de recherche du

CoSO.

- Depuis 2008, Pierre Marquis est membre du groupe d'experts scientifiques externes de la mission Europe et international pour la recherche, l'innovation et l'enseignement supérieur (MEIRIES) du MESRI.
- Christophe Lecoutre a été président du comité de visite HCERES du LERIA en 2021 et membre des comités de visite HCERES du LAMSADE (2023), du LIMOS (2019), du LIASD (2019). Gilles Audemard a été membre du comité de visite HCERES de l'IRIT (Toulouse) en 2019. Frédéric Koriche a été membre et Pierre Marquis a été président du comité de visite HCERES du LIG en 2019.
- En 2019, en 2020 et en 2021, Pierre Marquis a été membre de l'*EurAI Fellows Selection Committee* (le comité – 6 personnes – fut en charge de la sélection des EurAI Fellows parmi les candidats proposés par les sociétés savantes participant à l'EurAI ou par plusieurs EurAI Fellows).

Conférences invitées à des conférences ou écoles de portées internationales

- En avril 2023, Gilles Audemard a donné un exposé invité « *Computing explanations for tree-based classifiers* » au *Workshop on Machine Learning, Interpretability, and Logic* organisé par l'institut Ideal à Chicago.
- En octobre 2022, Salem Benferhat a été conférencier invité à la conférence FATIL'22 (*The First International Conference on Foundations, Applications, and Theory of Inductive Logic*) qui s'est tenue à Munich.
- En août 2022, Pierre Marquis a donné une présentation invitée (« *Rectifying Classifiers* ») suite à une invitation conjointe des ateliers NMR'22 et DL'22 organisés dans le cadre de la conférence FLoC'22 à Haïfa.
- En juin 2022, Zied Bouraoui a donné un cours (« *Integrating Ontologies and Vector Space Embeddings Using Conceptual Spaces* ») dans le cadre de l'école « *International Research School in Artificial Intelligence in Bergen (AIB'22)* »
- En octobre 2021, Gilles Audemard a donné un cours invité « *SAT solver essentials, SAT modeling and algorithms* » à la *Summer School on Verification Technology, Systems & Applications* tenue à Liège.
- En septembre 2019, Daniel Le Berre a donné une conférence invitée « *SAT Oracles, for NP-Complete Problems and Beyond* » à la conférence SPLC'2019 tenue à Paris.
- En octobre 2018, Salem Benferhat a été conférencier invité à la conférence SUM'18 (*The 12th International Conference on Scalable Uncertainty Management*) qui s'est tenue à Milan.
- En juillet 2018, en collaboration avec Adnan Darwiche (UCLA), Pierre Marquis a donné un tutoriel invité « *Recent Advances in Knowledge Compilation* » à la conférence IJCAI-ECAI'18, qui s'est tenue à Stockholm.
- En juillet 2018, Gilles Audemard a donné un cours invité « *Introduction to SAT* » à la *SAT Summer School* qui s'est tenue à Manchester.

Organisation de manifestations scientifiques internationales

- En 2023, Zied Bouraoui et Srdjan Vesic ont été co-présidents du comité de programme et d'organisation de la conférence internationale *17th European Conference on Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty (ECSQARU'23)*, qui s'est tenue à Arras.
- En 2023, Salem Benferhat a co-organisé le workshop Enigma@KR2023 (*1st Workshop on AI-driven heterogeneous data management : completing, merging, handling inconsistencies and query-answering*), qui s'est tenu à Rhodes.
- En 2023, Stefan Mengel a organisé le workshop international *Probabilistic Circuits and Logic*, dans le cadre du programme semestriel *Logic and Algorithms in Database Theory and AI* du *Simons Institute for Theory of Computing*, Berkeley, US.
- En 2020, Karim Tabia a été co-président du comité de programme de la conférence internationale SUM'20 prévue du 23 au 25 septembre 2020 à Bozen-Bolzano en Italie mais qui s'est tenue en ligne pour cause de pandémie.
- En 2020, Pierre Marquis a co-organisé une édition du workshop international GKR (*6th International Workshop on Graph Structures for Knowledge Representation and Reasoning – GKR'20*) dans le cadre de la conférence ECAI'20, prévue à St Jacques de Compostelle et qui s'est finalement tenue en ligne.
- En 2020, Stefan Mengel a co-organisé le *Workshop on Model Counting (MCW-2020)* affilié à la conférence SAT 2020 (événement en ligne pour cause de pandémie).
- En 2019, dans le cadre d'un projet appelé KOCOON (*KnOwledge COmpilatiOn Network*) visant à bâtir un réseau international de recherche, Pierre Marquis a co-organisé avec des collègues lillois un séminaire international de recherche à Arras portant sur la compilation de connaissances.

- En 2018, Gilles Audemard et Christophe Lecoutre ont été co-présidents du comité d'organisation de la conférence internationale CP'18 (la conférence de référence en programmation par contraintes).
- En 2018, Stefan Mengel a organisé le workshop *Graphs and Constraints*, affilié avec la conférence CP 2018.
- De 2018 à 2023, Daniel Le Berre a co-organisé avec Matti Järvisalo (University of Helsinki) le workshop « *Pragmatics of SAT* » dans le cadre de la conférence SAT.

Collaborations internationales contractualisées

- Depuis 2023, Srdjan Vesic est responsable du projet **SURFING** (*PhD joint project* entre le CNRS et l'Université d'Arizona). Voir aussi <https://www.ins2i.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/entre-le-cnrs-et-luniversite-darizona-un-projet-sur-le-traitement-automatique-des-debats>
- En 2022 et 2023, Srdjan Vesic a été porteur du projet RHAPSSODY (projet IEA *International Emerging Action* entre le CNRS et l'université d'Arizona).
- En 2023, Srdjan Vesic a été porteur du projet bilatéral PHC Pavle Savic SATTORI « *Studying human compliance with argumentation principles : creating a rational-based framework for overcoming polarisation* »), avec l'université de Belgrade.
- Depuis 2020, Pierre Marquis est porteur pour le CRIL de l'*International Research Project* CNRS appelé **MAKC** (« *Modern Approaches to Knowledge Compilation* »), conduit en collaboration avec l'*Automated Reasoning Group* de UCLA.
- En 2021, l'accord cadre (MOU) liant le CRIL au *National Institute of Informatics (NII)* à Tokyo a été renouvelé pour cinq ans.
- En 2018-19, Pierre Marquis a été porteur pour le CRIL du projet bilatéral PHC BARRANDE France / République Tchèque **KC4CP** sur la compilation de connaissances pour la programmation par contraintes (avec Ondřej Čepek, Roman Barták, Petr Kučera et Miloš Chromý, Université Charles de Prague).
- En 2018-19 et 2019-20, Saïd Jabbour a été porteur d'un projet PHC TASSILI avec l'Algérie, portant sur la fouille de données par contraintes.
- En 2019-20, Ivan Varzinczak a été porteur d'un projet PRC Royal Society (« *Non-Classical Reasoning for Enhanced Ontology-based Semantic Technologies* ») avec le Royaume-Uni.

Prix nationaux et internationaux Divers prix scientifiques ont été décernés à des CRILiennes ou des CRILiens entre 2018 et 2023 pour l'impact de leurs travaux (les prix internationaux obtenus pour des publications ou encore des logiciels développés sont présentés dans les sections décrivant les axes).

- En 2022, Pierre Marquis a été nommé *AAIA Fellow*.
- En 2021, Gilles Audemard a reçu, avec 20 autres chercheurs, le **prix CAV** pour ses contributions pionnières aux fondements de la théorie et de la pratique de la satisfiabilité des modulo théories (SMT).
- En 2018, Ivan Varzinczak a reçu le prix de logique Louis Couturat.
- En 2018, Daniel Le Berre a reçu **la médaille de l'innovation du CNRS**.

En 2017, Pierre Marquis a été nommé membre senior de l'**Institut Universitaire de France** pour cinq ans. Il est membre honoraire de cet institut depuis 2022.

Référence 2. L'unité est attractive par la qualité de sa politique d'accompagnement des personnels. Le CRIL apporte un soutien financier notable aux chercheurs et chercheuses qui intègrent l'unité, quels que soient leurs statuts (permanents ou non). Ce soutien, pris sur les moyens communs, se traduit par l'équipement des bureaux, la mise à disposition d'ordinateurs et évidemment l'accès aux ressources mutualisées de l'unité (dont le cluster de calcul). Pour les nouveaux personnels qui ne peuvent profiter de ressources supplémentaires (par exemple, les doctorant(e)s), le financement de missions est également possible. La direction de l'unité incite aussi les nouveaux arrivés à déposer des projets dans le cadre du BQR de l'université ou de l'appel unique de CNRS Sciences Informatiques pour bénéficier de moyens additionnels qu'ils ou elles pourront gérer directement. La politique du CRIL concernant l'attribution de financements de thèse sur les moyens communs favorise aussi naturellement les nouveaux personnels par la règle de classement des demandes qui est en vigueur.

La direction du CRIL s'efforce également de satisfaire les demandes émanant des personnels d'appui ou de support à la recherche, en particulier quand il s'agit d'améliorer leurs conditions de travail. Elle appuie systématiquement leurs demandes de formation et soutient aussi leurs demandes de promotion auprès de la tutelle qui les emploie. Les ingénieurs de recherche de la cellule support participent aux publications issues des travaux auxquels ils ont contribué et ils participent également aux encadrements de thèse.

En plus du dispositif national de décharge de 32h eq. TD lors de l'année du stage (renouvelable pendant les cinq années suivantes), l'université d'Artois a mis en place, localement, la possibilité d'une décharge de 48h eq. TD renouvelable sur demande pour les maîtresses et maîtres de conférences nouvellement recrutés et a satisfait toutes les demandes. Par ailleurs, l'université d'Artois a mis en place un dispositif de soutien aux jeunes chercheurs en accordant un financement de 5k€ aux porteurs de projets ANR JCJC sélectionnées en première phase et non retenus, pour peu que les porteurs s'engagent à redéposer un projet l'année suivante. Deux jeunes chercheurs du CRIL (un CR CNRS et un MCF) ont bénéficié de ce dispositif pendant la période de référence.

La pandémie a été un frein important à l'accueil au CRIL de chercheurs invités. Néanmoins, pour ce qui est des séjours « longs », nous avons pu accueillir :

- Takehide Soh, de l'université de Kobé, spécialiste de l'encodage de problèmes combinatoires en SAT. Takehide Soh a passé un an au sein du CRIL de septembre 2017 à août 2018. Durant son séjour, il a bénéficié des compétences de l'axe contraintes pour concevoir et réaliser le solveur de contraintes **fun-sCOP** qui a gagné la compétition XCSP³ en 2018, et est arrivé second en 2019, 2022 et 2023.
- Jérémie Bottieau, post-doctorant à l'université de Mons. Jérémie Bottieau a effectué des séjours réguliers au CRIL durant l'année universitaire 2022/23. Jérémie a travaillé avec nous sur des questions d'IA explicable dans le contexte de la prédiction du prix de déséquilibre de l'électricité. Un article décrivant le travail réalisé par Jérémie vient d'être accepté à un congrès international de référence dans le domaine de la production électrique (PSCC'24).
- Ramón Pino-Pérez, enseignant-chercheur vénézuélien, a été accueilli au sein du CRIL en 2020/2021 et 2021/2022 comme professeur invité grâce au programme **PAUSE** du Collège de France. Il occupe depuis la rentrée 2023 un poste de chercheur dans le cadre de la chaire BE4musIA.

Référence 3. L'unité est attractive par la reconnaissance de ses succès à des appels à projets compétitifs.

Comme déjà évoqué, entre 2018 et 2023, le CRIL a été fortement impliqué dans le montage et/ou la participation au montage de projets soumis à des appels compétitifs. Depuis 2018, les succès ont été nombreux et concernent les projets suivants :

- projet PIA4 ExcellenceS MAIA (« Maîtrise des Applications de l'IA ») porté par l'université d'Artois pour l'alliance A2U et dirigé par Christophe Lecoutre (démarré en 2023 pour 10 ans)
- projets européens
 - STARWARS (STormwAteR and WastewAteR networkS heterogeneous data AI-driven management, 2023-2026). STARWARS est un projet européen Horizon Europe porté par Salem Benferhat et regroupant 8 partenaires en Europe, Asie et Afrique. L'objectif principal de ce projet multidisciplinaire est de proposer de nouvelles approches pour la gestion des données hétérogènes dans les réseaux d'eaux pluviales et d'eaux usées
 - TAILOR (Foundations of Trustworthy AI – Integrating Reasoning, Learning and Optimization, 2020-2024). TAILOR est un projet européen H2020 centré sur l'IA de confiance et lauréat de l'appel ICT-48-2020 "Towards a vibrant European network of AI excellence centres". TAILOR regroupe 55 partenaires (industriels et académiques) à travers l'Europe. L'objectif du projet TAILOR est de développer les bases scientifiques d'une IA digne de confiance en Europe, en construisant un réseau de centres d'excellence en recherche exploitant et combinant l'apprentissage, l'optimisation et le raisonnement
- collaborations internationales sous l'égide du CNRS
 - financement de thèse CNRS SURFING (uSing argUmentation foR Fact-checkING) 2023-2026 (porté par Srdjan Vesic)
 - CNRS IRP MAKC (Modern Approaches to Knowledge Compilation) 2020-2024 (porté par Pierre Marquis)
 - CNRS IEA RHAPSSODY (Théorie de l'argumentation et traitement du langage naturel pour la démocratie participative) 2022-2023 (porté par Srdjan Vesic)

- projet joint CNRS et FACEPE (Reconciling Description Logic and Non-Monotonic Reasoning in the Legal Domain) 2017-2019 (porté par Ivan Varzinczack)
- projets internationaux bilatéraux
 - projet AFD ERA (Produire des connaissances nouvelles en matière de justice juvénile et de santé mentale) 2022-2025 (porté par Lakhdar Saïs)
 - projet PRC Royal Society (Non-Classical Reasoning for Enhanced Ontology-based Semantic Technologies) 2019-2020 (porté par Ivan Varzinczack)
 - ANR PRCI EQUUS (Efficient Query answering Under UpdateS) 2020-2024 (porté par Stefan Mengel)
 - projet PHC TASSILI (fouille de données par contraintes) 2018-2020 (porté par Saïd Jabbour)
 - projet PHC Barrande France / République Tchèque KC4CP (Knowledge compilation for constraint programming) 2017-2018 (porté par Pierre Marquis)
- chaires d'enseignement et de recherche en IA
 - ANR CHAIRE IA BE4musIA 2020-2025 (Sébastien Konieczny)
 - ANR CHAIRE IA EXPEKCTATION 2020-2025 (Pierre Marquis)
- projets ANR
 - terminés : ANR PRC PING/ACK 2019-2023 (porté par Pierre Marquis), ANR PRC SATAS 2016-2020
 - encore en cours : ANR JCJC ERIANA 2023-2027 (porté par Zied Bouraoui), ANR PRC EXPIDA 2023-2027 (porté par Saïd Jabbour), ANR PRC AGGREEY 2023-2026 (porté par Srdjan Vesic), ANR PRCE BLaSST 2022-2027, ANR PRC CROQUIS 2022-2026 (porté par Salem Benferhat), ANR PRC HYCI 2022-2026, ANR PRC THEMIS 2021-2025, ANR PRC POSTCRYPTUM 2021-2025
- projets CNRS
 - EMERGENCE INS2I BAUTOM 2020 (Bandits as an AUTOnomous Machine) (porté par Anastasia Paparrizou)
 - PEPS INS2I MODERN 2019 (Fusionner des sources distribuées pour améliorer questions-réponses) (porté par Zied Bouraoui)
 - PEPS I3A DL4DS 2018 (Deep Learning 4 Deep Solving) (porté par Frédéric Koriche)
 - PEPS S2IH APOLONIO 2018 (Argument Patterns in computer supported cOllaborative LearNIing) (porté par Srdjan Vesic)
 - QDoSSI - CNRS (Qualité des Données multi-Sources, un double défi pour les sciences Sociales et les sciences de l'Informatique), Défi Mastodons 2016-2018 (porté par Lakhdar Saïs)
- contrats de plan Etat / Région
 - CPER CornellIA 2022-2027 (suivi par Christophe Lecoutre)
 - CPER Data 2015-2022 (suivi par Christophe Lecoutre)
- contrats industriels
 - contrat de collaboration VITAL Equipement (production de schémas décisionnels pour atteindre l'efficacité économique, sociétale et environnementale en matière de management de parcs de bâtiments et des infrastructures associées, en milieux urbains et péri-urbains) (porté par Jean-Marie Lagniez)
 - projet PINTE (exPlications INTElligibles) avec l'IRT SystemX 2022-2023 (porté par Pierre Marquis)
 - contrat de collaboration avec Exakis Nelite et le Groupe ADP (prédiction et optimisation de ressources aéroportuaires) 2022-2023 (porté par Bertrand Mazure)

Comme déjà mentionné également, de façon à monter en puissance en apprentissage automatique et répondre aux remarques reçues suite à notre dernière évaluation, le CRIL a aussi financé sur les moyens communs un IR (financement en CDD sur fonds propres entre octobre 2022 et décembre 2023) et il finance depuis la rentrée 2022-2023 une thèse en apprentissage automatique portant sur l'apprenabilité de circuits interprétables.

Référence 4. L'unité est attractive par la qualité de ses équipements et de ses compétences techniques. Le CRIL dispose d'un cluster de calcul permettant d'assurer l'évaluation expérimentale des logiciels issus de ses travaux. Les premiers ordinateurs constituant ce cluster ont été acquis en 2005/2006. Le premier impact visible de cet équipement a été le développement du solveur SAT Glucose en 2009, qui est resté pendant plusieurs années l'état de l'art du domaine. Comme déjà indiqué, outre l'évaluation interne des logiciels développés au CRIL, ce matériel est régulièrement utilisé pour organiser des compétitions internationales de solveurs (en particulier, les compétitions XCSP³ et celle d'argumentation qui se sont tenues durant la période d'évaluation).



FIGURE 11 – Le cluster de calcul du CRIL en 2022

Les ordinateurs formant initialement le cluster ont été arrêtés fin 2017. Le cluster de calcul contenait alors uniquement des nœuds de calculs destinés à une comparaison de programmes dans des conditions logicielles et matérielles identiques ; il s'agissait de trois ensembles d'ordinateurs strictement identiques acquis depuis 2009 :

- 52 nœuds bi-CPU Intel Xeon X5550 2,66Ghz 4 cores, 32Go (seuls 14 sont encore actifs)
- 34 nœuds bi-CPU Intel Xeon E5-2643 3,30Ghz 4 cores, 64Go

Le CRIL disposait aussi de deux machines dédiées à la résolution de problèmes en parallèle, avec 32 cœurs : 2 nœuds quad-CPU Intel Xeon X7550 2,00Ghz 8 cores, 256Go.

En 2018, le CRIL a pu acquérir, grâce au CPER Data, du matériel supplémentaire : 36 nœuds bi-CPU Intel Xeon E5-2637 v4 3,50Ghz 4 cores, 128Go.

Du matériel spécifique à l'apprentissage automatique (ordinateurs avec GPU) et au traitement de masses de données (ordinateurs avec beaucoup de mémoire) a été acquis grâce à une dotation spécifique de l'université (2018) et une dotation obtenue par l'université lors de son COP avec le MESRI (2020) :

- 2 nœuds quad-CPU Intel Xeon Gold 6148 2,4Ghz 20 cores, 768Go, 11,52To SSD
- 5 nœuds quad-CPU Intel Xeon Gold 6248 2,5Ghz 20 cores, 768Go, 13,44To SSD
- 1 nœuds bi-CPU Intel Xeon Gold 6126 2,6Ghz 12 cores, 192Go, 3 GPU NVidia Tesla P100 16Go
- 2 nœuds bi-CPU Intel Xeon Gold 6226R 2,9Ghz 16 cores, 512Go, 4 GPU NVidia RTX 8000 48Go

Les CRILiennes et CRILiens utilisent aussi, chaque fois que cela a du sens, des moyens mutualisés comme le supercalculateur Jean Zay du CNRS. C'est notamment le cas quand des besoins importants en GPU sont nécessaires. Les trois ordinateurs avec GPU disponibles permettent de tester localement à petite échelle son travail avant de le déployer sur Jean Zay pour une étude expérimentale plus massive.

Durant la période de référence, le cluster de calcul du CRIL a été complètement réorganisé pour utiliser le même outil de gestion des ressources que Jean Zay : SLURM. Cela permet au laboratoire de disposer d'un outil d'administration de ses ressources de calcul qui est plus précis qu'auparavant, et de faciliter le passage du cluster local à une ressource mutualisée comme Jean Zay.

Le cluster de calcul du CRIL est géré par François Chevallier, épaulé d'Emmanuel Lonca. A partir de 2024, ils seront secondés par Alain Kemgué.

Notons enfin que le cluster de calcul du CRIL est mutualisé avec d'autres laboratoires de l'université, en particulier les laboratoires UCCS, LML et LGI2A.

Par ailleurs, le CRIL bénéficie de la forge logicielle interne de l'université d'Artois, qui existe depuis 2013. Il s'agit d'une instance du logiciel GitLab qui a été installée au départ pour l'enseignement en informatique et qui est aussi utilisée pour la recherche depuis que les fonctionnalités de l'outil sont devenues suffisantes en 2015. Tous les personnels et étudiants de l'université peuvent y accéder. Des comptes invités peuvent être créés à la demande. L'infrastructure de la forge actuelle a été mise en place en 2019, pour faire face au nombre croissant d'utilisateurs, et faciliter sa mise à jour mensuelle. Elle gère actuellement près de 13000 projets et 2000 utilisateurs. Les membres du CRIL sont encouragés à utiliser cet outil pour leur développement logiciel et l'écriture de leurs articles. La direction du CRIL utilise cet outil pour la gestion quotidienne du laboratoire. La rédaction de ce document a bénéficié de cet outil.

Synthèse de l'autoévaluation du domaine 2

L'attractivité du CRIL par son rayonnement scientifique constitue un des points forts de l'unité depuis longtemps et nous pensons que la visibilité du laboratoire, comme reflétée par les conférences invitées qui ont été données, la participation à de nombreux comités de programme ou éditoriaux, l'organisation de manifestations, les collaborations mises en place, ou encore les prix reçus, n'a pas diminué pendant la période 2018-2023. Les succès à des appels à projets compétitifs ont été nombreux depuis 2018, beaucoup plus nombreux que ceux obtenus lors du précédent contrat. Les équipements techniques ont été complétés et adaptés pour mieux répondre aux besoins actuels de l'unité.

Domaine 3. Production scientifique

Référence 1. La production scientifique de l'unité satisfait à des critères de qualité. Le CRIL est un laboratoire reconnu internationalement pour ses travaux et ses développements logiciels dans son domaine de recherche. Les chiffres montrent que l'activité de production scientifique du CRIL (publications et logiciels) a été soutenue pendant la période qui s'achève, en dépit de la pandémie. Avant de les présenter, débutons par le rappel d'un fait : il est bien connu que les communautés de chercheuses / chercheurs relevant de sous-domaines distincts de l'informatique ont des pratiques de publication qui diffèrent. Ainsi, les chercheuses / chercheurs en intelligence artificielle publient typiquement beaucoup plus dans les **actes de conférences** que dans des revues. Les CRILiennes et CRILiens, en tant que chercheuses / chercheurs en intelligence artificielle, se conforment aux usages de leur communauté scientifique.

Sur un plan quantitatif, le dernier décompte des publications du CRIL réalisé le 16/4/2024 indiquait 68 articles dans des revues internationales et 240 communications dans les actes de conférences internationales. Leur répartition par année est visible sur la figure 12. L'ensemble représente 308 publications internationales, ce qui pour 32 chercheurs / chercheuses ou enseignants-chercheurs / enseignantes-chercheuses permanents et pour une période d'évaluation de 6 ans donne un taux de publication internationale supérieur à 1,6 par CRILien et par an (à rapprocher du taux plancher de 0,5 par enseignant-chercheur et par an ou de 1 par chercheur et par an, qui étaient fournis dans le passé par le MESR comme des valeurs repère pour déterminer qui est produisant et qui ne l'est pas).

La figure 13 indique année par année la proportion des publications internationales qui impliquaient au moins un(e) doctorant(e) parmi les co-auteurs.

Pour ce qui est de la qualité, depuis la création de l'unité il y a trente ans, les CRILiennes et les CRILiens se sont toujours efforcés de **publier leurs résultats dans des revues et conférences internationales de premier plan**, reconnues pour leur qualité depuis longtemps et notées A* ou A dans des classements comme CORE. Notons qu'au CRIL nous sommes peu fans de classements (CORE ou autres) et plus généralement de bibliométrie, à cause des effets négatifs que son usage induit, comme le saucissonnage des résultats qui conduit à des publications tellement nombreuses qu'il n'est plus possible de les lire et à une focalisation des travaux de recherche sur des sujets « à la mode », qui collectent plus de citations que les autres, ce qui conduit au niveau global à un rétrécissement du spectre et une perte d'originalité. Nous avons conscience malgré tout qu'il ne faut pas se voiler la face et qu'il existe malheureusement des revues et des conférences prédatrices ; il importe donc d'avoir une réflexion sur les supports de publication que l'on vise et choisir ceux-ci en fonction de leur réputation mais aussi de données objectives (comme le nombre de papiers soumis, le taux d'acceptation, le processus

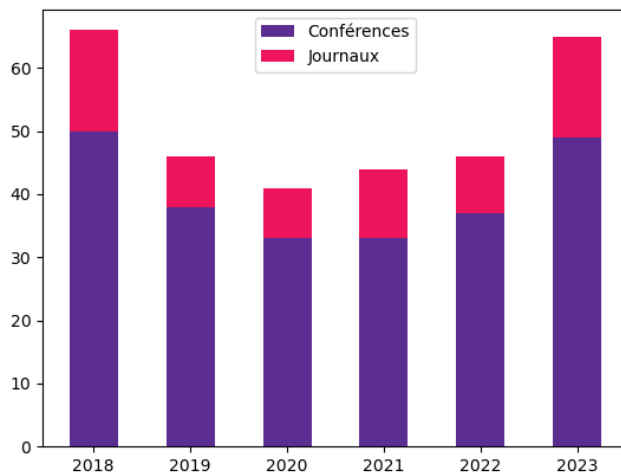


FIGURE 12 – Publications internationales pendant la période 2018-2023

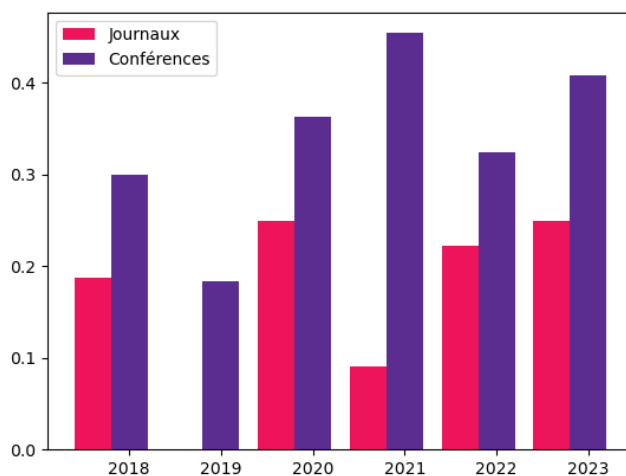


FIGURE 13 – Proportions des publications internationales des doctorants 2018-2023

d'évaluation en double aveugle, etc.). Si tout classement mérite d'être relativisé, le classement CORE a le double avantage d'être à la fois en phase avec notre perception des meilleures revues et des conférences internationales du domaine, et d'avoir été proposé par d'autres (nous évitant ainsi de devoir justifier la pertinence d'un classement *ad hoc*). Notons enfin que les CRILiennes et CRILiens ne négligent pas non plus les ateliers spécialisés, qui sont des lieux de rencontre et de discussion importants, et les conférences francophones en IA (fort utiles pour permettre à nos doctorant(e)s de se forger un réseau).

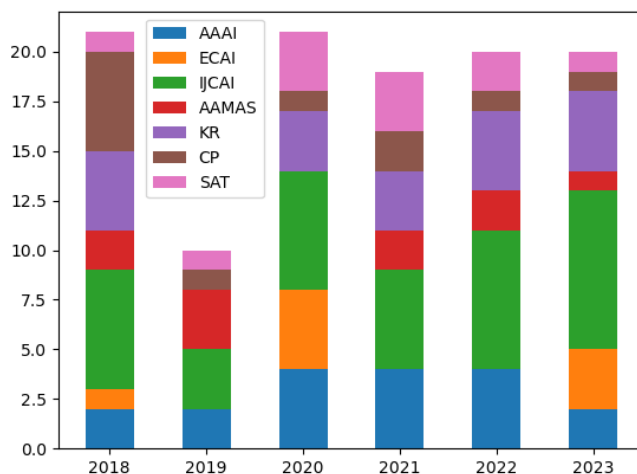


FIGURE 14 – Publications 2018-2023 dans une sélection de conférences internationales

Pendant la période de référence 2018-2023, le bilan des publications réalisé fait état de 35 communications à IJCAI (plaçant le CRIL comme premier laboratoire national pour ce critère), 18 communications à KR, 14 à AAI, 11 à SAT, 10 à AAMAS, 10 à CP, 6 à ECAI. Le contenu d'une sélection de ces papiers et des logiciels développés est décrite dans la suite du rapport (dans les sections relatives aux axes), avec une présentation des diverses publications et logiciels qui ont été primés. Dans la suite de cette section, on se contente de décrire les principaux résultats obtenus concernant chacune des deux actions transverses.

IA explicable (XAI) Parmi les travaux réalisés en IA explicable au CRIL entre 2018 et 2023, figurent ceux développés dans le cadre de la chaire ANR d'enseignement et de recherche **EXPEKCTATION**. EXPEKCTATION concerne le développement d'approches d'IA explicable pour un apprentissage automatique interprétable et robuste, en utilisant des méthodes de raisonnement automatisé à base de contraintes, en particulier la compilation de connaissances. Un point clé de l'approche suivie, à base de méthodes formelles, est de fournir des garanties de correction des opérations réalisées. Par exemple, d'assurer que les explications produites sont correctes, dans le sens où elles rendent compte avec exactitude du comportement du modèle d'apprentissage considéré. Ces garanties sont fondamentales quand on veut utiliser un tel modèle dans une application à caractère sensible. Pour les assurer, on associe au modèle une fois appris un circuit qui a le même comportement que le modèle en termes d'entrées / sorties. On peut alors utiliser ce circuit en lieu et place du modèle pour réaliser des traitements d'IA explicable.

Les travaux réalisés depuis le début du projet EXPEKCTATION en 2020 ont concerné plusieurs questions de recherche et ont permis d'aboutir à la mise en évidence de solutions adaptées à ces questions. Voici les principales questions de recherche abordées jusqu'ici dans le projet :

- Formaliser le niveau de confiance de familles de classeurs par un ensemble de requêtes XAI traitables : nous avons identifié un ensemble de requêtes d'explication et un ensemble de requêtes de vérification de systèmes de classement. Ouvrir la boîte noire correspondant à la famille de classeurs considérée, c'est précisément disposer

- d'algorithmes efficaces pour répondre à ces requêtes. L'ensemble des requêtes traitables obtenues peut être vu comme une caractérisation multicritère de l'interprétabilité computationnelle de la famille de classeurs étudiée (Audemard, Koriche et Marquis, 2020).
- Calculer ce niveau de confiance pour diverses familles de classeurs : nous avons déterminé parmi un vaste ensemble de requêtes XAI celles qui sont traitables pour diverses familles de classeurs booléens, incluant les arbres de décision, les forêts aléatoires, les formules DNF, les listes de décision, les perceptrons booléens multicouches et les réseaux de neurones binaires. Les arbres de décision connus pour leur capacité à expliquer simplement le classement opéré se démarquent des autres familles de classeurs étudiés par le fait que toutes les requêtes XAI considérées sont traitables pour les arbres de décision, alors qu'aucune d'entre elles n'est traitable pour les autres familles analysées (Audemard, Bellart, Bounia, Koriche, Lagniez et Marquis, 2021).
 - Définir et étudier du point de vue logique et computationnel une notion de quantification universelle des littéraux en logique booléenne quantifiée, qui est centrale pour répondre à diverses questions d'IA explicable pour les modèles d'apprentissage que l'on peut représenter sous forme de circuits logiques (Darwiche et Marquis, 2021).
 - Définir des notions d'explications abductives adaptées aux forêts aléatoires et aux arbres boostés : calculer une explication abductive irredondante d'un classement réalisé, aussi appelée raison suffisante de ce classement, est difficile pour les forêts aléatoires ou les arbres boostés et l'est encore plus quand on se focalise sur les explications de taille minimale. Pour pallier cette difficulté, nous avons introduit de nouvelles notions d'explications abductives adaptées aux forêts aléatoires ou aux arbres boostés. Nous avons présenté des algorithmes en temps polynomial pour calculer de telles explications. Nous avons également montré empiriquement la possibilité de dériver des explications de tailles plus petites que celles des raisons suffisantes que l'on arrive à dériver en pratique avec les algorithmes existants (Audemard, Bellart, Bounia, Koriche, Lagniez et Marquis, 2022b ; Audemard, Lagniez, Marquis et Szczepanski, 2023a).
 - Montrer comment on peut utiliser des préférences utilisateurs (de types variés) pour focaliser le calcul d'explications abductives pour des modèles à base d'arbres (arbres de décision, forêts aléatoires) à celles qui sont préférées. Cette focalisation permet parfois d'énumérer toutes les explications intéressantes dans de situations où il serait impossible d'énumérer toutes les explications abductives irredondantes ou simplement leur sous-ensemble formé des explications abductives de taille minimale, à cause du nombre de telles explications (Audemard, Bellart, Bounia, Koriche, Lagniez et Marquis, 2022a).
 - Étudier la possibilité de traduire (i.e., compiler) en temps polynomial ou en espace polynomial des modèles d'apprentissage en modèles d'apprentissage d'un autre type. Par exemple, une forêt aléatoire en arbre de décision, ou un perceptron multicouche en arbre boosté. Nous avons obtenu une carte des compilations possibles en temps ou en espace polynomial entre diverses familles de modèles d'apprentissage. Cette carte peut être exploitée pour profiter des méthodes d'IA explicable développées pour une famille cible quand le modèle considéré n'appartient pas à cette famille mais peut être compilé efficacement en un modèle de cette famille (de Colnet et Marquis, 2023).
 - Proposer des algorithmes efficaces pour le calcul et l'évaluation d'explications abductives pour des arbres boostés utilisés dans un cadre de régression. Un intervalle de valeurs possibles pour la prédiction, représentant l'incertitude acceptable par l'utilisateur, est ici exploité pour calculer des explications. Plus l'intervalle est large plus la taille des explications produites est réduite. L'évaluation d'une explication vise à déterminer le plus petit intervalle associé (Audemard, Bellart, Lagniez et Marquis, 2023).
 - Définir des méthodes pour calculer des explications abductives approchées, mais de taille réduite, pour favoriser leur interprétabilité par des utilisateurs. Une voie pour produire de telles explications est de considérer des explications abductives probabilistes, c'est-à-dire des explications qui sont telles qu'à un petit pourcentage d'exceptions près, toutes les instances couvertes par l'explication produite sont classées par le modèle de la même façon que l'instance dont on veut expliquer le classement au départ. Malheureusement, le calcul de telles explications probabilistes est d'une complexité élevée, même pour les arbres de décision. Pour contourner ce problème, nous avons utilisé des algorithmes efficaces de minimisation supermodulaire qui permettent d'approcher les explications probabilistes avec des garanties d'approximation (Bounia et Koriche, 2023).
 - Définir une notion d'explication contrastive adaptée à des classeurs à base d'arbres, et étudier la complexité du calcul de telles explications (en particulier, des explications contrastives de taille minimale) lorsque les conditions utilisées dans les arbres ne sont pas indépendantes mais liées par une théorie du domaine (Audemard, Lagniez, Marquis et Szczepanski, 2023b).

- Définir un cadre pour la correction de classeurs qui prédisent de façon erronée : nous avons abordé la question de la prise en compte de connaissances expertes dans un classeur booléen multilabel et défini un ensemble de postulats à respecter pour rectifier un classeur booléen quand les classements qu'il propose entrent en conflit avec ceux issus de connaissances utilisateur, jugées plus fiables. Nous avons en particulier montré que l'opération de rectification de classeurs booléens diffère de celle de révision ou encore de celle de mise à jour, bien connues dans le domaine du changement de croyances. Nous avons aussi identifié des situations où on peut la réaliser efficacement (i.e., en temps polynomial) pour les modèles à base d'arbres (arbres de décision, forêts aléatoires, arbres boostés), dans le cadre de problèmes de classement binaire (Coste-Marquis et Marquis, 2021, 2023).

Les travaux réalisés ont donné lieu à divers papiers décrivant les méthodes proposées (ils sont accessibles depuis la page web de EXPEKCTATION) mais aussi à une bibliothèque libre Python pour l'IA explicable, appelée PyXAI, regroupant les algorithmes proposés, centrés sur les modèles d'apprentissage automatique à base d'arbres (arbres de décision, forêts aléatoires, arbres boostés). En 2023, PyXAI a reçu le prix de la meilleure démonstration logicielle à la conférence nationale EGC.

Dans la thèse de Ryma Boumazouza, une approche agnostique et déclarative nommée ASTERYX (Boumazouza, Cheikh-Alili, Mazure et Tabia, 2021), permet de générer certains types d'explications symboliques (raisons suffisantes et contre-factuelles) en se basant sur des oracles SAT. Dans cette contribution, on peut aussi calculer différents types de scores évaluant l'influence des attributs sur une prédiction.

Par ailleurs, la thèse d'Anthony Blomme a permis de mettre en évidence la possibilité de compresser de manière spectaculaire certains arbres de recherche de solveurs SAT quand il n'y a pas de solution si l'on autorise la notion de preuve modulo un renommage. L'arbre compressé peut ainsi être plus facilement présenté à l'utilisateur du solveur pour lui expliquer l'incohérence de la formule.

IA au service d'autres disciplines Dans le cadre de la chimie, en collaboration avec l'UCCS, la thèse de Gokhan Tahil a permis de créer une bibliothèque ouverte de données concernant les cyclodextrines et leurs constantes d'associations avec différentes molécules organiques (Tahil, Delorme, Le Berre, Monflier, Sayede et Tilloy, 2023), montrer les limites des solutions existantes pour gérer les stéréoisomères par apprentissage automatique et proposer une solution à ce problème.

Toujours dans le cadre de la chimie (et plus précisément, des matériaux), la thèse d'Astrid Klipfel a porté sur l'exploitation des graphes de réseaux de neurones (GNN). Des réseaux à passage de messages pour la génération des matériaux ont été proposés dans (Klipfel, Frégier, Sayede et Bouraoui, 2023). Ces travaux explorent différentes approches pour la découverte automatique de nouveaux matériaux cristallins avec des propriétés spécifiques. Cette thèse propose EPGNN, un réseau de neurones à passage de messages équivariant périodique qui apprend la déformation des réseaux cristallins de manière non supervisée. Le modèle peut générer, relaxer et optimiser des cristaux, en considérant les représentations géométriques équivalentes. Elle propose aussi deux modèles unifiés qui agissent simultanément sur le réseau cristallin et les positions atomiques en utilisant des architectures équivariantes périodiques. Ces modèles peuvent apprendre n'importe quelle déformation de réseau cristallin. Le logiciel pyMatGraph a aussi été développé. Il s'agit d'un outil efficace pour générer des graphes de structures périodiques en temps réel, ce qui permet aux modèles générateurs d'apprendre de nouvelles découvertes matérielles. Enfin, un modèle de diffusion probabiliste qui utilise un GNN géométriquement équivariant pour considérer conjointement les positions atomiques et les réseaux cristallins a été proposé, ainsi qu'une nouvelle métrique d'évaluation basée sur la prédiction énergétique du GNN. Les expériences montrent que cette méthode peut apprendre efficacement des représentations significatives des structures cristallines.

La thèse de Sara Kebir, interdisciplinaire entre l'informatique et les sciences sociales, s'inscrit dans le contexte d'une solution technique visant à favoriser le bien-vieillir à domicile en relevant les défis techniques liés à la conception de la solution tout en tenant compte de son acceptabilité par ses usagers. Les contraintes inhérentes à cette solution imposent des défis techniques liés à la détection d'anomalies et de situations à risque ainsi que la reconnaissance d'activités dans un contexte où les ressources sont limitées. La confiance et l'explicabilité des décisions de la solution complètent cette liste de contraintes (Kebir et Tabia, 2022).

La thèse de Caren Al Anaissy porte sur l'application de la théorie de l'argumentation dans le raisonnement juridique. Le concept de support d'un argument joue un rôle important dans le raisonnement humain et juridique. Cinq sémantiques extensionnelles pour les cadres d'argumentation bipolaires ont été définies (Yu, Al Anaissy, Vesic, Li et Torre, 2023)

et appliquées au raisonnement juridique à travers deux exemples. De plus, pour pouvoir identifier les arguments clés dans une affaire juridique, qui affectent la décision finale du juge, des fonctions d'impact qui calculent la contribution (l'impact) d'ensembles d'arguments sur un autre argument ont été définies. Calculer l'impact de chaque argument sur la décision finale d'une affaire judiciaire vise à détecter les arguments clés qui contribuent (négativement et positivement) à la décision finale. Une autre contribution proposée par cette thèse traite de chatbots argumentatifs persuasifs qui sont omniprésents de nos jours et des questions éthiques et légales qui peuvent surgir de la conception et de l'utilisation de ces chatbots. En particulier, nous avons proposé une méthode d'argumentation pour rendre éthiques les chatbots persuasifs (Al Anaissy, Vesic et Nevejans, 2023).

La thèse de David Ing s'inscrit dans le domaine de la fouille de données (ou découverte de connaissances à partir des données). À l'échelle mondiale, un nombre croissant de victimes de la traite des êtres humains a été observé ces dernières années, couvrant une majorité de pays et de territoires. Parmi elles, une grande partie des femmes et des jeunes filles sont recrutées principalement à des fins d'exploitation sexuelle. L'Office des Nations Unies contre la drogue et le crime (ONUDC) souligne les difficultés d'accès à la justice qui privent les victimes de protection, un enjeu central de ce travail de thèse. Cette dernière s'inscrit dans un courant de recherche émergent, associant IA et sciences humaines et sociales (SHS). Elle utilise de manière originale une base de données judiciaire pour identifier les réseaux de traite des êtres humains, impliquant à la fois des victimes d'abus sexuels et des exploitateurs. Des premiers résultats ont été publiés dans (Ing, Delorme, Jabbour, Robin et Sais, 2023).

Dans le domaine de la santé, l'analyse efficace des documents médicaux et paramédicaux est cruciale pour fournir des services de diagnostic et de prévention des maladies. L'objectif de la thèse de Hanane Kteich est de concevoir, mettre en œuvre et développer des modèles prédictifs pour une tâche de multi-étiquetage associant chaque document médical à une catégorie, telle qu'une maladie. Elle examine deux types de documents : les comptes-rendus opératoires fournis par des médecins (hôpital de Lens), où les étiquettes correspondent aux codes CCAM, et les documents descriptifs de cas médicaux, tels que ceux trouvés dans les ensembles de données MIMIC et Bioasq, où les étiquettes représentent des anomalies médicales. Dans le premier cas, les modèles visent à améliorer le service de facturation de l'hôpital, tandis que dans le second, il est envisagé d'offrir aux citoyens de l'agglomération Lens-Liévin des services numériques liés à la santé.

Référence 2. La production scientifique de l'unité est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels. Entre 2018 et 2023, les publications internationales se partitionnent comme présentée dans le tableau 3, entre les axes et les actions transverses :

TABLE 3 : répartition des publications internationales par axe ou action transverse et par année

axe/action	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Total
Données	14	13	9	12	16	13	77
Connaissances	32	20	14	21	15	25	131
Contraintes	17	12	15	8	11	12	75
IA explicable	0	1	2	3	4	7	17
IA au service de	3	0	1	0	0	8	12

Le nombre d'enseignants-chercheurs / enseignantes-chercheuses non produisant(e)s dans l'unité (évalué ici comme celles et ceux ayant moins de 3 publications internationales dans des revues ou des conférences sur la période de référence) a diminué en comparaison à la période précédente, pour passer de huit à cinq. Ce point faible est pour beaucoup d'entre eux / elles le revers de leur implication forte dans l'écosystème de l'unité. Pour la période 2018 - 2023, nous n'avons recensé que deux non-publants sans aucune publication. La politique d'attribution des financements de thèse sur les moyens communs mise en place constitue un levier pour raccrocher à la recherche les collègues peu publiants sur ce critère. En effet, le taux d'encadrement de ces collègues au cours des six dernières années est souvent réduit et, comme nous l'avons expliqué, ce taux est pris en compte pour classer les demandes reçues.

Référence 3. La production scientifique de l'unité respecte les principes de l'intégrité scientifique, de l'éthique et de la science ouverte. Elle est conforme aux directives applicables dans ce domaine.

Intégrité scientifique et science ouverte Au CRIL, Gilles Audemard est le correspondant de l'unité pour l'intégrité scientifique et Daniel Le Berre celui pour la science ouverte.

Les mesures mises en place au CRIL pour veiller au respect de l'intégrité scientifique sont diverses pour tenir compte des formes variées que l'intégrité scientifique revêt. Il s'agit d'abord de respecter la charte nationale de déontologie (votée par nos deux tutelles). Il s'agit aussi d'assurer une certaine pérennité, robustesse et reproductibilité de nos résultats.

La reproductibilité des résultats (voire leur répliquabilité) est une problématique très largement prise en compte aujourd'hui dans notre communauté. Dans les conférences principales du domaine, quand on soumet un article (électroniquement), on dispose de la possibilité quasi-systématique de téléverser une archive contenant des données et/ou du code (ou encore des preuves détaillées lorsqu'il s'agit de résultats théoriques) permettant aux relecteurs et relectrices de s'assurer s'ils/elles le souhaitent que les résultats fournis sont corrects et reproductibles. Au niveau international, Pierre Marquis a été co-président en charge de la reproductibilité pour la conférence internationale IJCAI. [Les règles produites à ce moment-là](#) sont toujours en vigueur à IJCAI. L'exigence de reproductibilité des résultats nous conduit également à conserver des nœuds de calcul « assez anciens » dans notre cluster de calcul.

La conservation des résultats, des données et des programmes réalisés dans le laboratoire passe par la mise en place de procédures classiques d'archivage et de copies, en utilisant en particulier le serveur git du laboratoire ou la forge de l'université d'Artois, une instance locale du logiciel GitLab. Son utilisation est préconisée pour le développement. Quand la diffusion des logiciels se fait dans le cadre de licences libres, nous utilisons aussi [une organisation github](#), qui favorise l'interaction avec la société : toute personne souhaitant remonter un problème ou contribuer du code peut le faire en créant un compte sur cette plateforme. Le principe est que, sauf exception spécifiée et faisant l'objet d'un accord préalable entre les co-auteurs et la direction du laboratoire, les logiciels réalisés dans le cadre des travaux de recherche sont diffusés sous licence libre. La licence est choisie en fonction du contexte de diffusion du logiciel. Les logiciels libres du laboratoire sont systématiquement archivés sur Software Heritage. Le laboratoire met en avant ses logiciels [à l'aide d'un espace dédié](#) sur le site du laboratoire, qui a été complètement repensé en 2022.

Plus récemment, dans le cadre de sa politique de science ouverte, l'unité a mis en avant [sa production de données issues de la recherche](#). Ces données sont généralement déposées dans [la communauté Zenodo dédiée à l'université d'Artois](#) et enregistrées dans l'espace [recherche data gov de l'université d'Artois](#).

Enfin, un [baromètre de la science ouverte](#) a été mis en place à l'université d'Artois afin de mesurer les effets de la politique d'ouverture en cours. À l'échelle internationale, après le CNRS, l'université d'Artois a signé la Déclaration de San Francisco sur l'évaluation de la recherche (DORA). Cela impose que les indicateurs reposant sur les facteurs d'impact ne se substituent pas à l'évaluation qualitative de la recherche et ne sont pas les seuls critères utilisés pour présider aux recrutements, à la promotion ou au financement des recherches. Certains membres du CRIL ont aussi signé cette déclaration à titre personnel.

Politique de publication Comme déjà évoqué, les CRILiennes et CRILiens cherchent en priorité à publier leurs résultats dans les supports de référence du domaine. Pour les collègues ne disposant pas de financements liés à des projets, l'unité apporte son soutien lorsque les publications concernées doivent apparaître dans des supports de référence pour la communauté. A titre exceptionnel, l'unité a pu néanmoins financer des missions pour présenter des résultats dans des conférences moins renommées, en particulier quand un(e) doctorant(e) était concerné(e).

Il n'existe pas de consigne stricte au CRIL concernant l'ordre des signataires des publications, c'est aux co-auteurs / co-autrices des publications d'en convenir au cas par cas puisque eux et elles seul(e)s sont aptes à évaluer la contribution de chacun(e) et qu'il n'existe pas, de toute façon, une bonne méthode pour agréger des apports multiples de natures variées. Le plus souvent, l'ordre alphabétique des noms d'auteurs / autrices est utilisé, mais il peut y avoir des exceptions, même lorsque les contributions sont à parts égales (par exemple pour des publications co-écrites avec des collègues dans des laboratoires à l'étranger puisque parfois, seules les publications en premier auteur vont compter pour les collègues en question). Le bon sens doit régner. Lorsque des doctorant(e)s montrent une maturité scientifique et une autonomie suffisantes, il est recommandé de les laisser publier seul(e)s.

Synthèse de l'autoévaluation du domaine 3

Assurer la qualité de la production scientifique, qu'il s'agisse des publications réalisées ou des logiciels développés, est un des objectifs de l'unité depuis sa création. La pandémie (et les difficultés qu'elle a engendrées), l'augmentation de la bureaucratie dans l'ESR, l'absence de croissance du nombre de personnels académiques permanents, le temps passé à monter des projets et à encadrer les doctorant(e)s et autres personnels non permanents qui ont pu être recrutés, les changements structuraux au niveau enseignement (approche par compétences, BUT) ... tout cela n'a pas constitué un contexte favorable à une croissance de la production scientifique de qualité. Pour autant et en dépit du virage pris vers de nouvelles thématiques transverses (« IA explicable », « IA au service d'autres disciplines ») et du temps nécessaire pour monter en compétence sur les questions de recherche afférentes, les indicateurs utilisés montrent que la qualité de la production scientifique a été maintenue pendant la période d'évaluation (sans que la quantité de publications ou de logiciels développés baisse pour autant). Le nombre d'enseignants-chercheurs / enseignantes-chercheuses non produisant(e)s dans l'unité a un peu diminué. Les doctorant(e)s sont largement impliqué(e)s dans la production scientifique, mais pourraient l'être plus encore. Une politique de conservation et de reproductibilité des résultats a été définie.

Domaine 4. Inscription des activités de recherche dans la société

Référence 1. L'unité se distingue par la qualité et la quantité de ses interactions avec le monde non-académique.

Le laboratoire faisant de la recherche amont, fondamentale, ses interactions avec le monde non-académique ne sont pas très importantes. Elles existent cependant.

Les travaux de Lakhdar Saïs traitent de questions sociétales importantes : l'analyse des parcours migratoires à partir des récits de migrants dans le cadre du projet ANR PRC HYCI, l'analyse des données judiciaires juvéniles du Sénégal pour promouvoir une justice juvénile plus éducative et moins répressive dans le cadre du projet AFD ERA, mai aussi la détection de la traite des êtres humains à partir d'une base de données judiciaire (Ing, Delorme, Jabbour, Robin et Sais, 2023).

Par ailleurs, Pierre Marquis a participé à plusieurs groupes de travail mis en place par des acteurs du monde socio-économique :

- participation depuis 2020 au groupe de travail « recherche et entreprises » créé dans le cadre de la [Cité de l'IA](#). En 2021, un livre blanc, issu des travaux réalisés, a été publié.
- participation en 2019-2020 au groupe de réflexion sur le thème « IA responsable », dans le cadre de la mission Rev3 (troisième révolution industrielle en Hauts de France, présidée par Philippe Vasseur et mise en place par la CCI des Hauts de France).

Pierre Marquis est également membre du conseil scientifique de la société [AI-vidence](#). Son rôle est d'apporter une expertise scientifique en IA explicable à cette société qui conçoit et industrialise des systèmes à base d'intelligence artificielle de confiance.

Référence 2. L'unité développe des produits à destination du monde culturel, économique et social.

Le CRIL diffuse une grande majorité de sa production logicielle sous forme de logiciels libres. Durant la période d'évaluation, la production logicielle a été mise en avant en refondant [la page de la production logicielle du laboratoire](#). Le laboratoire met notamment en avant les logiciels pérennes, qui peuvent être développés depuis longtemps (plus de 20 ans pour certains d'entre eux), et dont l'utilisation en dehors du laboratoire est établie : on retrouve, parmi ces logiciels ACE, (anciennement abscon), Glucose, Gophersat, runsolver, Sat4j, XCSP³. L'ensemble des logiciels pérennes intègre aussi des logiciels plus récents, sur lesquels le laboratoire mise (d4, Metrics et PyXAI par exemple).

Les logiciels de recherche récents de la période et les logiciels pérennes sont diffusés sous une licence libre adaptée au public cible de la diffusion, disponibles sur une forge logicielle (l'organisation github du laboratoire, un dépôt github de projet, une forge communautaire : le lien vers cette forge est accessible depuis le site web du laboratoire), et archivée sur *Software Heritage*.

La cellule d'appui du CRIL s'assure que les logiciels diffusés sont d'une qualité suffisante pour être réutilisés : ils ont une documentation suffisante, il existe un moyen simple pour les compiler si c'est nécessaire, et ils fonctionnent sur les exemples fournis. Pour les logiciels pérennes, des outils d'analyse de code sont utilisés pour éviter les maladroites de programmation et appliquer des bonnes pratiques.

Référence 3. L'unité partage ses connaissances avec le grand public et intervient dans des débats de société.

Sébastien Konieczny est le responsable d'une formation annuelle de trois jours au catalogue de CNRS Formation « Intelligence artificielle : état de l'art et applications » dont la dernière édition a eu lieu en 2023. Des formations spécifiques ont été également organisées pour Michelin, Orange, et Schlumberger. Les bénéficiaires de cette formation financent les activités du GDR RADIA.

En 2018, Sébastien Konieczny a donné une conférence "La révolution de l'intelligence artificielle - Enjeux humains et sociétaux pour la médecine" pour le collège de médecine d'urgence du Nord-Pas-de-Calais.

Pierre Marquis a participé à plusieurs événements organisés par des acteurs du monde socio-économique et à plusieurs groupes de travail :

- participation à la « [Learning Expedition #IA Israel](#) » en juin 2019.
- participation à la conférence parlementaire « [Faire de la France le leader de l'intelligence artificielle](#) », 1ère édition des matinales sur le numérique, Maison de la Chimie, Paris, mars 2018.

Sébastien Konieczny est co-éditeur du livre "L'intelligence artificielle. De quoi s'agit-il vraiment ?" publié chez Cépaduès en 2020 (<https://www.cephadues.com/livres/l-intelligence-artificielle-quoi-agit-vraiment-9782364938502.html>). Une version électronique du livre est à présent disponible en ligne (depuis 2022) à l'url suivante : <http://ia.gdria.fr>. Une traduction anglaise (et actualisation) a été publiée en 2021 chez Colledge Publication sous le titre « *Artificial Intelligence. What is it, exactly ?* » (<https://www.amazon.fr/Artificial-Intelligence-exactly-Sebastien-Konieczny/dp/1848903383>). Le but de ce livre collectif est de fournir un ouvrage de vulgarisation à l'intelligence artificielle écrit par des spécialistes du domaine.

Sébastien Konieczny gère [la page YouTube du GDR RADIA](#), qui rassemble les interventions données lors du séminaire en ligne du GDR RADIA et lors des écoles thématiques IA2 (Institut d'Automne en Intelligence Artificielle).

Sébastien Konieczny a donné les interventions grand-public suivantes :

- 2018 : « Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ? ». Conférence à la médiathèque d'Arras.
- 2019 : « L'intelligence artificielle : ses enjeux et quel impact de l'IA dans notre société de demain ». Conférence à la médiathèque d'Arras.
- 2019 : « Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ? ». Conférence à la médiathèque de Liévin.
- 2023 : Conférence sur l'intelligence artificielle. Communauté Urbaine d'Arras - Mois du Numérique.

Sébastien Konieczny a été interviewé pour les articles suivants :

- 2018 : Interview pour *Usbek et Rica* : « Poker en ligne : les bots finiront-ils par chasser les humains ? ».
- 2018 : Interview pour *Atlantico* : « L'intelligence artificielle, une chance pour ceux qui savent écouter leur intuition ».
- 2022 : Interview pour *La Tribune* : « Intelligence artificielle, la mauvaise réputation ? ».
- 2023 : Interview pour *France24* : « Comment un monstre de Lovecraft est devenu un symbole du côté obscur des IA comme ChatGPT ».
- 2023 : Interview pour *Hello Future* : « Au-delà du test de Turing : l'IA encore en-deçà des défis auxquels l'esprit humain fait face ».
- 2023 : Interview pour *Sciences et Avenir* : « Intelligence artificielle consciente : le retour d'un fantôme ».

Pierre Marquis a également donné plusieurs interviews :

- 2020 : présentation du CRIL pour la revue *ActuIA*, numéro 2, pages 40-41.
- 2020 : interview à « *Data Analytics Post* » pour l'élaboration de l'article « Pour « l'explicabilité », on parie sur l'IA symbolique » (<https://dataanalyticspost.com/pour-lexplicabilite-on-parie-sur-lia-symbolique/>).

- 2020 : interview à « Science et Vie » pour l'élaboration du numéro hors série sur l'IA, n° 290, article « Et la machine se mit à penser ... », pages 8-15.
- 2018 : interview à *CNEWS* sur les usages innovants de l'IA.

Les membres du CRIL sont aussi intervenus lors des diverses éditions de la Fête de la Science à Lens.

Synthèse de l'autoévaluation du domaine 4

L'unité veille à l'inscription de ses activités de recherche dans la société en partageant ses connaissances avec le grand public. Les activités de diffusion scientifique et de médiation restent toutefois limitées à un nombre restreint de CRILiens qu'il faudrait faire croître. La production logicielle sous forme de logiciels libres a augmenté de façon significative pendant la période de référence. L'unité diffuse désormais aussi des données issues de ses recherches.

3.2 Axe « Données »

Les thématiques scientifiques de l'axe « Données » et leurs enjeux

L'axe « Données » a été créé début 2022 pour structurer et rendre visibles les travaux de recherche, conduits au CRIL, autour de la gestion et de la fouille de données et de l'apprentissage automatique. L'IA numérique tire profit de deux ressources principales : les données et la puissance de calcul. Les données, vraie mine d'informations, sont disponibles, souvent en grandes quantités et issues de sources multiples mais elles peuvent être entachées d'imperfections diverses (données manquantes, imprécises, hétérogènes, contradictoires, etc.). La gestion et l'exploitation de ces données soulève plusieurs défis que la communauté IA doit prendre en compte et des verrous qu'il faut s'efforcer de lever. De la fouille de données à l'apprentissage automatique, de nombreux problèmes nécessitent des solutions efficaces du point de vue calculatoire et pouvant fournir des résultats exploitables, fiables et explicables pour l'utilisateur. Ainsi, l'axe « Données » s'est fixé les principaux objectifs suivants :

- la proposition de nouveaux algorithmes d'extraction de connaissances et d'apprentissage automatique avec une attention particulière sur leur transparence et interprétabilité ;
- l'étude et l'analyse des aspects fondamentaux, algorithmiques et expérimentaux des techniques d'extraction de connaissances et d'apprentissage automatique ;
- la proposition de solutions efficaces pour la gestion de données massives, hétérogènes et complexes en intégrant les dimensions de confidentialité et de fiabilité ;
- la proposition de solutions efficaces pour la collecte, la complétion et l'interrogation de bases de données massives et hétérogènes ;
- la modélisation et la conception de pipelines d'extraction de connaissances et d'apprentissage artificiel dans certains domaines applicatifs ;
- la fertilisation croisée et l'exploitation des synergies fortes avec les deux autres axes thématiques du CRIL (comme le développement d'approches symboliques et déclaratives pour la fouille de données en prenant appui sur la force des solveurs et outils de raisonnement modernes).

En fouille de données, il a été principalement question de nouvelles approches déclaratives et génériques pour l'extraction de connaissances (extraction de motifs et de règles, segmentation, détection de communautés, etc.). En apprentissage automatique, les principales questions traitées ont été l'apprentissage actif et l'apprentissage de représentations, l'évaluation de la fiabilité des modèles, leur calibration, leur interprétabilité et robustesse. Enfin, s'agissant de la gestion de données massives et hétérogènes, les recherches conduites au sein de l'axe ont porté essentiellement sur l'interrogation, la complétion et la réparation de données.

Les travaux produits par les membres de l'axe « Données » ont été, pour l'essentiel, en continuation des travaux déjà entamés par ces membres, soit dans l'axe « Connaissances », soit dans l'axe « Contraintes ». Ainsi, les recherches en *fouille de données déclaratives* remontent au projet ANR DAG (Approches déclaratives pour l'énumération de motifs intéressants) qui a démarré en 2009. C'était le point de départ d'une activité de recherche continue depuis lors et marquée par plusieurs thèses et projets. Possédant une expertise importante concernant les solveurs de satisfiabilité propositionnelle (et, plus généralement, de contraintes), de nouvelles approches déclaratives pour la fouille de données ont ainsi pu être proposées. La question majeure est de définir des encodages efficaces à des problèmes de fouille de données de telle sorte que l'énumération de solutions repose seulement sur l'utilisation de solveurs génériques. De façon similaire, les recherches sur les problématiques de gestion et d'exploitation de données s'inscrivent dans une série de travaux qui remontent déjà à une dizaine d'années, dont un exemple de concrétisation fut le projet ANR ASPIQ (Techniques ASP pour l'interrogation d'informations web hétérogènes multi-sources à grande échelle) qui s'est déroulé de 2012 à 2017. Les questions de *gestion de données hétérogènes* et *multi-sources* se sont vite imposées avec l'essor du Web. On a assisté alors au développement rapide de logiques de description « traitables » comme celles de la famille DL-Lite pour lesquelles se posent aussi des questions de gestion des incohérences des données vis-à-vis des parties terminologiques représentant les connaissances ou les contraintes du domaine. Un autre thème d'intérêt pour les membres de l'axe fut la prise en compte de l'incertitude des données et parfois de leur confidentialité. Ces questions sont toujours étudiées au CRIL et ont été l'objet de plusieurs thèses et de projets de recherche. Ainsi, plusieurs membres de l'axe s'intéressant à ces questions dans le cadre de connaissances ont commencé à s'attaquer aux questions analogues dans le cadre des données. Quant aux travaux en *apprentissage automatique*, ils ont été initiés par Frédéric Koriche, recruté comme PR au CRIL

en 2012 pour faire émerger et développer cette thématique qui commençait à prendre vraiment de l'ampleur en IA avec les débuts fulgurants de l'apprentissage profond. Sont venus s'ajouter, ces dernières années, d'autres travaux relevant de l'apprentissage automatique, en particulier pour le *traitement automatique du langage naturel*.

Les recherches réalisées dans l'axe « Données » entretiennent naturellement des liens très étroits avec les deux actions transverses du CRIL dans la mesure où, d'une part, l'IA explicable s'intéresse principalement à expliquer les prédictions d'un modèle d'apprentissage automatique entraîné sur les données et, d'autre part, différents domaines applicatifs (dont les plus prioritaires, comme la santé, la chimie et l'environnement au sein du projet MAIA) nécessitent souvent l'utilisation de méthodes basées sur de l'apprentissage automatique et l'exploitation des données du domaine au sens large.

Avec la création en 2022 de l'axe « Données », qui compte désormais huit membres, le laboratoire a amorcé un élargissement thématique autour de l'IA numérique. Pour donner un fait concret témoignant du virage pris, le laboratoire a publié au niveau national plusieurs articles à la conférence EGC en 2019, 2022 et 2023, ce qui n'était pas arrivé pendant les deux évaluations précédentes.

Profil d'activités liées à la recherche

Activités (Répartir 100 points sur ces 7 items)	Points
Administration et animation de la recherche : pilotage de la recherche (VP, direction d'institut, DAS, par exemple), participation à des instances d'évaluation (CNU, CoNRS, CSS, Hcéres, par exemple), responsabilité de dispositifs Idex ou Isite, direction de projets (ANR, Horizon Europe, ERC, CPER, PIA, France 2030, par exemple), responsabilités éditoriales dans des revues ou collections nationales et internationales.	15
Aide aux politiques publiques et expertise technique : pouvoirs publics aux niveaux européen, national et régional, entreprises, instances internationales comme FAO, OMS, etc.	0
Contribution à l'adossement d'enseignements innovants à la recherche : EUR, SFRI, etc.	0
Dissémination de la recherche : partage de connaissances avec le grand public, médiation scientifique, interface sciences et société.	5
Recherche et encadrement de la recherche.	75
Valorisation, transfert, innovation.	5
Autres activités. (à préciser en une ligne maximum).	0

Le profil de l'axe « Données » ressemble globalement à celui du laboratoire dans son ensemble, avec un peu plus d'activité en recherche et encadrement de la recherche et moins sur les autres critères. Notons aussi que certains membres de l'axe endossent des responsabilités pédagogiques (en particulier, les deux co-responsables de l'axe, Karim Tabia et Saïd Jabbour, ont respectivement la responsabilité du master mention informatique et la licence mention informatique).

Prise en compte des recommandations du précédent rapport

L'axe « Données » a été créé en 2022 en réponse aux remarques reçues lors de la dernière évaluation du CRIL, son activité n'a pas été évaluée lors de la précédente évaluation.

Introduction du portfolio

Pour décrire l'activité de l'axe « Données » et mettre en avant les thématiques actuelles où les membres de l'axe ont une expertise avérée, quatre publications dans des supports de référence (supports généralistes comme la conférence IJCAI ou spécialisés comme le journal *Machine Learning*) ont été sélectionnées. Ces publications concernent quatre thématiques distinctes : i) nouvelles approches déclaratives pour la fouille de données et l'extraction de connaissances, ii) apprentissage de représentations et apprentissage pour le traitement automatique du langage, iii) apprentissage actif en ligne, et enfin iv) gestion et exploitation de données massives et imparfaites.

— Saïd Jabbour, Badran Raddaoui, Lakhdar Saïs, *A Symbolic Approach to Computing Disjunctive Association Rules from Data* in IJCAI-23, pp. 2133-2141, 2023

Contrairement aux approches spécialisées qui requièrent de nouveaux algorithmes pour tout nouveau type de motifs à énumérer, les approches déclaratives se distinguent par leur aspect flexible permettant l'ajout de contraintes pour

caractériser ces nouveaux motifs en gardant intacte la procédure de recherche utilisée. L'utilisation de la décomposition et de la parallélisation rendent ces approches compétitives avec les approches dédiées. De plus, ces approches peuvent tirer bénéfice des techniques de raisonnement développées dans des formalismes déclaratifs. L'article mentionné propose un encodage pour les règles disjonctives qui étend à la fois les deux problèmes classiques de la fouille de *motifs fréquents* et des règles d'association. En relaxant la contrainte sur la couverture d'un motif, il propose de capturer des motifs pouvant être représentés par des multi-ensembles.

- Amit Gajbhiye, Zied Bouraoui, Na Li, Usashi Chatterjee, Luis Espinosa-Anke, Steven Schockaert, [What do Deck Chairs and Sun Hats Have in Common? Uncovering Shared Properties in Large Concept Vocabularies](#) in EMNLP'23, pp. 10587-10596, 2023

Les plongements (*embeddings*) de concepts sont souvent utilisés pour fournir des connaissances préalables dans des applications où seuls quelques exemples sont disponibles. Une alternative à l'utilisation des plongements pour de telles applications est proposée, où chaque concept est plutôt représenté en termes des propriétés qu'il satisfait. La motivation vient de l'observation que les plongements de concepts tendent à capturer principalement une relation taxonomique, ce qui n'est pas toujours suffisant. Dans le travail mentionné, un bi-encodeur est d'abord utilisé pour récupérer efficacement les propriétés candidates pour chaque concept, puis un encodeur joint est utilisé pour déterminer quelles propriétés sont satisfaites. Les affectations de propriétés résultantes nous ont permis d'améliorer l'état de l'art dans le typage d'entités ultra-fines et la complétion automatique des bases de connaissances.

- Tingting Zhai, Frédéric Koriche, Yang Gao, Junwu Zhu, Bin Li, [Online active classification via margin-based and feature-based label queries](#) in Machine Learning, vol. 111, n° 6, pp. 2323-2348, 2022

Ce travail, publié dans un journal d'apprentissage automatique de référence, s'intéresse à un nouveau cadre pour l'apprentissage actif en ligne, dans le but de traiter des problèmes de classification de grande dimension. L'élément clé de ce cadre est d'exploiter à la fois la marge de l'incertitude prédictive et les informations discriminantes basées sur les caractéristiques de l'instance traitée, afin de déterminer si celle-ci doit être étiquetée. Sur la base de cette stratégie d'étiquetage, plusieurs algorithmes d'apprentissage actif en ligne sont proposés dans l'article, tant pour les tâches de classification binaire que multi-classes. Pour ces algorithmes, qui utilisent des méthodes adaptatives de sous-gradient pour mettre à jour leur modèle linéaire, des limites d'erreur attendues sont fournies. Des expériences sur des ensembles de données de classification de grande dimension (binaires et multiclassées) révèlent l'avantage de cette stratégie de requêtes d'étiquetage et montrent la supériorité des algorithmes proposés par rapport à l'existant.

- Sihem Belabbes, Salem Benferhat, [Computing a Possibility Theory Repair for Partially Preordered Inconsistent Ontologies](#). in IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 30, n°8, pp. 3237-3246, 2022.

Cet article, paru lui aussi dans un journal de référence, s'inscrit dans le cadre de l'élaboration de méthodes traitables (efficaces) pour la gestion des informations incertaines et incohérentes. Il propose une extension de la logique DL-Lite possibiliste standard aux ontologies formelles partiellement pré-ordonnées. L'incertitude sur les assertions est représentée dans le cadre possibiliste par des poids symboliques qui peuvent être incomparables. Une caractérisation équivalente basée sur la notion d'assertions acceptées est proposée. Intuitivement, il s'agit d'assertions qui sont plus certaines que les assertions impliquées dans des conflits. Sur cette base, on peut définir une notion de réparation pour une base d'assertions ABox incohérente, dont le calcul est possible en temps polynomial en taille de la ABox.

Autoévaluation de l'axe « Données »

Domaine 1. Profil, ressources et organisation de l'unité

Référence 1. L'unité s'est assigné des objectifs scientifiques pertinents Les travaux conduits dans l'axe « Données » depuis sa création portent sur des défis majeurs en matière de gestion et d'exploitation de données massives et d'apprentissage automatique sur des données réelles. En particulier, les défis étudiés sont relatifs aux points suivants :

- Données : en plus de la dimension des données (souvent caractérisée par le nombre de colonnes dans le cas des données tabulaires) et de leur quantité qui posent des problèmes majeurs pour passer à l'échelle et exploiter de gros volumes de données, on trouve d'autres problèmes liés aux données lorsque celles-ci sont issues de sources

multiples, en particulier des problèmes d'incohérence et d'hétérogénéité ainsi que des problèmes de confidentialité et d'accès aux données.

- Modèles : les questions qui se posent ici portent sur la nature des modèles et des techniques à utiliser et leur capacité à apprendre à partir de peu de données, lorsque les classes sont déséquilibrées ou partiellement étiquetées. Elles portent également sur la qualité des résultats que l'on veut assurer en terme de précision, de robustesse, fiabilité, interprétabilité, etc.
- Applications : dans plusieurs domaines applicatifs, on fait face à différents types de contraintes nécessitant des solutions nouvelles ou des adaptations de solutions existantes. En particulier, en santé, en chimie et en environnement, les objets connectés et les systèmes embarqués, sont largement déployés et ils nécessitent des solutions robustes, fiables et adaptées aux contextes où les ressources de calcul et de stockage sont limitées et où les données peuvent revêtir un aspect confidentiel ou sensible.

Les verrous scientifiques sous-jacents à ces questions de recherche sont nombreux et difficiles mais il est indispensable de les lever pour élaborer des solutions efficaces, passant à l'échelle et garantissant des résultats fiables et exploitables.

Référence 2. L'unité dispose de ressources adaptées à son profil d'activités et à son environnement de recherche et les mobilise L'axe « Données » compte actuellement huit membres permanents dont l'activité de recherche principale s'inscrit dans les thématiques de l'axe. Dans le détail, l'axe compte quatre professeurs des universités (PR) et quatre maîtres de conférences (MCF) dont deux sont habilités à diriger des recherches. Il convient de préciser que six membres ont « migré » depuis les deux autres axes du CRIL alors que deux MCF ont été recrutés en septembre 2023 (après la création de l'axe) afin de permettre à l'axe de monter en puissance. En plus de ces huit membres, quinze autres membres permanents (dont huit PR, trois MCF et un chargé de recherche) dont l'activité principale relève de l'un des deux autres axes thématiques participent aussi aux activités de l'axe « Données ». Enfin, trois thèses sont actuellement en cours de préparation au sein de cet axe.

Comme mentionné plus haut dans ce rapport, l'axe « Données » a été créé récemment mais plusieurs de ses membres travaillaient déjà sur des thématiques qui entrent désormais dans celles traitées au sein de l'axe « Données » et qui relevaient auparavant de l'axe « Connaissances » ou de l'axe « Contraintes ». Ainsi, il n'y a pas eu de « transition » ou de « conversion thématique » des collègues impliqués mais plutôt une « montée en compétences » de ces derniers dans les thématiques de l'axe « Données ». Actuellement, les recherches conduites dans l'axe sont surtout de type recherche amont et, contrairement à ce qui se produit dans certains laboratoires de recherche en IA, elles ne sont pas spécialisées exclusivement à un domaine particulier (comme la vision artificielle ou le traitement automatique du langage).

Domaine 2. Attractivité

Référence 1. L'unité est attractive par son rayonnement scientifique et s'insère dans l'espace européen de la recherche L'axe « Données » est attractif par la qualité de sa production scientifique et de son rayonnement scientifique. Sa visibilité se manifeste à travers la participation des membres de l'axe à diverses activités d'évaluation de la recherche (en particulier, des comités éditoriaux de revues et des comités de programmes de conférences de référence dans le domaine). Elle se manifeste également par l'organisation ou l'animation d'événements scientifiques et par la mise en place de projets collaboratifs nationaux et internationaux.

Participation à des instances d'évaluation et d'animation de la recherche Pour ce qui est de la participation à des comités éditoriaux, on pourra noter la participation de Salem Benferhat au comité éditorial de la revue *Artificial Intelligence* et celle de Zied Bouraoui au comité éditorial de *AI Communications*. S'agissant des conférences spécialisées, on pourra relever, en particulier, la participation des membres de l'axe aux comités de programme des conférences internationales de référence suivantes (le nombre de membres de l'axe impliqués dans les PC en 2022 et 2023) :

- ICML : 4,
- NeurIPS : 4,
- AISTATS : 4,
- ECML : 2.

Comme déjà indiqué, les membres de l'axe « Données » font aussi régulièrement partie des comités de programme des principales conférences généralistes de référence en IA, comme IJCAI, AAAI et ECAI.

En matière d'animation de la recherche, on notera aussi :

- Jan. 2023 – présent : Zied Bouraoui est co-responsable du GT MHyIA (Modèles Hybrides) du GDR RADIA.
- 2018 – présent : Salem Benferhat fait partie du comité scientifique du GDR RADIA (appelé GDR IA jusqu'en 2022).

Organisation de manifestations scientifiques

- En 2023, Zied Bouraoui et Srdjan Vesic ont été co-présidents du comité de programme et d'organisation de la conférence internationale *17th European Conference on Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty (ECSQARU'23)*, qui s'est tenue à Arras du 19 au 22 septembre 2023.
- 30 oct. - 03 nov. 2023 : Salem Benferhat a co-organisé l'Institut d'Automne en Intelligence Artificielle (IA2) à Sète : *Intelligence Artificielle et Gestion des Informations et des Données Imparfaites et Hétérogènes*.
- 3-4 septembre 2023, Salem Benferhat a co-organisé *Enigma@KR2023 (1st Workshop on AI-driven heterogeneous data management : Completing, merging, handling inconsistencies and query-answering)*, Rhodes (Grèce). Les actes [sont disponibles en accès libre](#).

Collaborations internationales contractualisées Nous mentionnons ici uniquement le projet démarré après la création de l'axe « Données » en 2022.

- Depuis 2023, Salem Benferhat est porteur du projet européen Horizon Europe *STARWARS (STormwAteR and WastewAteR networkS heterogeneous data AI-driven management)*. STARWARS regroupe huit partenaires en Europe, Asie et Afrique. L'objectif principal de ce projet multidisciplinaire et d'envergure est de proposer de nouvelles approches pour la gestion des données hétérogènes. Il comporte un volet important concernant la gestion des données hétérogènes avec une application aux données issues des systèmes de gestion de réseaux d'eaux pluviales et d'eaux usées (de ce fait, il est aussi connecté à l'action transverse « IA au service des autres disciplines »).

Référence 3. L'unité est attractive par la reconnaissance de ses succès à des appels à projets compétitifs

- Depuis 2023, Saïd Jabbour est porteur de l'*ANR PRC EXPIDA (EXplainable and parsimonious Preference models to get the most out of Inconsistent DAtabases)*. Ce projet vise à développer des méthodes de raisonnement pour mieux analyser et surtout expliquer les actions que l'on peut prendre sur des données incertaines et incohérentes de façon à mieux exploiter ces données. Le consortium est composé, en plus du CRIL, des partenaires suivants : ETIS (CY Cergy Paris Université), LISN (UPSaclay) et TSP (Telecom SudParis).
- Depuis 2023, Zied Bouraoui est porteur de l'*ANR JCJC ERIANA (Event-centric Reasoning for Interpreting everyday Narratives)*. Ce projet a pour but de développer une approche de raisonnement de haut niveau sur les récits du quotidien. Le raisonnement sur les récits est centré sur la notion d'événement et plus précisément, sur les possibilités d'événement (aspects ou attentes) et les interactions (causales ou temporelles par exemple) entre événements. Il est d'abord question de développer un cadre de représentation neuro-symbolique des récits qui permettra d'encoder, de manière interprétable, les événements ainsi que leurs possibilités et les interactions entre eux. Sur la base d'un tel cadre, des modèles génératifs profonds conduisant à la découverte de connaissances sous forme de règles symboliques seront développées par la suite.
- Depuis 2022, Salem Benferhat est porteur de l'*ANR PRC CROQUIS (Collecting, Representing, cOmpleting, merging and Querying heterogeneous and Uncertain waStewater and stormwater network data)*. CROQUIS est un projet pluridisciplinaire dans lequel des chercheurs en sciences de l'eau et en IA unissent leurs efforts pour proposer de nouvelles méthodes pour la représentation, la complétion, la fusion, l'archivage, la réparation et l'interrogation des données hétérogènes décrivant les réseaux d'eaux usées. En plus du CRIL, le consortium réunit deux autres partenaires : I3S (Laboratoire d'Informatique, Signaux et Systèmes de Sophia Antipolis) et HSM (HydroSciences Montpellier).

- Depuis 2020, Stefan Mengel est porteur de [ANR PRCI EQUUS \(2020-2024\)](#) : l'objectif est d'étudier dans quelle mesure le recalcul de bases de données dynamiques peut être évité par des structures de données qui peuvent être maintenues efficacement après des mises à jour des données.

Domaine 3. Production scientifique

Référence 1. La production scientifique de l'unité satisfait à des critères de qualité. Nous donnons dans ce qui suit une synthèse des principaux résultats scientifiques de l'axe « Données » depuis sa création en 2022. Ces résultats sont organisés selon les thématiques traitées.

Approches déclaratives pour la fouille de données et l'extraction de connaissances À chaque nouveau problème de fouille de données ou une simple variante de *motifs* à énumérer, il faut généralement de nouveaux algorithmes et implémentations. Les modèles déclaratifs spécifient les conditions à remplir pour obtenir une solution à un problème spécifique dans un formalisme déclaratif et utilisent des moteurs ou des *solveurs génériques* pour résoudre ces problèmes. Il suffit alors de coder le problème étudié puis d'utiliser les mêmes outils génériques pour le résoudre. Les paradigmes déclaratifs contrastent avec les approches traditionnelles qui spécifient comment les solutions doivent être calculées. Le CRIL a une longue expérience dans le développement de solveurs de contraintes et les travaux sur les approches déclaratives pour la fouille de données tirent profit de la puissance des solveurs génériques.

Dans ([Hidouri, Raddaoui et Jabbour, 2023](#)), une nouvelle approche déclarative pour l'énumération d'itemsets rares minimaux est proposée. Cette approche est basée sur une approche SAT pour découvrir efficacement des itemsets rares k -minimaux à partir de grandes bases de données de *transactions*. Pour résoudre le problème de passage à l'échelle, l'approche se base sur le partitionnement de la base de transactions en sous-ensembles de moindre taille qui peuvent être explorés indépendamment. Dans ([Jabbour, Raddaoui et Saïs, 2023](#)), une approche déclarative pour la fouille de *règles d'association disjonctives* est proposée (une règle d'association disjonctive est une règle où la conséquence est sous forme d'une disjonction d'itemsets). Dans ([Lonlac, Dlala, Jabbour, Nguifo, Raddaoui et Saïs, 2023](#)), une approche à base de contraintes booléennes pour extraire des motifs graduels fréquents à partir de données numériques est proposée. Cette approche déclarative vise à tirer parti des progrès récents en matière de tests de satisfiabilité et de plusieurs fonctionnalités des solveurs SAT modernes pour énumérer des motifs graduels. Il est intéressant de noter que cette nouvelle approche peut facilement être étendue à des contraintes ou besoins supplémentaires, telles que des contraintes temporelles utilisées pour extraire des modèles plus spécifiques dans une large gamme d'applications de fouille de motifs graduels.

Le *k-plex* est l'un des modèles de pseudo-cliques les plus étudiés. Un k -plex de taille n est un sous-graphe où tout sommet est adjacent à au moins $(n-k)$ sommets. Malheureusement, certains k -plexes maximaux, en impliquant des sous-graphes non pertinents, sont loin de capturer des communautés significatives dans les réseaux du monde réel. Dans ([Jabbour, Mhadhbi, Raddaoui et Saïs, 2022](#)), une nouvelle variante du modèle k -plex est introduite, appelée *k-plex cohésif*, qui est plus appropriée pour modéliser des communautés en interaction étroite. Nous avons montré que le problème d'énumération des k -plexes maximaux dans un graphe se réduit à celui d'énumération des modèles d'une formule propositionnelle. Pour rendre l'énumération plus efficace, une technique de décomposition particulièrement adaptée pour dériver des sous-problèmes plus petits et indépendants, faciles à résoudre, a été proposée.

L'exploitation des symétries est une technique répandue pour élaguer un espace de recherche. En fouille de données, les symétries sont des permutations entre éléments qui laissent invariante une base de données (transactionnelle ou séquentielle). Prendre en compte des symétries présente plusieurs avantages potentiels. Comme les symétries induisent une partition des motifs séquentiels en classes d'équivalence, leur exploitation peut permettre d'améliorer le processus d'énumération, tout en réduisant la taille du résultat. Dans ([Nekkache, Jabbour, Kamel et Saïs, 2022](#)), le problème de découverte de symétries dans une base de données de séquences est étudié et une approche permettant d'éliminer ces symétries dans une étape de pré-traitement en reformulant la base de données séquentielle des transactions est proposée.

Apprentissage actif, de représentations et apprentissage pour le traitement automatique du langage

L'*apprentissage actif* est une technique d'apprentissage faiblement supervisé où l'on peut disposer à la fois de données étiquetées et non étiquetées. L'idée principale est que l'algorithme d'apprentissage peut interroger un oracle pour étiqueter certaines instances non étiquetées. Par ailleurs, l'*apprentissage en ligne* est une technique qui met à jour le

modèle à mesure que de nouvelles données sont collectées. Cette technique contraste avec l'apprentissage hors ligne où un jeu de données est collecté, puis un modèle est entraîné. Dans (Zhai, Koriche, Gao, Zhu et Li, 2022), comme expliqué dans l'introduction au portfolio de l'axe, on s'est intéressés à un nouveau cadre pour l'apprentissage actif en ligne, dans le but de traiter des problèmes de classification de grande dimension.

Toujours en lien avec les jeux de données, l'apprentissage avec peu d'exemples (*FSL* pour *Few-Shot Learning*) consiste à reconnaître de nouvelles catégories d'objets avec un nombre limité d'exemples d'entraînement. Le plongement de mots (ou *word embedding*) désigne un ensemble de méthodes permettant de représenter les mots d'un texte par des vecteurs de nombres réels. Dans (Yan, Zhang, Hou, Wang, Bouraoui, Jameel et Schockaert, 2022), une approche a été proposée pour incorporer des *embeddings* textuels de classes pour le traitement d'image et pour le typage ultra-fin d'entités. En traitement d'images, nous avons développé des méthodes qui séparent les prototypes visuels et textuels, en exploitant les *embeddings* des noms de classe issus des modèles de langues. Le traitement de la haute dimensionnalité de l'espace résultant et la fusion d'informations visuelles et textuelles sont assurés par des mécanismes d'attention. Des expériences sur miniImageNet, CUB et tieredImageNet démontrent des améliorations de l'état de l'art dans FSL. Nous avons également proposé une méthode pour améliorer les performances du typage d'entités ultra-fin en utilisant des *embeddings* de labels pré-entraînés pour regrouper les étiquettes en domaines sémantiques.

Dans (Gajbhiye, Bouraoui, Li, Chatterjee, Espinosa-Anke et Schockaert, 2023 ; Li, Kteich, Bouraoui et Schockaert, 2023) plusieurs travaux qui explorent diverses approches pour améliorer la représentation sémantique des mots et des concepts dans le domaine du traitement automatique du langage naturel (TALN) ont été présentés. Depuis l'introduction de modèles de langues, l'attention de la communauté TALN s'est portée sur le *fine-tuning* et l'exploitation de grands modèles de langage pré-entraînés, en particulier pour résoudre des tâches au niveau des phrases et des paragraphes. Cependant, modéliser avec précision le sens des mots individuels, sous forme de vecteurs statiques (c'est-à-dire non contextualisés), reste également un défi important. Les vecteurs de mots statiques sont utilisés, entre autres, comme *embeddings* de libellés pré-entraînés pour l'apprentissage sans données et l'apprentissage avec peu de données, comme représentations de concepts pour l'alignement d'ontologies, la complétion d'ontologies, l'apprentissage taxonomique, pour la substitution lexicale et la modélisation de sujets, et pour analyser les biais sociaux. Motivé par de telles applications, notre travail s'est concentré sur l'apprentissage d'*embeddings* de concepts. Nous avons exploré trois stratégies pour apprendre de tels *embeddings* : (i) ajuster finement le modèle de langage pour prédire directement les *embeddings* de concepts à partir du nom du concept lui-même, (ii) « moyenniser » les représentations contextualisées des mentions du concept dans un corpus, et (iii) encoder les définitions du concept.

Gestion de données et d'informations imparfaites La gestion des incohérences dans les bases de données et bases de connaissances incertaines est un problème très important dans de nombreux domaines. Dans certains problèmes, les incohérences concernent des données qui sont en contradiction avec des règles, des contraintes d'intégrité ou simplement des connaissances du domaine. En plus d'être incohérentes, les données peuvent être incertaines. L'incohérence dans les ontologies formelles est généralement résolue par des réparations de l'ensemble de données. Dans ce contexte, plusieurs travaux ont été conduits pour les cas où les connaissances du domaine sont spécifiées dans des logiques de description « légères », de type DL-Lite. En particulier, dans (Belabbes et Benferhat, 2022), la composante TBox de l'ontologie considérée est supposée cohérente, stable et totalement fiable alors que la partie ABox peut être incohérente par rapport à la TBox, partiellement priorisée et incertaine. L'incertitude est codée ici dans le cadre de la théorie des possibilités. Une extension du cadre DL-Lite possibiliste standard est proposée où l'ABox est codée comme une base pondérée symbolique, avec des poids attachés aux assertions qui sont ordonnés selon un ordre partiel strict. Une méthode efficace pour calculer une réparation possibiliste unique pour une ABox pondérée partiellement pré-ordonnée a été ensuite proposée. Il existe plusieurs stratégies pour sélectionner les réparations utilisées pour évaluer les requêtes, avec différents niveaux de prudence et de complexité. Dans (Laouar, Belabbes et Benferhat, 2023), nous avons pris en compte des ontologies légères partiellement ordonnées incohérentes et introduit une nouvelle méthode qui va au-delà des stratégies prudentes et qui est applicable dans le cadre qualitatif, où l'incertitude concerne uniquement les éléments de données.

Toujours à propos du traitement de l'incertitude mais cette fois-ci dans les sorties d'un modèle d'apprentissage automatique, dans (Kebir et Tabia, 2022), nous nous sommes intéressés aux probabilités prédictives d'un modèle et avons proposé une nouvelle méthode pour mieux les calibrer. En effet, dans de nombreuses applications critiques, les modèles d'apprentissage automatique doivent non seulement prédire l'étiquette de classe avec précision, mais aussi fournir la probabilité

que la prédiction soit correcte. Cette probabilité détermine si l'on peut faire confiance ou non à la prédiction. Une nouvelle approche pour calibrer les probabilités des modèles d'apprentissage automatique via une étape de post-traitement a été proposée. Le point de départ de ce travail est l'observation que la calibration est plutôt meilleure sur un petit nombre de catégories ou de sous-ensembles de classes que sur un grand nombre de classes. L'approche de calibration proposée, appelée JCPC, est basée sur la révision probabiliste des croyances et elle calibre les probabilités prédites sur les classes en utilisant les probabilités prédites sur les catégories. L'étude expérimentale réalisée sur plusieurs jeux de données et modèles d'apprentissage automatique montre des résultats très prometteurs et **l'article a été primé meilleur article dans la catégorie « étudiant » de la conférence IPMU'22.**

Complexité de la réponse aux requêtes La gestion des données passe aussi par leur stockage et interrogation. Des membres de l'axe s'intéressent à des questions de recherche amont relevant de la théorie des bases de données. Un travail a porté sur la complexité de la réponse aux requêtes : la tâche consiste, étant donné une base de données et une requête portant sur cette base, à calculer les réponses à la requête. L'objectif principal du travail réalisé a été d'obtenir une compréhension claire et approfondie de la complexité des différentes tâches de réponse aux requêtes. Cela a été appliqué à l'extraction d'informations (Amarilli, Bourhis, Mengel et Niewerth, 2020), aux requêtes du web sémantique (Mengel et Skritek, 2019), à l'évaluation MSO sur les arbres (Amarilli, Bourhis et Mengel, 2018; Amarilli, Bourhis, Mengel et Niewerth, 2019) et aux requêtes conjonctives (Bringmann, Carmeli et Mengel, 2022). Après les publications des résultats obtenus dans des actes de conférences, les articles (Amarilli, Bourhis, Mengel et Niewerth, 2020; Bringmann, Carmeli et Mengel, 2022; Mengel et Skritek, 2019) ont été invités à des numéros spéciaux de revues; signalons que l'article (Amarilli, Bourhis, Mengel et Niewerth, 2020) a remporté un *ACM SIGMOD Research Highlight Award*.

Référence 2. La production scientifique de l'unité est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels. On peut affirmer que malgré le fait que l'axe « Données » n'existe que depuis deux ans, sa production scientifique et son rayonnement sont déjà significatifs. Pour s'en rendre compte, il suffit, par exemple, de rapporter la production de l'axe à la durée de son existence et au nombre de ses membres qui sont pour la plupart engagés dans des travaux dans les autres axes et/ou dans des actions transverses du laboratoire.

Tous les membres de l'axe sont producteurs (exceptés les deux maîtres de conférences nouvellement recrutés qui n'ont pas encore de publications internationales signées CRIL depuis leur installation en septembre 2023). Quoique les premiers indicateurs soient positifs (voir tableau 3) Il est sans doute trop tôt pour tirer un bilan sur l'adéquation de la production scientifique de l'axe à son potentiel de recherche. étant donné que l'axe n'existe que depuis deux ans.

Synthèse de l'autoévaluation de l'axe « Données »

Les technologies autour des données (fouille, gestion, apprentissage) comptent parmi les technologies d'IA parmi les plus puissantes et elles ont un impact majeur et toujours grandissant dans une variété d'applications pratiques. Le CRIL a réussi à créer et faire émerger rapidement en son sein un axe qui devient visible et qui est déjà très actif. Cet axe a montré, à travers sa production et son rayonnement, son potentiel dans un domaine compétitif et porteur.

Les défis qui se posent maintenant portent sur la consolidation de ces thématiques afin de faire émerger une « signature » dans un contexte où l'IA numérique connaît beaucoup de bouleversements, depuis l'apprentissage profond dans les années 2010 jusqu'à l'IA générative en ce début de décennie. Une autre priorité pour la suite concerne la production logicielle et de jeux de données à destination de la communauté scientifique qui sont essentiels compte-tenu de la base empirique importante sur laquelle de nombreux travaux développés dans l'axe s'appuient.

3.3 Axe « Connaissances »

Les thématiques scientifiques de l'axe « Connaissances » et leurs enjeux

L'axe « Connaissances » se consacre à l'étude (l'identification, la modélisation, la représentation et l'implémentation) des différents types d'information (connaissances, croyances, préférences, actions, etc.) et de raisonnements nécessaires au développement de systèmes physiques ou virtuels évoluant de manière autonome. Des langages logiques (propositionnels, modaux, pondérés, etc.) et des modèles graphiques (réseaux bayésiens, systèmes d'argumentation abstraits, réseaux conceptuels, etc.) sont utilisés pour représenter les différentes informations (qualitatives ou numériques) disponibles. Le choix du langage de représentation des connaissances est crucial pour obtenir des propriétés désirables en termes d'expressivité, d'efficacité spatiale, de complexité algorithmique, etc. Une fois le langage de représentation fixé et le raisonnement souhaité modélisé, il s'agit de concevoir des méthodes pratiques pour réaliser ce raisonnement, et s'intéresser aux aspects calculatoires de ces méthodes, éléments importants afin de juger de leur utilisation pratique.

Les recherches conduites au sein de l'axe « Connaissances » s'articulent notamment autour des thématiques suivantes : dynamique des croyances, argumentation, raisonnement épistémique, raisonnement sur les actions, fusion d'informations, gestion des informations conflictuelles, ontologies et logiques de description, modèles graphiques et incertitude, raisonnement spatio-temporel, espaces conceptuels, compilation de connaissances.

Profil d'activités liées à la recherche

Activités (Répartir 100 points sur ces 7 items)	Points
Administration et animation de la recherche : pilotage de la recherche (VP, direction d'institut, DAS, par exemple), participation à des instances d'évaluation (CNU, CoNRS, CSS, Hcéres, par exemple), responsabilité de dispositifs Idex ou Isite, direction de projets (ANR, Horizon Europe, ERC, CPER, PIA, France 2030, par exemple), responsabilités éditoriales dans des revues ou collections nationales et internationales.	15
Aide aux politiques publiques et expertise technique : pouvoirs publics aux niveaux européen, national et régional, entreprises, instances internationales comme FAO, OMS, etc.	3
Contribution à l'adossement d'enseignements innovants à la recherche : EUR, SFRI, etc.	0
Dissémination de la recherche : partage de connaissances avec le grand public, médiation scientifique, interface sciences et société.	7
Recherche et encadrement de la recherche.	65
Valorisation, transfert, innovation.	10
Autres activités. (à préciser en une ligne maximum).	0

Le profil d'activités de l'axe « Connaissances » est similaire à celui du laboratoire. Ainsi, le secteur d'activités qui a le plus mobilisé les membres de l'axe est clairement la recherche (la production scientifique, la participation à des comités éditoriaux et de programme) et l'encadrement de la recherche (encadrements de thèses). Viennent ensuite l'administration et l'animation de la recherche pour lesquelles on pourra noter en particulier la direction du laboratoire par Pierre Marquis, la direction du **GDR IA** par Sébastien Konieczny mais aussi le pilotage de différents projets par les membres de l'axe. La dissémination de la recherche correspond essentiellement à la participation de Sébastien Konieczny et Pierre Marquis à des activités de vulgarisation.

Prise en compte des recommandations du précédent rapport

Les points à améliorer concernant l'axe « Connaissances » (appelé RCR - représentation des connaissances et raisonnements - jusqu'en 2018) mis en avant par le comité de visite lors de la dernière évaluation du CRIL ont été essentiellement ceux qui suivent.

Observation du comité d'évaluation

Un développement des moyens (financiers, doctorants) de l'axe pourrait passer par la participation à des projets de recherche européens et par le renforcement des collaborations avec le monde industriel.

Les membres de l'axe « Connaissances » ont répondu à de nombreux appels à projets durant la période de référence. Ainsi, plusieurs projets centrés sur les thématiques de l'axe ont permis d'accroître les activités, en particulier via des financements de thèses de doctorat. Parmi ces projets, nous pouvons citer la chaire IA BE4musIA (révision des croyances pour une meilleure analyse de l'information multi-sources), ainsi que les deux projets ANR PRC suivants : AGGREEY (une plate-forme basée sur l'argumentation pour la démocratie participative) et THEMIS (THéorie et Évidence pour Mesurer l'Influence dans les structures Sociales). D'autres projets ont permis également le financement de thèses, notamment le projet SURFING (*uSing argUmentation foR Fact checkING*), un "joint PhD" projet entre le CNRS et l'université d'Arizona.

Parmi les thèses démarrées depuis 2018 et financées par un des projets mentionnés précédemment, nous pouvons citer :

- En décembre 2023, Chouaib Fellaoui a soutenu une thèse sur la fusion d'informations financée par le projet ANR Chaire IA BE4musIA ;
- En 2021, Quentin Elsaesser a débuté une thèse sur les mesures de confiance par confrontation des sources dans le cadre du projet ANR Chaire IA BE4musIA ;
- Financée par le projet ANR AGREEY, Juliette Halal Rossie a débuté une thèse en 2023 sur le rôle du vote dans les systèmes argumentatifs en ligne ;
- Dans le cadre du projet CNRS SURFING, Maxime Brouat a débuté une thèse en 2023 sur le développement de méthodes à base d'argumentation pour la vérification de faits.

Observation du comité d'évaluation

L'axe RCR dispose d'atouts certains pour aborder la problématique d'explicabilité qu'il se donne comme objectif et il doit être encouragé dans cette évolution. Il serait cependant souhaitable de mettre mieux en relation les domaines d'expertise de l'axe et ce problème large. Cependant, il devra faire attention à produire des résultats susceptibles d'avoir un impact en répondant à un besoin (le besoin actuel de l'explication de mécanismes d'apprentissages étant hors du champ traité dans l'axe).

L'action transverse XAI décrite dans la partie du document relative au laboratoire dans son ensemble s'appuie sur les compétences développées depuis des années au sein de l'axe « Connaissances », qu'il s'agisse de modéliser des modèles d'apprentissage automatique ou encore des préférences utilisateur pour répondre à des finalités d'IA explicable.

Introduction du portfolio

Comme premiers éléments représentatifs de l'axe « Connaissances », nous avons sélectionné trois publications parues dans des supports généralistes ou spécialisés de référence en IA (AIJ, AAI, KR) portant sur des thématiques et problématiques majeures en représentation des connaissances (révision de croyances, complétion de bases de connaissances, argumentation) pour lesquelles les membres de l'axe ont une expertise et des compétences reconnues. Comme autre élément représentatif, nous avons choisi de mettre en avant l'investissement de Pierre Marquis en tant que co-président du comité de programme (*program co-chair*) de la conférence KR'23. Mentionnons que la conférence KR est le support spécialisé de référence pour les membres de l'axe compte tenu des thématiques traitées et de la qualité de cette conférence. Durant la période de référence, 16 articles co-écrits par au moins un membre de l'axe sont parus dans les actes de la conférence KR.

- Nicolas Schwind, Sébastien Konieczny, Ramón Pino Pérez, [On the Representation of Darwiche and Pearl's Epistemic States for Iterated Belief Revision](#) in KR-2022, pp. 320-330, 2022

Dans la définition standard de la révision itérée, donnée par Darwiche et Pearl, les états épistémiques sont des objets abstraits dont on peut extraire les croyances actuelles de l'agent, mais qui peuvent donc encoder également autant d'information que nécessaire. Cela en fait un cadre élégant, mais dans des applications pratiques, il faut bien choisir une instanciation pour coder ces états épistémiques et définir les opérateurs concrètement. Or, les théorèmes de représentation de la révision en termes d'assignements fidèles (*faithful assignment*) peuvent faire penser que l'instanciation canonique de ces états épistémiques sont les pré-ordres totaux sur les interprétations. Et de nombreux papiers sautent ce pas et travaillent directement sur cette instanciation. Dans cet article, nous avons montré que les pré-ordres totaux représentaient en fait une sous-classe des états épistémiques de Darwiche et Pearl et que l'instanciation canonique était l'espace des

fonctions ordinales conditionnelles (OCF). Il s'agit d'un résultat très important pour la compréhension du comportement des opérateurs de révision itérée.

- Zied Bouraoui, Steven Schockaert, [Automated Rule Base Completion as Bayesian Concept Induction](#) in AAI'19, pp. 6228-6235, 2019

Une attention considérable a récemment été accordée au problème de complétion automatique des bases de connaissances en appliquant une forme de raisonnement inductif. Alors que la grande majorité des travaux existants est centrée autour des graphes de connaissances, dans cet article, nous considérons un cadre où l'entrée consiste en un ensemble de règles (existentielles). À cette fin, nous avons exploité une représentation vectorielle des concepts considérés, qui est en partie induite à partir de la base de règles elle-même et en partie à partir d'une incorporation de mots pré-entraînée. Inspirés par les approches récentes d'induction de concepts, nous avons ensuite modélisé des règles dans cet espace vectoriel en utilisant des distributions gaussiennes. Contrairement à de nombreuses approches existantes, les règles ont été apprises en exploitant directement les régularités figurant dans la base de règles donnée, sans exiger qu'une base de données avec des instances de concepts et de relations soit fournie. En conséquence, cette méthode peut être appliquée à une grande variété d'ontologies. Nous avons présenté des résultats expérimentaux qui démontrent l'efficacité de notre méthode.

- Leila Amgoud, Dragan Doder, Srdjan Vesic, [Evaluation of Argument Strength in Attack Graphs : Foundations and Semantics](#) in Artificial Intelligence, vol. 302, pp. 103607, 2022

Cet article constitue une étude de la sémantique graduelle des graphes pondérés, une famille de graphes où chaque argument a un poids initial et peut être attaqué par d'autres arguments. Quatre contributions sont mises en avant. La première a consisté à poser les bases de la sémantique graduelle en proposant des principes clés sur lesquels l'évaluation de la force des arguments s'appuie. Les fondements sont importants non seulement pour une meilleure compréhension du processus d'évaluation en général, mais aussi pour clarifier les hypothèses de base qui sous-tendent la sémantique, pour comparer différentes (familles de) sémantiques et pour identifier des familles de sémantiques qui n'ont pas encore été explorées. La deuxième contribution a consisté en une analyse formelle et une comparaison complète de la sémantique qui a été définie dans la littérature pour évaluer les arguments dans les graphes pondérés. La troisième contribution est la proposition de trois nouvelles sémantiques et la mise en évidence des principes qu'elles satisfont. La dernière contribution a été la mise en œuvre et l'évaluation empirique des trois nouvelles sémantiques.

- Pierre Marquis. *Program co-chair* de [KR 2023](#) (20th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning), Rhodes, Grèce, 2-8 septembre 2023.

La conférence KR est la conférence de référence pour la communauté *Représentation des connaissances et raisonnement* (elle est classée A* dans le classement CORE 2023). L'édition 2023 de KR a accueilli 237 participants, issus de 43 pays répartis sur les 5 continents habités. 345 papiers ont été soumis à la *main track* de la conférence et parmi eux, 80 papiers ont été acceptés (69 comme papiers longs, 11 comme papiers courts), conduisant ainsi à un taux d'acceptation de 23,1%. Mentionnons également que 8 ateliers ont été organisés durant la conférence et que 6 tutoriels y ont été proposés.

Autoévaluation de l'axe « Connaissances »

Domaine 1. Profil, ressources et organisation de l'unité

Référence 1. L'unité s'est assigné des objectifs scientifiques pertinents Nous décrivons ici brièvement des travaux représentatifs des thèmes de recherche et des questions traités au sein de l'axe « Connaissances » au cours de la période 2018-2023. La plupart des travaux décrits s'insèrent dans le cadre de projets (dont les noms sont mentionnés).

Une partie de nos travaux (développés dans le cadre de la chaire BE4musIA) a concerné la détection des *fake news*, dont l'importance est aujourd'hui manifeste. Plus précisément, il s'est agi d'extraire de l'information pertinente de sources d'information émettant des informations possiblement contradictoires mais aussi d'évaluer la fiabilité des sources mises en jeu.

Nous avons également développé des modèles d'argumentation pour la démocratie participative. Concevoir et évaluer des méthodes permettant d'identifier les arguments clés dans des débats en ligne et d'expliquer les tendances et les positions

des participants furent parmi les objectifs considérés dans le cadre du projet AGGREEY. D'autres objectifs, considérés dans les projets RHAPSSODY et SURFING, ont visé à distinguer les informations factuelles des informations trompeuses.

Dans d'autres directions, diverses approches originales ont été proposées par des membres de l'axe « Connaissances » pour le traitement de données et d'informations hétérogènes, la classification à partir de données incertaines, l'analyse de données volumineuses et le raisonnement avec des ontologies dans le contexte d'une application pour l'animation numérique (réalisée dans le cadre du projet AniAge). Ces travaux nous ont notamment conduits à étudier l'inférence dans les réseaux possibilistes et proposer des implémentations de résolution des requêtes MPE et MAP. Ils nous ont également conduit à proposer une méthode de gestion des incohérences dans les ontologies formelles, dans lesquelles les assertions sont partiellement pré-ordonnées.

Enfin, d'autres travaux réalisés au sein de de l'axe « Connaissances » (et dans le cadre du projet THEMIS) ont visé à produire une théorie générale ordinale des situations d'interaction coopérative et des indices de pouvoir pour diverses problématiques de classement social.

Référence 2. L'unité dispose de ressources adaptées à son profil d'activités et à son environnement de recherche et les mobilise L'axe « Connaissances » compte actuellement neuf membres permanents (un directeur de recherche CNRS, un chargé de recherche CNRS HDR, trois professeurs des universités et quatre maîtres de conférences dont un HDR). Il est à noter que durant la période 2018-2023, six membres permanents ont quitté l'axe « Connaissances » pour rejoindre un autre axe du CRIL ou une autre unité de recherche. En détail, Sylvain Lagrue a rejoint l'Université de Technologie de Compiègne (laboratoire Heudiasyc) en septembre 2018 en tant que professeur des universités. Ivan Varzinczak a obtenu une mutation à l'université Paris 8 (laboratoire LIASD) en septembre 2022. Salem Benferhat, Zied Bouraoui, Frédéric Koriche et Karim Tabia ont rejoint l'axe « Données ». Outre les neuf membres permanents du laboratoire rattachés principalement à l'axe, treize autres membres permanents (un chargé de recherche CNRS, huit professeurs des universités et quatre maîtres de conférences) ayant une activité principale dans un des deux autres axes participent aussi aux activités de l'axe « Connaissances ».

Domaine 2. Attractivité

Référence 1. L'unité est attractive par son rayonnement scientifique et s'insère dans l'espace européen de la recherche Le rayonnement scientifique et la visibilité de l'axe « Connaissances » se traduisent par des participations régulières de ses membres à des comités de programmes de conférences de référence, généralistes ou spécialisées dans le domaine. Nous donnons ici une liste de conférences sélectionnées (entre parenthèses le nombre de membres impliqués dans les conférences retenues sur la période de référence) dans lesquelles ont participé les membres du laboratoire principalement rattachés à l'axe :

- KR (15, 1 Member Best Paper Awards Committee, 2 Program Co-Chair Recently Published Research Track, 1 Program Co-Chair),
- IJCAI (19 PC, 8 SPC, 1 Associate Program Chair, 5 Area Chair, 2 PC member survey track),
- AAAI (20 PC, 3 SPC),
- ECAI (10 PC, 2 SPC),
- COMMA (9 PC),
- ECSQARU (6 PC),
- AAMAS (8 PC),
- JELIA (7 PC),
- NMR (8 PC).

Nous pouvons également mentionner qu'Ivan Varzinczak est éditeur associé de la revue *Artificial Intelligence* depuis 2021 et de la revue JAIR (*Journal of Artificial Intelligence Research*) depuis 2019. Il est également membre du comité de pilotage de l'atelier international NMR (*International Workshop on Nonmonotonic Reasoning*) depuis 2020.

En matière d'animation de la recherche, on pourra noter aussi que Tiago de Lima est co-responsable du **GT MAFTEC** du GDR RADIA depuis janvier 2023. En outre, des membres de l'axe ont également été impliqués dans l'organisation de différentes conférences et *workshops* :

- En 2023, Zied Bouraoui et Srdjan Vesic ont été co-présidents du comité de programme et d'organisation de la conférence internationale [ECSQARU'23](#) (*17th European Conference on Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty*).
- En 2023, Srdjan Vesic a co-organisé le workshop [kodis@KR2023](#) (*2nd International Workshop on Knowledge Diversity*), Rhodes (Greece).
- En 2020, Pierre Marquis a co-organisé le *workshop* international [GKR'20](#) (*6th International Workshop on Graph Structures for Knowledge Representation and Reasoning*) dans le cadre de la conférence ECAI'20 (ce *workshop* s'est tenu en ligne).
- Tiago de Lima et Zied Bouraoui ont été co-présidents des Journées d'Intelligence Artificielle Fondamentale (JIAF), en 2018 et 2019 pour le premier, et de 2020 à 2023 pour le second.

Référence 3. L'unité est attractive par la reconnaissance de ses succès à des appels à projets compétitifs

Pendant la période de référence, les membres de l'axe « Connaissances » ont été impliqués dans de nombreux projets. Nous débutons par la présentation des projets ayant commencé après 2018 et sont toujours en cours. Dans un second temps, nous mentionnons ceux qui se sont achevés en 2023 au plus tard. Les projets concernant la thématique de la compilation de connaissances (qui est à cheval entre l'axe « Connaissances » et l'axe « Contraintes ») sont présentées dans la partie du document relative à l'axe « Contraintes ».

Projets en cours

- [ANR CHAIRE IA BE4musIA](#) (*BE*lief change *FOR* better *MU*lti-Source *IN*formation *AN*alysis), 2020-2025, porté par Sébastien Konieczny : dans le contexte d'un flot continu d'informations potentiellement contradictoires et multi-sources, il est impératif de se former une opinion à partir des informations perçues tout en évaluant la fiabilité des sources qui les fournissent. Nous étudions ces deux tâches et proposons pour les traiter le développement d'outils de représentation des connaissances et de modélisation du raisonnement, ainsi que d'outils provenant de la théorie des jeux et de la théorie du choix social visant à prendre en compte les aspects stratégiques et de décision.
- [ANR PRC AGGREEY](#) (une plate-forme basée sur l'argumentation pour la démocratie participative), 2023-2026, porté par Srdjan Vesic : dans le cadre des systèmes de débat et de consultation en ligne, l'objectif de ce projet est d'utiliser la théorie de l'argumentation computationnelle et le traitement du langage naturel afin de détecter les arguments les plus importants dans les débats, d'estimer les degrés d'acceptabilité des arguments mis en avant et de prédire la décision qui sera prise à l'issue du débat.
- [ANR PRC THEMIS](#) (Théorie et Évidence pour Mesurer l'Influence dans les structures Sociales), 2021-2026, porté par Sébastien Konieczny : ce projet vise à produire une théorie générale ordinale des situations d'interaction coopérative et des indices de pouvoir pour la formulation d'un portefeuille de solutions de classement social, appliquée à différents domaines de l'IA, tels que l'aide à la décision, la théorie des jeux, le choix social computationnel et les systèmes multi-agents.
- [Projet CNRS SURFING](#) (*uSing argUmentation foR Fact-checkING*), 2023-2026, porté par Srdjan Vesic : ce projet vise à utiliser des nouvelles technologies pour faire face à la difficulté croissante de distinguer les informations factuelles des informations trompeuses. En collaboration avec des collègues de l'université d'Arizona, Srdjan Vesic et Maxime Brouat (doctorant au CRIL financé par ce projet) développent des méthodes robustes et globales de vérification des faits. Leur travail consiste à extraire des arguments du web et à construire des graphes de faits agnostiques pour indiquer si les faits s'attaquent ou se soutiennent mutuellement. Grâce à cette connaissance, ils visent à attribuer une valeur de véracité à un argument donné.
- [PHC Pavle Savić SATTORI](#) (*Studying human compliance with argumentation principles : Creating a rational-based framework for overcoming polarisation*), 2023-2024, porté par Srdjan Vesic : en collaboration avec des psychologues, nous étudions le problème de la polarisation et des théories du complot. Ce projet vise à définir un paradigme de raisonnement pouvant aider les humains à être plus rationnels lorsqu'ils raisonnent et discutent.

Projets terminés lors de la période de référence

- [Projet CNRS IEA RHAPSSODY](#) (Théorie de l'argumentation et traitement du langage naturel pour la démocratie participative), 2022-2023, porté par Srdjan Vesic : l'objectif de ce projet était d'identifier les arguments les plus pertinents listés sur les plateformes de débat en ligne, de calculer des degrés d'acceptabilité pour ces arguments en utilisant des informations extraites du web et d'estimer enfin la décision à prendre.

- **PEPS INS2I MODERN** (Fusionner des sources distribuées pour améliorer questions-réponses), 2019, porté par Zied Bouraoui : ce projet à la croisée de l'IA symbolique et numérique visait à fournir des méthodes de fusion robustes pour les questions-réponses, capables d'agréger plusieurs sources web ouvertes afin d'obtenir des réponses fiables.
- **PEPS INS2I APOLONIO** (*Argument Patterns in computer supported cOllaborative LearNing*), 2018, porté par Srdjan Vesic : ce projet était centré sur l'étude des stratégies de collaboration des personnes d'un petit groupe conduisant à la résolution rapide d'un problème informatique de programmation. Nous avons notamment étudié les types des arguments échangés entre les participants, les relations entre ces arguments et le succès du groupe.
- **PRC Royal Society** (*Non-Classical Reasoning for Enhanced Ontology-based Semantic Technologies*), 2019-2020, porté par Ivan Varzinczak : le but de ce projet était de développer des synergies entre logiques non classiques et de description. Sur cette base, nous avons conçu de nouvelles méthodes logiques générales avec lesquelles on peut mieux comprendre, formaliser et traiter les différents aspects et nuances du raisonnement non classique à tous ses niveaux.
- **Projet joint CNRS et FACEPE** (*Reconciling Description Logic and Non-Monotonic Reasoning in the Legal Domain*), 2017-2019, porté par Ivan Varzinczak : ce projet avait comme objectif d'intégrer les logiques de description avec les formalismes pour le raisonnement non monotone en général et avec les approches par défaut et révisable en particulier de façon à ce que l'on puisse modéliser des situations dynamiques, des exceptions et d'autres aspects du raisonnement, comme le raisonnement légal et l'argumentation.
- **H2020-MSCA-RISE-2015 AniAge** (*High Dimensional Heterogeneous Data based Animation Techniques for Southeast Asian Intangible Cultural Heritage Digital Content*), 2016-2019, porté par Salem Benferhat puis par Sylvain Lagrue et Karim Tabia : un des objectifs de ce projet pluridisciplinaire a été le développement d'approches permettant la gestion de données volumineuses et hétérogènes dans le contexte d'une application à l'héritage culturel immatériel des pays d'Asie du Sud-Est.

Domaine 3. Production scientifique

Référence 1. La production scientifique de l'unité satisfait à des critères de qualité.

Gestion des informations conflictuelles

Une des questions centrales dans notre axe de recherche est celle de la gestion des informations conflictuelles. Cette section résume certains de nos travaux sur cette problématique.

Nous avons développé une nouvelle approche pour consolider des bases de connaissances représentées sous forme de formules de logique modale (Bouraoui, Lagniez, Marquis et Montmirail, 2020). Notre méthode vise à garantir la cohérence d'une base de connaissances même si la base initiale ne l'est pas. Contrairement aux méthodes existantes qui sélectionnent des sous-bases cohérentes maximales, notre approche identifie et consolide de manière itérative les sous-formules incohérentes localement. Cette approche se révèle particulièrement utile pour les bases de connaissances composées d'une seule formule modale incohérente, une situation où les méthodes traditionnelles échouent en produisant une base consolidée qui est vide. De plus, notre approche préserve plus d'informations que les approches procédant par extraction de sous-bases cohérentes maximales et la taille de la base consolidée dans notre approche reste limitée par celle de la base d'origine.

Nous avons aussi étudié la classe de relations de conséquence non monotones disjonctives, laquelle se situe entre les classes préférentielle et rationnelle (Booth et Varzinczak, 2020, 2021). Nous nous sommes posés la question de ce qu'est une forme raisonnable de conséquence non monotone disjonctive et avons proposé un ensemble de postulats afin de la caractériser. Il se trouve que ces postulats, tous raisonnables individuellement, ne peuvent pas être satisfaits tous à la fois, ce que nous avons démontré à travers un résultat d'impossibilité. En revanche, nous avons proposé une construction de la clôture disjonctive d'une base d'énoncés conditionnels, laquelle satisfait un bon nombre des postulats attendus.

Lorsque l'on veut tirer des inférences non triviales à partir d'une base de croyances incohérente, une approche naturelle consiste à tirer parti des sous-ensembles cohérents maximaux de la base. Toutefois, il existe peu de relations d'inférence à partir de sous-ensembles cohérents maximaux et elles ne conviennent pas forcément. Nous avons proposé de nouvelles relations de ce type, basées sur la sélection de certains des sous-ensembles cohérents maximaux, conduisant ainsi à des relations d'inférence avec un pouvoir inférentiel plus fort (Konieczny, Marquis et Vesic, 2019). Le processus de sélection

doit obéir à certains principes pour s'assurer qu'il conduit à une relation d'inférence qui est rationnelle (au sens de Kraus-Lehmann-Magidor). Nous avons défini une classe générale de relations de sélection monotones pour comparer des ensembles cohérents maximaux, garantissant ainsi l'obtention d'une relation d'inférence rationnelle selon Kraus-Lehmann-Magidor.

Enfin, dans (Casini, Meyer et Varzinczak, 2021), nous avons introduit une notion de contexte avec lequel on peut paramétrer un énoncé conditionnel de sorte à permettre de raisonner de façon non triviale lorsque l'antécédent d'un énoncé conditionnel est faux (comme, par exemple, lorsque l'on réalise des raisonnements de type contrefactuel). Nous avons proposé une sémantique adéquate et intuitive pour ces conditionnels, avec un ensemble de postulats capturant les propriétés souhaitées pour ce cadre, et avons démontré des théorèmes de représentation correspondants.

Dynamique des croyances

Dans le cadre de la révision de croyances du type AGM usuel, nous avons introduit une classe d'opérateurs appelés opérateurs de promotion (Schwind, Konieczny et Marquis, 2018a), englobant les opérateurs de révision et de contraction comme cas particuliers, tout en offrant d'autres types de modifications intermédiaires. Ces opérateurs traitent certains modèles de la nouvelle information et sélectionnent certains modèles des anciennes croyances de l'agent (la révision n'en retenant aucun, la contraction les gardant tous). Nous avons démontré que nos opérateurs de promotion peuvent être décrits comme des opérateurs de révision non commutative : chaque résultat d'une promotion peut être formulé comme une disjonction entre une révision des croyances par la nouvelle information et une autre révision de la nouvelle information par les croyances.

Nous avons également considéré le problème de l'identification de la formule de changement dans un scénario de révision de croyances : supposons une annonce inconnue (une formule μ) qui a conduit un ensemble d'agents à réviser leurs croyances et supposons que nous ayons accès aux croyances antérieures et aux croyances révisées des différents agents, quelle information pouvons-nous obtenir de l'annonce μ qui a été faite? Nous avons montré dans (Schwind, Inoue, Konieczny, Lagniez et Marquis, 2019) que sous des conditions faibles sur la rationalité des opérateurs de révision utilisés par les agents, l'ensemble des formules candidates a la forme d'un intervalle logique. Les bornes de cet intervalle peuvent être resserrées lorsque les opérateurs de révision utilisés par les agents sont connus et/ou lorsque μ est connu pour être indépendant d'un ensemble donné de variables.

Le changement de croyance itéré vise à déterminer comment l'état de croyance d'un agent rationnel évolue étant donné une séquence de formules de changement. Plusieurs familles d'opérateurs de changement de croyance itéré (opérateurs de révision, opérateurs d'amélioration) ont été proposées et caractérisées d'un point de vue axiomatique. Le travail présenté dans (Schwind, Konieczny, Lagniez et Marquis, 2020) se concentre sur le problème d'inférence pour le changement de croyances itéré, lorsque les états de croyances sont représentés à l'aide de bases de croyances stratifiées. La complexité de calcul du problème d'inférence est identifiée et montrée identique pour tous les opérateurs de révision satisfaisant les postulats de Darwiche et Pearl (R1-R6). Nous avons donné également des bornes de complexité pour le problème d'inférence pour la famille des opérateurs d'amélioration douce (*soft improvement*). A propos de la révision itérée, nous avons montré que les opérateurs de fusion de croyances pouvaient être utilisés en tant qu'opérateurs d'amélioration (*improvement*), et qu'ils satisfaisaient une propriété intéressante de commutativité, souhaitable dans certaines applications, mais qui n'est pas satisfaite par les opérateurs d'amélioration classiques (Schwind et Konieczny, 2020).

Un point important soulevé dans ce travail a été l'utilisation d'une instantiation particulière des états épistémiques. Comme déjà évoqué, dans la définition standard de la révision itérée, donnée par Darwiche et Pearl, ces états épistémiques sont des objets abstraits dont on peut extraire les croyances actuelles de l'agent et qui peuvent encoder autant d'information que nécessaire. Les opérateurs définis dans (Schwind et Konieczny, 2020) ne sont pas représentables dans l'instanciation classique des états épistémiques, i.e., par des pré-ordres totaux. Le problème abordé a alors été de déterminer une instantiation canonique pour les opérateurs de révision itérée et d'amélioration. Nous avons montré (Schwind, Konieczny et Pino Pérez, 2022a) que cette instantiation canonique est l'espace des fonctions ordinales conditionnelles (OCF). Nous avons ensuite revu les postulats standard concernant l'itération, et montré qu'une généralisation, pourtant naturelle, ne correspond qu'à trois opérateurs de révision possibles (Schwind, Konieczny et Pino Pérez, 2023).

Nous nous sommes aussi intéressés à la formalisation de la notion de mise-à-jour (*update*), et nous avons corrigé un défaut important dans la caractérisation standard, qui autorise toute transition à s'effectuer, ce qui n'est pas raisonnable

la plupart du temps (Fermé, Konieczny, Pino Pérez et Schwind, 2023).

Nous avons également étudié des opérateurs de révision définis dans le cadre de la logique paraconsistante LP. Ce travail est particulièrement intéressant car le maintien de la cohérence est au cœur des principes (et donc de l'axiomatisation) des opérateurs de révision. Étudier des opérateurs de révision (non triviaux) dans des cadres autorisant l'incohérence permet donc d'exhiber quelle est la partie de la caractérisation qui est liée à la cohérence et celle qui est réellement dédiée à la minimisation du changement (Schwind, Konieczny et Pino Pérez, 2022b).

En ce qui concerne la révision itérée, nous sommes également revenus sur l'hypothèse que les informations arrivent bien ordonnées, de la moins fiable à la plus fiable, qui reste une hypothèse très contestable. Nous avons défini des opérateurs de reconfiguration (Konieczny, Perrotin et Pino Pérez, 2023), où ces informations sont réordonnées selon la fiabilité (calculée par notre méthode) des sources ayant fourni les informations.

Le travail réalisé dans (Schwind, Inoue et Marquis, 2023) concerne enfin le changement de croyances dans le cadre de classeurs booléens. Une opération de changement, appelée édition, a été définie. Éditer un classeur booléen vise à déterminer la manière dont il doit être modifié face à de nouvelles évidences (des exemples positifs ou des exemples négatifs du concept représenté par le classeur). Notre objectif principal a été de définir les manières rationnelles de procéder à de telles modifications. Cela est passé par un certain nombre de postulats de rationalité inspirés de ceux considérés jusqu'à présent pour la révision des croyances. Nous avons donné un théorème de représentation et présenté quelques familles d'opérateurs d'édition satisfaisant les postulats. Nous avons aussi situé ce travail face à l'apprentissage incrémental et à la rectification de classeurs, utilisée à des fins d'IA explicable.

Fusion d'informations

Dans le cadre de la fusion de croyances propositionnelles, nous avons proposé un nouveau postulat (Schwind et Marquis, 2018), appelé postulat de consensus. Ce postulat impose que la base fusionnée que l'on souhaite définir soit cohérente avec les informations fournies par chaque agent impliqué dans le processus de fusion. L'interaction de ce nouveau postulat avec les postulats standard IC pour la fusion des croyances a été étudiée et un résultat d'incompatibilité a été mis en évidence. Nous avons pu identifier les ensembles maximaux de postulats IC qui sont cohérents avec le postulat de consensus. Nous avons aussi introduit deux classes d'opérateurs de consensus, satisfaisant la plupart des postulats IC et présentant un comportement raisonnable (i.e., pas trop pauvre) du point de vue inférentiel.

Les opérateurs de fusion usuels calculent les résultats de la fusion en utilisant l'ensemble de toutes les interprétations, y compris celles qui ne satisfont pas les contraintes d'intégrité. Or, si ces contraintes encodent des contraintes fortes telles que des contraintes physiques, les interprétations ne les satisfaisant pas sont inconcevables, il est donc contestable de prendre ces interprétations en compte dans le calcul. Nous avons défini plusieurs notions de rationalisation (Schwind, Konieczny et Marquis, 2018b), qui caractérisent les opérateurs insensibles à ces interprétations inconcevables. Nous avons obtenu des résultats plutôt négatifs, en montrant qu'une rationalisation par mise-à-jour était impossible, que la rationalisation par révision et par extension étaient équivalentes, et que le seul opérateur rationalisable pour l'extension était l'opérateur à base de distance utilisant la distance drastique et la somme. Ce travail a permis au passage d'obtenir une caractérisation logique supplémentaire de cet opérateur.

Nous avons montré que les opérateurs de fusion à base de distance usuels pouvaient être utilisés afin de trouver la vérité parmi un ensemble d'informations fournies par des sources fournissant des visions bruitées de cette vérité. Plus exactement, nous avons montré (Everaere, Konieczny et Marquis, 2021) que les opérateurs de fusion satisfaisant les postulats usuels sont des opérateurs de maximum de vraisemblance (*maximum likelihood estimators*). Nous avons présenté les opérateurs de maximum de vraisemblance à utiliser pour certains bruits donnés. Nous avons montré expérimentalement que ces opérateurs donnent en pratique les résultats attendus, sans avoir besoin de considérer en entrée des tailles de profils très importantes.

Nous nous sommes également intéressés aux liens entre les opérateurs de fusion et les méthodes de vote de Borda (Everaere, Fellah, Konieczny et Pino Pérez, 2021). Cela nous a permis de définir de nouveaux opérateurs de fusion, mais aussi d'importer en fusion une nouvelle classe de postulats, inspirée de la propriété de « *cancellation* » caractérisant la méthode de vote de Borda. Cela nous a permis de caractériser exactement une méthode de fusion. Cette approche ouvre aussi la porte à d'autres caractérisations et à la définition de nouveaux opérateurs de fusion.

Nous sommes enfin revenus sur une hypothèse standard en fusion, qui est que toutes les sources d'information à fusionner ont la même importance. En effet, dans de nombreux cas pratiques, certaines sources sont plus importantes ou fiables que d'autres. Il semble donc naturel de prendre en compte ces différences de fiabilité relatives pour la fusion. Nous avons donc étendu les postulats et la caractérisation des opérateurs de fusion afin d'obtenir des opérateurs gérant ces poids de manière rationnelle (Everaere, Fellah, Konieczny et Pino Pérez, 2023).

Argumentation

L'argumentation est un modèle de raisonnement basé sur la construction d'arguments, ainsi que d'attaques et de supports entre eux. Nous avons étudié les façons d'utiliser l'argumentation pour faciliter les débats en ligne. Nous avons d'abord travaillé sur les principes qu'une sémantique d'argumentation doit satisfaire, notamment sur les sémantiques graduelles des graphes pondérés, une famille de graphes où chaque argument a un poids initial et peut être attaqué par d'autres arguments (Amgoud, Doder et Vesic, 2022).

Une autre question étudiée a été celle des arguments contradictoires, c'est-à-dire, les arguments qui s'auto-attaquent. Nous avons analysé la meilleure façon de les évaluer (Beuselinck, Delobelle et Vesic, 2023). Un consensus existe pour les sémantiques basées sur les extensions car ces arguments sont toujours rejetés. Dans le cas d'une sémantique graduelle, la question est plus complexe, car d'autres critères doivent être pris en compte. Nous avons vérifié l'impact de ces arguments en utilisant une approche basée sur divers principes qui ont été formulés. Des principes tels que l'auto-contradiction et l'auto-contradiction forte indiquent comment traiter les arguments qui s'auto-attaquent. Nous avons montré qu'ils sont incompatibles avec le principe d'équivalence bien connu (qui est satisfait par la quasi-totalité des sémantiques graduelles existantes), ainsi qu'avec d'autres principes (par exemple, le principe de comptage - *counting*). Cette incompatibilité n'a pas été étudiée jusqu'à présent et la sémantique satisfaisant l'auto-contradiction reste sous-explorée.

Une autre notion très importante est celle de support entre arguments. Nous avons introduit et étudié sept types de sémantiques pour les cadres d'argumentation bipolaires (Yu, Al Anaissy, Vesic, Li et Torre, 2023). Chaque sémantique étend l'interprétation de l'attaque avec une interprétation distincte du soutien. Tout d'abord, nous avons introduit trois types de sémantiques basées sur la défense en adaptant les notions de défense existantes. Ensuite, nous avons examiné deux types de sémantiques basées sur la sélection qui sélectionnent les extensions en comptant le nombre de supports. Enfin, nous avons analysé deux types de sémantiques traditionnelles basées sur la réduction en fonction d'interprétations déductives et nécessaires du support. Nous avons aussi formalisé la notion de soutien dans le sens qu'un support doit être positif. Un nouveau postulat, la monotonie, empêche la relation de soutien de dégrader le statut d'acceptation de l'argument soutenu. Nous avons présenté une famille générale de sémantiques basées sur l'extension pour les systèmes bipolaires (SBB) et nous avons prouvé un résultat de caractérisation liant les postulats qu'une sémantique SBB satisfait aux propriétés des fonctions d'agrégation utilisées pour la définir (Gargouri, Konieczny, Marquis et Vesic, 2021). L'argumentation bipolaire étudie les graphes d'argumentation où les attaques sont combinées avec une autre relation entre les arguments. Nous avons étudié d'autres relations qui peuvent être combinées avec les attaques, notamment les nécessités. Nous avons fourni une première étude des sémantiques graduées dans ce contexte. A cette fin, nous avons proposé un ensemble de postulats spécifiquement conçus pour les nécessités et nous avons mis en évidence la première sémantique basée sur le classement qui respecte ces postulats (Doder, Vesic et Croitoru, 2021).

D'autres contributions ont concerné les attaques n-aires (Yun, Vesic et Croitoru, 2020) et les problèmes inverses pour l'argumentation (Oren, Yun, Vesic et Baptista, 2022).

Enfin, la dernière contribution que nous souhaitons mentionner dans cette section concerne l'interaction humain-machine (Vesic, Yun et Teovanovic, 2022). Nous avons examiné divers principes fondant les sémantiques de l'argumentation graduée - indépendance, anonymat, précedence nulle (*void precedence*) et maximalité - pour déterminer s'ils modélisent de manière réaliste le raisonnement humain, si la représentation graphique des arguments facilite le respect des principes, s'il existe une corrélation positive entre le respect des différents principes, et si ce respect est lié à la réflexion cognitive, au besoin de cognition et à la foi en l'intuition. Des participants ont été assignés au hasard à l'une des deux conditions expérimentales retenues - le groupe graphique a reçu des représentations textuelles et graphiques, tandis que le second groupe n'a reçu que des arguments textuels. Les résultats obtenus ont montré qu'il existe des différences majeures dans le respect des différents principes d'argumentation étudiés. La conformité aux principes d'argumentation a été systématiquement meilleure et plus cohérente dans le groupe graphique. De plus, une corrélation entre la réflexion cognitive et le respect de certains principes est apparue, mais uniquement pour le groupe graphique.

Raisonnement épistémique

Les décisions des agents rationnels est souvent guidée par leurs intentions, dans le sens où les agents exécutent les actions qui résultent le plus probablement dans une situation où leurs intentions sont atteintes. En utilisant cette idée, nous avons proposé dans (Chetcuti-Sperandio, Goudyme, Lagrue et Lima, 2020) et (Goudyme, Chetcuti-Sperandio, Lagrue et Lima, 2019) une méthode pour la vérification de l'intention des agents : soit une description d'un jeu, un état du jeu et l'action exécutée par l'agent dans cet état, la méthode vérifie si l'agent agit avec l'intention d'atteindre une situation où la proposition P est vraie. Nous avons montré, entre autres choses, que l'intention définie de cette manière satisfait les principes de la théorie de l'asymétrie de Bratman.

Dans la communauté de la représentation des connaissances, il est largement accepté qu'un agent croit au moins qu'une proposition P est vraie si et seulement si P est vraie dans toutes les situations considérées possibles par l'agent. De manière analogue, l'agent croit au plus que P est vraie si et seulement si toutes les situations où P est vraie sont considérées possibles par l'agent. Dans le cas où les deux types de croyances (au moins et au plus) sont vraies, l'agent croit uniquement (« *only believes* ») que P est vraie. Le raisonnement sur ce dernier type de croyances demande la construction d'un modèle universel, dont la représentation naïve est de taille exponentielle. Dans (Lima, Lorini et Schwarzenruber, 2023), nous avons proposé une logique capable de modéliser le concept de « *only believing* » multi-agent de façon efficace. Cette contribution contient la première implémentation d'un algorithme de vérification des formules exprimant ce concept.

Raisonnement sous incertitude

Une partie des travaux de l'axe a porté sur le raisonnement plausible en utilisant des modèles graphiques et logiques qualitatifs. La révision et le raisonnement sous incohérence font souvent appel à une relation de plausibilité (ou d'importance, ou de spécificité) entre les différentes informations disponibles. Nous avons en particulier mis l'accent sur l'étude de formalismes utilisant une représentation de l'incertitude qui est ordinale ou qui utilise des intervalles.

Des modèles graphiques et logiques incertains à intervalles ont été proposés sans la notion de conditionnement, pourtant essentielle pour les opérations de mise-à-jour des informations incertaines. Pour combler ce manque, nous avons donné une première définition naturelle du conditionnement dans le cadre de la logique possibiliste à intervalles (Benferhat, Kreinovich, Levray et Tabia, 2018). Afin d'apporter une justification sémantique à cette définition, nous avons réalisé l'analyse d'un nombre important de propriétés souhaitables pour la définition du conditionnement à intervalles. Nous avons finalement pu identifier trois postulats de rationalité qui garantissent l'unicité du conditionnement que nous avons défini. Dans (Tabia, 2022) nous avons étudié le problème de la mise-à-jour des informations incertaines spécifiées sous la forme d'intervalles de probabilités avec de nouvelles informations incertaines, également exprimées sous forme d'intervalles de probabilités. Nous nous sommes placés dans le cadre de la règle de conditionnement de Jeffrey et avons proposé des extensions de ce conditionnement pour le cadre par intervalles. Plus précisément, nous avons étendu d'abord la règle de Jeffrey aux ensembles crédaux puis proposé des extensions de la règle de Jeffrey à trois règles de conditionnement courantes pour les probabilités à intervalles (conditionnement robuste, de Dempster et géométrique).

L'inférence dans les réseaux possibilistes a été largement étudiée et de nombreux algorithmes ont été proposés. Toutefois, aucune étude approfondie n'avait été conduite jusqu'ici dans le but d'identifier la complexité de l'inférence dans les réseaux possibilistes. Pour changer cela, dans (Benferhat, Levray et Tabia, 2019 ; Levray, Benferhat et Tabia, 2020), nous avons effectué une analyse de la complexité de calcul des requêtes pour les réseaux possibilistes. Nous avons montré que les problèmes de décision associés aux requêtes MAP et MPE dans les réseaux possibilistes qualitatifs (basés sur le minimum) et quantitatifs (basés sur le produit) sont NP-complets. Nous avons également proposé des réductions permettant d'implémenter ces requêtes à l'aide d'un solveur SAT.

Raisonnement non monotone au-delà du cas propositionnel

Nous avons travaillé sur des extensions de l'approche pour le raisonnement défaisable dite préférentielle à des logiques plus expressives que la logique propositionnelle classique, notamment les logiques de description et les logiques modales. Même si les dernières décennies ont vu un nombre important de tentatives visant à incorporer des capacités à raisonner de façon réfutable dans des logiques plus expressives que la logique propositionnelle, elles ont principalement été motivées par l'extension uniquement de la syntaxe ou de la sémantique préférentielle sous-jacente. Une sémantique intuitive et des théorèmes de représentation correspondants restaient encore à produire jusqu'à ce que nous proposons une sémantique

de base pour étendre les relations de conséquences défaisables à la logique modale, aux logiques de description (Britz, Casini, Meyer, Moodley, Sattler et Varzinczak, 2020 ; Britz et Varzinczak, 2019a), aux logiques temporelles et à Datalog.

Dans (Britz et Varzinczak, 2019b) nous avons défini une méthode de preuve par tableaux sémantiques pour une logique de description non monotone enrichie avec des opérateurs pour exprimer la non-monotonie au niveau objet (celui des opérateurs) et qui permet de raisonner en présence de contextes informés par les noms de rôles utilisés dans la spécification d'une ontologie formelle. Un autre travail a concerné une logique temporelle linéaire révisable (LTL révisable) que nous avons proposée et étudiée dans (Chafik, Cheikh-Alili, Condotta et Varzinczak, 2019, 2023). Cette logique étend la sémantique et la syntaxe de la logique LTL classique par l'intégration d'une sémantique basée sur une approche préférentielle et d'une version révisable des différents opérateurs temporels classiques, permettant ainsi de considérer des instants plus ou moins normaux et de raisonner sur des propriétés d'un système pouvant tolérer des exceptions lors de son exécution. Une étude du problème de la satisfiabilité des formules de LTL révisable nous a permis d'établir des résultats de complexité et de proposer des méthodes de résolution de ce problème pour différents sous-langages (Chafik, Cheikh-Alili, Condotta et Varzinczak, 2021).

Par ailleurs, nous avons réussi à redéfinir la notion de clôture rationnelle, largement étudiée dans le cadre propositionnel, à certaines des logiques proposées, fournissant ainsi des bases concrètes pour des investigations sur cette notion dans des formalismes plus structurés que le formalisme propositionnel. Dans (Britz, Casini, Meyer, Moodley, Sattler et Varzinczak, 2020), nous avons proposé un algorithme pour le calcul de la clôture rationnelle en logique de description lequel se réduit à un nombre polynomial d'appels à des solveurs classiques et nous avons démontré sa correction par rapport aux définitions sémantiques. L'implémentation réalisée pour le cas de ces logiques nous a permis de réaliser des expérimentations avec de ontologies réelles contenant des énoncés de subsomption défaisables.

Un autre résultat fructueux des travaux réalisés suivant cette ligne de recherche a été la conception d'extensions supplémentaires du raisonnement réfutable au-delà des notions couramment étudiées dans la littérature. Parmi eux figurent une extension de l'approche préférentielle pour capturer une notion de typicité, qui a donné lieu à un article publié dans la revue *Artificial Intelligence* (Booth, Casini, Meyer et Varzinczak, 2019), et la définition de modalités défaisables et de constructeurs de rôles défaisables dans les logiques de description, ce qui a donné lieu à une série d'articles de conférence et d'articles de revues.

Espaces conceptuels, représentations vectorielles et ontologies

La représentation des connaissances de sens commun joue un rôle crucial dans le développement des systèmes intelligents. Nous avons réalisé des travaux de recherche autour de formalismes combinant représentation symbolique et représentation à base de vecteurs afin de tirer avantage de ces deux approches de représentation.

Modéliser les concepts sous forme de régions peut soutenir l'idée que la connaissance symbolique peut être exprimée sous forme de contraintes qualitatives sur un modèle géométrique sous-jacent. Cette idée a été développée dans les années 1990 par Peter Gärdenfors dans sa théorie des espaces conceptuels. La caractéristique clé des espaces conceptuels est que les concepts sont représentés sous forme de régions, plutôt que de vecteurs. Une règle de la forme $A(x) \leftarrow B(x), C(x)$ peut alors être vue comme la contrainte selon laquelle l'intersection des régions représentant B et C devrait être incluse dans la région représentant A . Bien que la théorie des espaces conceptuels offre une solution élégante pour combiner les représentations symboliques et vectorielles, il est souvent difficile, en pratique, d'apprendre des représentations basées sur des régions de concepts à partir de données. Dans ce contexte, nous avons conduit des travaux sur l'apprentissage d'incorporations d'entités appropriées (Alshaikh, S. Jeawak, Bouraoui et Schockaert, 2020), sur l'apprentissage de représentations basées sur des régions de concepts (Bouraoui et Schockaert, 2018 ; Schockaert, Bouraoui, Camacho-Collados et Espinosa Anke, 2020), et sur l'apprentissage de représentations vectorielles dans lesquelles les dimensions sont significatives et organisées en domaines (Alshaikh, Bouraoui et Schockaert, 2019, 2020 ; Alshaikh, S. Jeawak, Bouraoui et Schockaert, 2020).

De manière similaire aux concepts, les relations jouent un rôle important dans les ontologies. Une partie de notre travail a concerné la modélisation des relations dans les représentations vectorielles, en mettant l'accent sur les *embeddings* de mots. Basés sur l'observation selon laquelle de nombreuses connaissances relationnelles peuvent être modélisées comme des translations vectorielles dans un espace d'*embeddings*, nous avons d'abord revisité cette vision en ajoutant le fait que les concepts peuvent être modélisés comme des régions dans l'espace (Bouraoui, Jameel et Schockaert, 2018a), puis nous

avons envisagé une alternative visant à caractériser la relation entre deux entités en apprenant un vecteur de relation de manière non supervisée à partir de statistiques de corpus (Bouraoui, Jameel et Schockaert, 2018b). Enfin, nous avons étudié dans quelle mesure des modèles de langage LLM tels que BERT capturent plus de connaissances relationnelles que les *embeddings* standard, et en particulier s'ils peuvent conduire à des performances améliorées sur les tâches d'induction de relation (Bouraoui, Camacho-Collados et Schockaert, 2020).

La capacité à modéliser le sens des mots *en contexte* est une caractéristique centrale des modèles de langage basés sur des *transformers*. Extraire des vecteurs de mots statiques à partir de modèles de langage est utile pour plusieurs applications où le sens des mots doit être modélisé en l'absence de contexte (phrastique), telles que l'alignement d'ontologies, l'achèvement d'ontologies, et l'apprentissage à partir de zéro ou de quelques exemples. Nous avons d'abord abordé la question de déterminer comment apprendre de telles représentations à partir de LLMs (Li, Bouraoui, Camacho-Collados, Espinosa-Anke, Gu et Schockaert, 2021; Wang, Bouraoui, Espinosa Anke et Schockaert, 2021) et avons montré l'efficacité des vecteurs appris pour la classification d'images à partir de quelques exemples (Yan, Bouraoui, Wang, Jameel et Schockaert, 2021a, 2021b; Yan, Zhang, Hou, Wang, Bouraoui, Jameel et Schockaert, 2022) et l'achèvement d'ontologies (Li, Bouraoui et Schockaert, 2019).

Il est pertinent pour le développement de systèmes d'IA robustes de comprendre comment les approches symboliques de l'IA peuvent être rendues plus flexibles en les dotant de capacités inductives, c'est-à-dire en permettant d'inférer des inclusions de concepts probables (ou des règles) en utilisant la connaissance de l'ontologie en combinaison avec les connaissances supplémentaires fournies par les représentations vectorielles. En d'autres termes, on aimerait que les systèmes symboliques intègrent des mécanismes pour utiliser les prédictions faites par les approches neuronales, informant sur des situations plausibles observées dans les données, de manière raisonnée. Nous discutons des façons dont cette approche peut être mise en œuvre pour l'achèvement d'ontologies (Bouraoui et Schockaert, 2019; Li, Bouraoui et Schockaert, 2019). Comme l'utilisation de mécanismes inductifs peut introduire des connaissances conflictuelles et des incohérences, nous avons introduit plusieurs méthodes pour réparer les bases de connaissances (Bouraoui, Lagniez, Marquis et Montmirail, 2020), en particulier dans le cadre d'interrogation d'ontologies (Mohamed, Bouraoui, Loukil et Gargouri, 2022; Mohamed, Loukil et Bouraoui, 2018). Nous avons également étudié comment des tâches traditionnelles de représentation des connaissances telles que la fusion d'ontologies (Bouraoui, Konieczny, Ma, Schwind et Varzinczak, 2022; Bouraoui, Konieczny, Ma et Varzinczak, 2022; Bouraoui, Konieczny, Ma et Varzinczak, 2020) peuvent bénéficier de la vue des espaces conceptuels.

Référence 2. La production scientifique de l'unité est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels. L'activité scientifique de l'axe « Connaissances » soutenue, pendant la période de référence, a conduit à un nombre élevé de publications de haut niveau dans des conférences et journaux des plus sélectifs du domaine ou généralistes.

Tous les membres de l'axe sont publiants, même si il y a un déséquilibre de la production entre ses différents membres. Ceci peut s'expliquer par une forte implication de certains membres dans les tâches d'enseignements (en particulier dans le cadre de la réforme du DUT) et les tâches administratives.

Un fait à signaler est que, sur la période de référence, six des quinze membres ont quitté l'axe « Connaissances », pour la plupart rejoindre l'axe « Données ». Sur ce point, nous pouvons préciser que les membres concernés sont toujours rattachés, aujourd'hui non principalement, à l'axe et poursuivent des activités de recherche sur les thématiques de l'axe.

Synthèse de l'autoévaluation de l'axe "Connaissances"

Les compétences existantes au sein de l'axe « Connaissances » ont permis à ses membres de collaborer à des projets autour de défis importants et actuels concernant notamment l'explication de l'apprentissage ou encore l'acquisition et le traitement de connaissances en lien avec des applications concrètes, comme celles de la détection d'informations erronées ou la synthèse de débats en ligne. Quoique l'effectif de l'axe ait diminué depuis 2018 avec la création de l'axe « Données », les activités de recherche disciplinaires (i.e., peu connectées directement aux actions transverses XAI et IA4*) qui ont été conduites au sein de l'axe « Connaissances » depuis 2018 ont porté sur des questions de recherche variées et elles ont conduit à une production scientifique de très bon niveau. La grande visibilité internationale de l'axe « Connaissances » n'a donc pas diminué depuis 2018.

3.4 Axe « Contraintes »

Les thématiques scientifiques de l'axe « Contraintes » et leurs enjeux

Les deux thématiques principales développées au sein de l'axe « Contraintes » sont le raisonnement en variables booléennes (le problème SAT et ses extensions) et la programmation par contraintes. Le problème SAT est important à plus d'un titre. C'est l'un des problèmes fondamentaux en informatique théorique. Il est présent dans de nombreux domaines de l'informatique et de l'ingénierie. Par exemple, il est au cœur de plusieurs questions de recherche centrales pour la vérification de matériel et de logiciel, la conception de circuits intégrés, etc. La programmation par contraintes constitue, elle aussi, une thématique dont l'importance pratique explique le développement dans la durée. La programmation par contraintes constitue une approche intuitive et flexible pour modéliser et résoudre une grande variété de problèmes (ordonnancement, affectation de ressources, etc.).

Depuis ses débuts, les travaux conduits au sein de l'axe « Contraintes » portent sur la conception d'encodages, le changement de représentations et la compilation de connaissances, le développement et l'évaluation, tant théorique qu'empirique, d'algorithmes efficaces pouvant être utilisés dans les systèmes s'appuyant sur des représentations à base de contraintes, quelle que soit leur nature (contraintes booléennes, contraintes portant sur des variables à domaines finis, contraintes qualitatives). Depuis quelques années maintenant, l'axe « Contraintes » s'attaque également à des problèmes en variables booléennes, qui sont en pratique plus difficiles que SAT et requièrent l'utilisation d'oracle NP, comme le comptage de modèles ou le calcul de sous-ensembles contradictoires minimaux de formules, alias MUS (*Minimum Unsatisfiable Subformulas*), mais aussi à l'application d'algorithmes à base de contraintes dans divers cadres.

Une singularité de l'axe « Contraintes » en comparaison aux deux autres axes du CRIL est la **place centrale prise par le développement de logiciels** (activité dont on connaît le caractère chronophage) dans la production scientifique, qu'il s'agisse de faire évoluer ou de maintenir des logiciels que l'axe souhaite pérenniser ou plus souvent encore, de concevoir des prototypes, indispensables aujourd'hui pour montrer l'intérêt pratique des méthodes qui sont conçues et les faire connaître via des publications dans des supports reconnus.

Depuis 2018, de nombreux prototypes ont ainsi été réalisés au CRIL en programmation par contraintes. La création de PyCSP³, une bibliothèque logicielle permettant de modéliser en Python des problèmes à base de contraintes, est une réalisation notable à mettre à l'actif de l'axe pour la période de référence. Cette bibliothèque est accompagnée de nombreux modèles, d'une documentation complète et est maintenant utilisée par de nombreux collègues issus d'autres universités. Dans le même temps, diverses pistes ont continué à être explorées afin d'améliorer la robustesse des solveurs de contraintes. Citons des travaux sur l'apprentissage de conflits (*nogoods*), la proposition de nouveaux algorithmes de filtrage, de nouvelles heuristiques ou encore le changement dynamique de ces heuristiques en cours de recherche en utilisant des techniques d'apprentissage automatique.

Dans le cadre des variables booléennes, les chercheurs de l'axe « Contraintes » se sont surtout focalisés depuis 2018 sur l'énumération et le comptage de modèles. Le compteur de modèles d4, à base de compilation de connaissances, a été développé à partir de zéro. Ce logiciel que nous souhaitons pérenniser a participé et gagné des compétitions internationales. Des travaux ont également été réalisés sur l'amélioration des solveurs pseudo-booléens. Des activités de recherche autour de SAT, à visées théoriques ou pour produire des solveurs SAT plus performants en pratique, ont également été conduites. Notre expertise sur les solveurs SAT (ou encore MAXSAT) et leur utilisation nous a également permis de prendre une part active aux travaux de recherche portant sur les actions transverses de l'unité, l'IA explicable (XAI) et l'IA au service d'autres disciplines (AI4*). Ces divers travaux sont présentés dans la partie du document dédiée à l'unité dans son ensemble.

Profil d'activités liées à la recherche

Activités (Répartir 100 points sur ces 7 items)	Points
Administration et animation de la recherche : pilotage de la recherche (VP, direction d'institut, DAS, par exemple), participation à des instances d'évaluation (CNU, CoNRS, CSS, Hcéres, par exemple), responsabilité de dispositifs Idex ou Isite, direction de projets (ANR, Horizon Europe, ERC, CPER, PIA, France 2030, par exemple), responsabilités éditoriales dans des revues ou collections nationales et internationales.	20
Aide aux politiques publiques et expertise technique : pouvoirs publics aux niveaux européen, national et régional, entreprises, instances internationales comme FAO, OMS, etc.	0
Contribution à l'adossement d'enseignements innovants à la recherche : EUR, SFRI, etc.	0
Dissémination de la recherche : partage de connaissances avec le grand public, médiation scientifique, interface sciences et société.	5
Recherche et encadrement de la recherche.	60
Valorisation, transfert, innovation.	15
Autres activités. (à préciser en une ligne maximum).	0

Le profil de l'axe « Contraintes » ressemble peu ou prou à celui du laboratoire. Quelques différences sont néanmoins à noter. En effet, plusieurs collègues de l'axe (Christophe Lecoutre, membre nommé du CNU 27 et responsable du DIM IA, Anastasia Paparrizou, membre élu du CoNRS section 6, Daniel Le Berre, membre nommé du CSI de l'INS2I) ont participé de manière substantielle à l'administration de la recherche. De plus, comme déjà évoqué, de nombreux logiciels ont été développés et diffusés par des membres de l'axe « Contraintes ». Les points attribués à ces deux activités sont donc revus à la hausse par rapport à ceux du laboratoire, entraînant de fait une réduction pour d'autres activités.

Prise en compte des recommandations du précédent rapport

On décrit ci-après les principales recommandations transmises par le HCERES lors de la dernière évaluation de l'axe (qui s'appelait AIC - algorithmes pour l'inférence et contraintes - lors de la dernière évaluation), et les réponses qui ont été apportées à celles-ci.

Observation du comité d'évaluation

Les capacités des outils logiciels développés dans l'axe doivent être rendues plus visibles et lisibles au-delà du cercle de la recherche en Intelligence Artificielle, qu'il s'agisse du grand public ou de potentiels utilisateurs industriels ou scientifiques de ces capacités.

Depuis 2018, les collègues impliqués dans l'axe « Contraintes » ont continué à développer des logiciels. Il s'est agi autant de maintenir et améliorer des programmes existants que de développer de nouveaux logiciels. Il est à noter que les membres de l'axe ont aussi œuvré à la dissémination de ces logiciels. Par exemple, Gilles Audemard a effectué des cours dans des écoles d'été pour mettre en avant le solveur SAT Glucose. Christophe Lecoutre a réalisé des cours à destination d'un public de professionnels de l'industrie automobile et également des tutoriels pour faire mieux connaître la bibliothèque de modélisation PyCSP³. Une thèse financée par la société Exakis Nelite, utilisant cette librairie, a été réalisée en partenariat avec le Groupe ADP. Enfin, une thèse en partenariat avec l'ONERA vient de débiter et concerne la notion d'apprentissage dans le contexte de la montée en cadence d'une ligne d'assemblage en aéronautique (avec des données apportées par Airbus).

Observation du comité d'évaluation

Un renforcement raisonné des compétences dans le domaine de l'apprentissage automatique serait utile pour renforcer la capacité de l'équipe à apporter des réponses fortes dans son projet.

Un renforcement des compétences dans le domaine de l'apprentissage automatique a effectivement eu lieu. Nous pouvons mettre en avant la thèse de Hugues Watez qui a travaillé sur l'amélioration des solveurs de contraintes en utilisant des méthodes d'apprentissage automatique.

De plus, plusieurs membres de l'axe « Contraintes » ont participé à la chaire EXPEKCTATION et ont utilisé leur expertise liée à la programmation par contraintes pour proposer des méthodes de calcul d'explications formelles pour des modèles d'apprentissage automatique à base d'arbres. Ces différents travaux sont développés dans la partie du document liée à l'action transverse « IA explicable » (XAI).

Observation du comité d'évaluation

Les membres d'AIC sont encouragés à maintenir leur niveau de production scientifique (publications, logiciels) d'un excellent niveau et leur insertion dans le tissu académique (l'obtention d'un nouveau projet ANR en tant que coordinateur devrait soutenir la dynamique de la période). Cependant, l'époque actuelle est riche en défis, qu'ils soient environnementaux ou démocratiques. Ainsi, le comité invite les membres d'AIC à mobiliser leurs compétences et outils sur des domaines répondant à des grands défis de la Stratégie Nationale de la Recherche, en s'appuyant sur leur pro-activité directe (dans le même sens que le projet QdoSSI mais sur des problématiques plus en ligne avec les capacités des outils développés dans l'axe). Pour faire face à l'extrême difficulté des problèmes théoriques abordés (MAP), le projet devrait également viser des approches fournissant des garanties « souples », par exemple de type PAC (Probably Approximately Correct). Cette problématique correspond également à des questions très actuelles en physique statistique (e.g. pour optimiser l'affinité à une molécule). L'axe aurait donc ici une occasion de confronter ses développements à des problématiques d'intérêt. Il faudrait rechercher des collaborations pertinentes sur ces problématiques.

Nous pensons pouvoir affirmer que les membres de l'axe ont su maintenir le niveau de leur production scientifique (publications, logiciels). Trois projets ANR ont démarré durant la période. Les membres du CRIL n'en sont pas porteurs, mais les dotations induites ont permis le recrutement d'un ingénieur de recherche et le financement d'une thèse mais aussi de mettre en place de nouveaux thèmes de recherche au sein du laboratoire. Enfin, c'est Christophe Lecoutre, membre de l'axe « Contraintes » qui a été le porteur de projet MAIA (et qui en est le responsable). C'est également lui, en tant que responsable du DIM IA de l'université d'Artois, qui a porté le projet VIVAH « Contrats doctoraux en IA » dont l'université d'Artois a également été lauréate.

Comme déjà mentionné, l'axe « Contraintes » a fourni un effort important au développement de méthodes pour l'IA explicable, domaine connexe à celui de l'apprentissage automatique. Les ressources humaines disponibles entre 2018 et 2023 n'ont pas rendu possible le développement d'approches visant à traiter d'autres questions de recherche en exploitant des contraintes (par exemple, autour l'apprentissage de type PAC).

Introduction du portfolio

Le développement de **logiciels libres de recherche** est l'une des forces de l'axe « Contraintes ». C'est pourquoi nous avons choisi de mettre en avant 3 logiciels pérennes dans le portfolio (nous reviendrons en détail sur ces bibliothèques dans la partie « production scientifique » et ne faisons donc que les lister ici). Pour compléter le portfolio, nous avons retenu deux publications impliquant, chacune, un doctorant. Cela conduit au portfolio suivant :

- La bibliothèque [PyCSP³](#).
- Le compteur de modèles [d4](#).
- Le solveur [SAT Glucose](#).
- Stefan Mengel, Alexis de Colnet, [Characterizing Tseitin-Formulas with Short Regular Resolution Refutations](#) in SAT 2021, pp. 116-133, 2021. Cet article a reçu le prix du meilleur article « étudiant » lors de cette conférence.
- Daniel Le Berre, Pierre Marquis, Stefan Mengel, Romain Wallon, [On Irrelevant Literals in Pseudo-Boolean Constraint Learning](#) in IJCAI'20, pp. 1148-1154, 2020. Romain Wallon, doctorant co-auteur de cet article, a reçu [un accessit au prix AFIA 2021](#) pour sa thèse.

Autoévaluation de l'axe « Contraintes »

Domaine 1. Profil, ressources et organisation de l'unité

Objectifs scientifiques Les travaux de recherche réalisés dans l'axe ont porté sur le raisonnement en variables booléennes (en particulier, sur le comptage de modèles d'une formule propositionnelle et plus généralement les problèmes au delà de NP, mais aussi sur la représentation des fonctions booléennes dans une optique de compilation de connaissances) et sur la programmation par contraintes.

Le comptage de modèles est une problématique fondamentale dans le domaine du raisonnement probabiliste, de l'explorabilité en IA, et bien d'autres. Le CRIL se positionne en tant que leader sur cette thématique, comme en témoignent les résultats obtenus par le compteur de modèles d4 lors des dernières compétitions (<https://mccompetition.org/>). Cela justifie pleinement l'investissement de certains membres de l'axe « Contraintes » pour maintenir ce leadership.

La représentation des fonctions booléennes et le changement de représentations (compilation de connaissances) revêtent une importance cruciale pour la manipulation efficace des données dans divers domaines d'application tels que la configuration et les bases de données. Par exemple, dans le cas du configurateur de véhicules de Renault, le choix d'une représentation adaptée est essentiel pour permettre l'interrogation efficace des bases de données de configuration. Les travaux en compilation de connaissances conduits dans l'axe « Contraintes » permettent d'identifier les compromis entre temps et espace dans ces représentations, offrant ainsi des solutions adaptées à diverses situations.

La programmation par contraintes est une thématique centrale du laboratoire depuis sa création. L'arrivée de grands acteurs privés tels que Google et Huawei dans ce domaine souligne son importance pour de nombreuses applications pratiques telles que la planification, l'ordonnancement, etc. Le CRIL dispose d'une expertise reconnue dans le développement de solveurs et de modèles, lui conférant ainsi un rôle majeur dans ce domaine.

Ressources L'axe « Contraintes » compte actuellement 15 permanents. Dans le détail, l'axe compte 6 professeurs des universités (PR), 1 chargé de recherche (CR), 1 chaire de professeur junior (CPJ) recrutée en 2023 et 8 maîtres de conférences (MCF). Aucun des maîtres de conférences de l'axe n'est titulaire d'une HDR. Il est à noter que durant la période de référence, 4 membres sont passés, pour ce qui est de leur rattachement principal, de l'axe « Contraintes » à un autre axe, en particulier le nouvel axe « Données » du CRIL. Notons aussi que le recrutement d'un nouveau MCF a pu être opéré durant la période. Dix thèses liées à l'axe « Contraintes » ont été soutenues entre 2018 et 2023. Quatre thèses sont actuellement en cours. Ce dernier nombre peut sembler faible, il s'explique en partie parce que les membres de l'axe « Contraintes » participent à des encadrements liés aux deux actions transverses du laboratoire, via le projet MAIA par exemple.

Domaine 2. Attractivité

Rayonnement scientifique L'axe « Contraintes » est attractif par la qualité de sa production scientifique et de son rayonnement scientifique. Sa visibilité se manifeste à travers la participation des membres de l'axe à diverses activités d'évaluation de la recherche (en particulier, des comités éditoriaux de revues et des comités de programmes de conférences de référence dans le domaine) et par des distinctions et récompenses obtenues. Elle se manifeste également par l'organisation ou l'animation d'événements scientifiques.

Les membres de l'axe « Contraintes » sont impliqués dans divers comités de programme. Nous listons ci-dessous le nombre de participations à des comités de programme de conférences de référence entre 2018 et 2023 :

- Conférence SAT (14)
- Conférence CP (7)
- Conférence CPAIOR (2)

Il faut ajouter à cela la participation aux comités de programme des conférences AAAI et IJCAI (maintenant obligatoire dès lors que l'on y soumet un article). Pour ce qui est des revues, Daniel Le Berre a été éditeur en chef de la revue JSAT (2018-2023) et Christophe Lecoutre a été éditeur en chef de la revue *Constraints* (2018-2021). Daniel Le Berre a également été le co-organisateur du workshop *Pragmatics of SAT* (2018-2023).

Gilles Audemard a été invité à participer à un programme long autour de SAT au *Simons Institute* (Berkeley, USA) au printemps 2021. Malheureusement, avec la pandémie, ce programme s'est tenu à distance via des visio-conférences.

En 2021, Gilles Audemard a reçu, avec 20 autres chercheurs, le **prix CAV** pour ses contributions pionnières aux fondements de la théorie et de la pratique de la satisfiabilité modulo des théories (SMT).

En 2018, Gilles Audemard et Christophe Lecoutre ont été co-présidents du comité d'organisation de la conférence internationale CP'18 (la conférence de référence en programmation par contraintes).

Succès à des appels à projets compétitifs Les membres de l'axe « Contraintes » ont participé / participent à divers projets de recherche financés dans des cadres institutionnels ou par des entreprises :

- **ANR PRCE BLASST (2022-2027)** : l'objectif de ce projet est d'établir un pont entre des techniques combinatoires et symboliques en déduction automatique en vue de résoudre des obligations de preuves issues de modèles B.
- **Contrat de collaboration avec VITAL équipement (2023-2026)** : l'objectif de ce projet est de prédire des schémas décisionnels pour atteindre l'efficacité économique, sociétale et environnementale en matière de management de parcs de bâtiments et des infrastructures associées, en milieux urbains et péri-urbains.
- **ANR PRC POSTCRYPTUM (2021-2025)** : l'objectif de ce projet est de concevoir des attaques algébriques efficaces, pour plusieurs classes de cryptosystèmes qui peuvent être modélisés comme des systèmes polynomiaux binaires.
- **Projet CNRS IRP MAKC (2020-2024) (Modern Approaches to Knowledge Compilation)** : l'objectif principal de ce projet est de concevoir et d'évaluer des outils (logiciels) de compilation, de différents types (principalement, des pré-processeurs, des compilateurs et des raisonneurs) et de les appliquer à la résolution de problèmes relevant d'un large éventail de domaines, comme la configuration du produit, la vérification formelle, l'inférence probabiliste, l'apprentissage automatique et les bases de données.
- **ANR PRC SATAS (2016-2020)** : l'objectif de ce projet a été de faire avancer l'état de l'art dans la résolution massivement parallèle de SAT.
- **ANR PRC PING/ACK (2019-2023) (Pré-traitement d'informations pour la résolution de tâches complexes / Compilation avancée de connaissances)** : l'objectif de ce projet concernait les manques des travaux existants en matière de compilation de connaissances, en élargissant son champ d'application, à la fois du côté théorique et du côté pratique. Nous avons défini de nouvelles cartes de compilation de connaissances adaptées à des langages de représentation plus expressifs que ceux existants et amélioré l'applicabilité de la compilation de connaissances.
- **Emergence INSI BAUTOM (2020)** : l'objectif de ce projet a été de proposer des techniques pour améliorer et automatiser la résolution de contraintes en fournissant un cadre pour diriger la recherche de solutions par l'utilisation de bandits.
- **PHC Barrande France / République Tchèque KC4CP (2017-2018) (Knowledge compilation for constraint programming)** : l'objectif principal de ce projet était de fournir de nouveaux résultats dans le domaine de recherche qui se situe à la frontière de la compilation de connaissances, du codage et de la résolution SAT, et de la programmation par contraintes. Plus précisément, notre objectif a été d'identifier et d'étudier un certain nombre de fragments CNF qui peuvent servir de langages cibles de sortie utiles pour la compilation de connaissances.

Domaine 3. Production scientifique

Référence 1. La production scientifique de l'unité satisfait à des critères de qualité. Comme c'est le cas pour tout le laboratoire, les membres de l'axe « Contraintes » publient en priorité leurs résultats dans les conférences et revues les plus sélectives du domaine. Pour cet axe, il s'agit surtout des conférences SAT, CP et CPAIOR (en plus de AAAI, ECAI et IJCAI) et des revues JSAT et *Constraints*. Le tableau 3 donné dans la partie descriptive du laboratoire montre que le nombre de publications de l'axe « Contraintes » est plus faible que pour les autres axes, en proportion du nombre de membres de l'axe. Cela s'explique en partie par le fait que la production scientifique des membres de l'axe « Contraintes » ne se limite pas aux publications. Comme déjà évoqué, elle comprend aussi des activités particulièrement chronophages, comme le développement et la maintenance de nombreux logiciels et l'organisation de compétitions. Aussi, dans la suite de cette section, nous décrivons sommairement non seulement les résultats publiés mais aussi certains logiciels développés.

Les problèmes de satisfaction et d'optimisation en variables booléennes

Depuis la création du CRIL, le problème SAT a toujours été un mot-clé important et il est resté au cœur des activités

conduites au sein de l'axe « Contraintes » entre 2018 et 2023. Des travaux aussi bien théoriques que le développement de solveurs ont ainsi été réalisés. L'importance des solveurs SAT et leur fonctionnement sont décrits dans (Fichte, Le Berre, Hecher et Szeider, 2023).

Depuis 2009, le solveur SAT Glucose est développé conjointement par Gilles Audemard et Laurent Simon du LaBRI. Ce solveur fait partie des solveurs de l'état de l'art et de nombreuses techniques introduites dans ce solveur sont maintenant intégrées dans d'autres solveurs. Durant les compétitions SAT 2018 et 2019, un "special track Glucose" a été proposé (le but étant d'améliorer le solveur en utilisant le moins de modifications possibles). Glucose, dont les caractéristiques sont définies dans (Audemard et Simon, 2018), possède trois modes de fonctionnement :

- Séquentiel (mode classique)
- Incrémental : ce mode est utilisé lorsque l'on souhaite réaliser plusieurs appels consécutifs à un oracle SAT pour résoudre un problème. Il est directement intégré dans certains solveurs MaxSAT et aussi certains solveurs dont l'objet est d'extraire des MUS (*Minimum Unsatisfiable Subformulas*).
- Parallèle : ce mode a été développé en utilisant la librairie pFactory (disponible sur [GitHub](#), développée au CRIL et réalisée dans le cadre du projet ANR SATAS).

D'autres solveurs SAT sont développés de façon pérenne au sein du laboratoire. Citons, tout d'abord, SAT4J. Écrit en Java, SAT4J est développé depuis vingt ans par Daniel Le Berre avec l'aide de Anne Parrain, Emmanuel Lonca et Romain Wallon. Il est directement intégré dans l'environnement de développement *Eclipse* pour gérer les dépendances entre les extensions (Le Berre et Rapicault, 2018). Quant à *GopherSAT*, il s'agit d'un solveur SAT écrit en langage Go, très populaire dans la communauté des programmeurs *GopherSAT*.

Comme en témoigne le projet *Software Heritage*, la collecte et l'archivage du code source de logiciels sont considérés aujourd'hui comme des sujets de première importance. Parmi les logiciels à préserver, on trouve les divers solveurs de contraintes SAT qui ont été produits depuis des décennies et ont pu connaître une longue histoire de diffusion de code source et de binaire grâce aux compétitions SAT organisées chaque année. Comme chaque cycle de compétitions SAT possède son propre ensemble de règles et une manière *ad hoc* de publier le code source et les binaires, il n'a pas été possible de sauvegarder automatiquement ces solveurs. La compilation ou même l'exécution d'un solveur peut ainsi être plus compliquée qu'il n'y paraît. Le projet *SAT Heritage* vise à archiver et à permettre une compilation et une exécution faciles de tous les solveurs SAT qui ont été publiés jusqu'à présent (Audemard, Paulev et Simon, 2020). Sur [GitHub](#), vous pouvez trouver plus de 600 solveurs SAT utilisés dans les compétitions depuis les années 2000. Grâce à des images Docker, ces solveurs sont facilement exécutables.

Une grande partie du travail autour de la satisfiabilité s'intéresse à différents types d'encodage pour les fonctions booléennes. D'une part, des bornes supérieures et inférieures ont été démontrées pour différents types d'encodage (Mengel et Wallon, 2020). D'autre part, il a été montré comment les encodages de problèmes spécifiques peuvent être utilisés algorithmiquement pour fournir des approches simples aux problèmes de raisonnement standard en IA (Capelli et Mengel, 2019; Lampis, Mengel et Mitsou, 2018).

Des travaux ont également été réalisés sur l'analyse d'algorithmes pratiques pour des tâches de raisonnement automatisé. L'espoir est que les outils de la théorie de la complexité permettent une meilleure compréhension des forces et des faiblesses d'approches basées sur différents principes. Concrètement, les solveurs basés sur les BDD pour les QBF ont été analysés (Mengel, 2022; Mengel et Slivovsky, 2021).

Une extension naturelle du problème SAT est la résolution de problèmes pseudo-booléens où les clauses sont remplacées par des (in)équations linéaires sur des booléens (Roussel et Manquinho, 2021). Ce formalisme permet une représentation plus compacte des formules. La thèse de Romain Wallon a été consacrée à l'étude de tels problèmes. La première partie de cette thèse était centrée sur une comparaison entre les contraintes pseudo-booléennes et d'autres formats propositionnels en ce qui concerne la représentation des connaissances. Elle a mis en évidence les avantages des contraintes pseudo-booléennes en termes de concision par rapport aux formules CNF, mais a souligné également les défis supplémentaires posés par la complexité (NP-difficile) de diverses opérations sur ces contraintes. Malgré cela, l'utilisation des contraintes pseudo-booléennes permet d'exploiter des systèmes de preuve plus puissants, bien que les solveurs pseudo-booléens ne répondent pas toujours aux attentes en termes d'efficacité pratique (Le Berre, Marquis, Mengel et Wallon, 2018, 2020). Dans la deuxième partie de sa thèse, Romain Wallon a identifié les faiblesses des solveurs pseudo-booléens. Une adaptation

de stratégies issues des solveurs SAT classiques a été proposée pour améliorer ces solveurs (Le Berre et Wallon, 2021). Enfin, dans (Le Berre, Marquis et Wallon, 2020) (article présent dans le portfolio de l'axe « Contraintes »), il a été montré qu'en appliquant les règles du système des plans-coupes, l'analyse de conflit des solveurs PB peut produire des littéraux non pertinents (i.e., dont la valeur de vérité n'influe pas sur la satisfaction de la contrainte). En s'accumulant au cours de l'analyse, ces littéraux peuvent conduire à l'apprentissage de contraintes plus faibles. Entre autres choses, il a été montré qu'il est possible de réduire la taille des preuves produites par le solveur en supprimant ces littéraux, bien qu'une telle solution soit coûteuse (déterminer la pertinence d'un littéral dans une contrainte est un problème NP-complet).

Au delà de NP : compilation, comptage et énumération

La technologie SAT étant aujourd'hui mature, il est désormais envisageable de l'utiliser pour attaquer des défis calculatoirement plus complexes. Une observation générale est que les langages de compilation les plus efficaces pour raisonner sur les fonctions booléennes sont ceux dans lesquels la taille des représentations des fonctions est la plus grande. Étudier la taille des représentations de fonctions particulières dans un langage de compilation aide à comprendre pour quel type de fonctions la compilation dans ce langage est pertinente. Dans sa thèse, Alexis de Colnet a étudié différents aspects du langage de compilation des circuits booléens dans une forme normale négative décomposable (DNNF). Des techniques ont été utilisées et améliorées pour analyser de tels circuits afin de prouver des bornes inférieures exponentielles en la taille des circuits DNNF représentant des fonctions particulières et même des approximations de ces fonctions. Alexis de Colnet a montré également des applications de ces bornes inférieures, à la fois dans le domaine de la compilation des connaissances et en dehors de la compilation des connaissances, notamment dans le domaine de la complexité des preuves. La thèse d'Alexis de Colnet a donné lieu à plusieurs publications (de Colnet, 2020 ; de Colnet et Marquis, 2022 ; de Colnet et Mengel, 2021, 2023 ; Mengel et de Colnet, 2021, 2022). En particulier, (Mengel et de Colnet, 2021) (article présent dans le portfolio de l'axe « Contraintes »), traite des formules de Tseitin. Ces formules sont des systèmes de contraintes de parité dont la structure est décrite par un graphe. Dans cet article, les auteurs prouvent qu'une classe de formules de Tseitin insatisfiables de degré limité possède des réfutations régulières de longueur polynomiale si et seulement si la largeur de l'arbre de tous les graphes sous-jacents pour cette classe est logarithmiquement bornée.

Le comptage de modèles, ou #SAT, souvent abordé avec des méthodes de type compilation de connaissances, consiste à calculer le nombre de modèles pour une formule propositionnelle donnée, c'est-à-dire le nombre d'assignations de vérité distinctes aux variables pour lesquelles la formule s'évalue à vrai. Théoriquement, il s'agit du problème #P-complet de référence. Au-delà des aspects théoriques, le problème #SAT présente des défis fascinants pour les praticiens et pose plusieurs nouvelles questions de recherche. Des algorithmes efficaces en pratique pour ce problème peuvent avoir un impact significatif sur de nombreux domaines d'application qui sont intrinsèquement au-delà de SAT (« au-delà » selon les hypothèses standard de la théorie de la complexité), tels que la planification adverse et contingente de longueur bornée ou le raisonnement probabiliste. Ainsi, divers problèmes d'inférence probabiliste, tels que le raisonnement sur les réseaux bayésiens, peuvent être efficacement traduits en problèmes de comptage de modèles. Une autre application concerne les problèmes combinatoires difficiles, tels que les designs combinatoires, où le nombre de solutions offre des éclairages supplémentaires sur le problème à résoudre. Identifier une seule solution peut être un défi pour de tels problèmes ; dénombrer leur quantité est beaucoup plus difficile.

Dans le contexte du comptage de modèles, le logiciel d4 a été développé. d4 est un compilateur decision-DNNF implémenté sous forme d'un logiciel libre, élaboré au CRIL depuis plus de 10 ans, et accessible sur [GitHub](https://github.com). Son objectif principal est de résoudre des problèmes #P en utilisant des techniques très utilisées en compilation de connaissances, comme le partage de structures, la décomposabilité, ainsi que des méthodes de prétraitement de formules incluant la suppression et la réduction de clauses, l'utilisation de définitions, et bien d'autres encore. La version du compilateur d4 dédiée au comptage de modèles a remporté plusieurs prix lors des dernières compétitions annuelles sur le comptage de modèles, organisées depuis 2020 et disponibles sur le site <https://mccompetition.org/>.

Pour obtenir une telle performance, d4 utilise des mécanismes de prétraitement pour transformer les formules propositionnelles d'entrée. Dans (Lagniez, Lonca et Marquis, 2020), une nouvelle technique de prétraitement pour le comptage de modèles a été présentée. Cette approche simplifie la formule d'entrée Σ en identifiant certaines portes implicites sans altérer le nombre de modèles. Contrairement aux méthodes antérieures, cette approche n'impose pas de rendre explicites ces portes. Elle consiste en deux phases successives : le calcul d'une bipartition de définissabilité $\langle I, O \rangle$ des variables de Σ , suivie de l'élimination de certaines variables de O . Pour valider les méthodes proposées, un préprocesseur disponible à

l'adresse : <https://www.cril.univ-artois.fr/software/be/> a été développé. Il a démontré son efficacité et a été adopté par des concurrents lors de récentes compétitions de comptage de modèles.

Étant donné l'impact crucial de cette méthode de prétraitement sur les performances des compteurs de modèles de pointe, l'étude décrite dans (Lagniez et Marquis, 2023) s'est concentrée sur le développement d'une méthode efficace pour calculer une bipartition de définissabilité. L'objectif était d'optimiser les avantages de ce prétraitement en se focalisant sur la dérivation de bipartitions minimales en termes d'entrées, soit des bipartitions $\langle I, O \rangle$ où chaque variable $i \in I$ rend la bipartition $\langle I \setminus \{i\}, O \cup \{i\} \rangle$ inacceptable. L'étude a démontré comment ce calcul peut être amélioré en exploitant non seulement les décisions des solveurs SAT (comme dans les approches précédentes), mais aussi en tirant parti des certificats des solveurs SAT, tels que les modèles et les *MUS* qui justifient ces décisions.

Afin d'améliorer l'efficacité pratique de ce compteur de modèles, une version distribuée de d4, appelée DMC, a été proposée (Lagniez, Marquis et Szczepanski, 2018). Cette version exploite un grand nombre de compteurs de modèles séquentiels, répartis sur des unités de calcul hétérogènes au sein d'un réseau d'ordinateurs. Pour garantir une répartition efficace de la charge de travail, la tâche de dénombrement des modèles est partagée entre les compteurs de modèles selon une politique de vol de travail. Les échanges de messages entre les tâches sont maintenus à un nombre et à une taille minimales. Les résultats obtenus montrent que DMC offre une efficacité supérieure à celle de d4, avec des améliorations significatives pour certains jeux de données grâce à la distribution des calculs. DMC se positionne également comme un sérieux concurrent pour les compteurs de modèles parallèles tels que CountAntom, ainsi que pour le compteur de modèles distribué dCountAntom.

Dans (Lagniez et Marquis, 2019), une version de d4 permettant le comptage de modèles d'une formule CNF dans laquelle certaines variables sont à oublier a été proposée. Étant donné que ce problème généralise le comptage de modèles standard (où aucune variable n'est omise), le comptage de modèles projetés est au moins aussi difficile que le comptage sans projection. L'introduction de variables X à éliminer avant le comptage et les contraintes associées sur l'heuristique de sélection de variables rendent généralement le problème plus complexe à résoudre. L'approche proposée pour le comptage de modèles projetés, nommée projMC et disponible à l'adresse suivante <http://www.cril.univ-artois.fr/kc/projmc.html>, repose sur un algorithme récursif exploitant une décomposition disjonctive de $\exists X.\Sigma$ pour calculer son nombre de modèles. $\exists X.\Sigma$ est découpé en un ensemble de formules interprétées disjonctivement, et incohérentes quand elles sont prises deux à deux. Ainsi, le résultat peut être obtenu en sommant le nombre de modèles de ces formules où les variables de X sont omises. projMC tire parti de la décomposition en composantes disjointes pour réduire les temps de calcul, offrant ainsi un compteur de modèles projeté *anytime* et facilement parallélisable.

Dans sa thèse, Marie Miceli s'est attaquée à un problème plus général encore que celui du comptage de modèles projetés. Ce problème, appelé problème Max#SAT pondéré, généralise à la fois les problèmes Functional E-MajSAT et Max#SAT. Résoudre une instance Max#SAT pondéré consiste à déterminer, pour une formule CNF pondérée et existentiellement quantifiée, une affectation sur un ensemble défini de variables qui maximise le nombre de modèles pondérés et projetés. Le problème Max#SAT pondéré apparaît naturellement dans divers problèmes de raisonnement en environnement incertain, en particulier des problèmes d'inférence probabiliste. Une extension de d4, nommée d4Max, a été développée afin de résoudre ce problème (Audemard, Lagniez et Miceli, 2022).

Garantir la fiabilité des résultats des outils résolvant des problèmes complexes est crucial dans une perspective d'IA de confiance. Bien que largement appliquée aux solveurs SAT, cette exigence de certification n'a pas encore été généralisée à des tâches plus complexes telles que le comptage de modèles ou la compilation de connaissances. Dans (Capelli, Lagniez et Marquis, 2021), l'accent est mis sur une famille de compilateurs decision-DNNF de type ascendant, avec une attention particulière portée à leur certification. Ces compilateurs produisent des circuits decision-DNNF agrémentés d'annotations certifiant leur validité. Un vérificateur en temps polynomial a également été développé pour tester l'équivalence entre une formule CNF donnée et un circuit decision-DNNF certifié. Les expériences ont montré que la génération et la vérification de tels circuits certifiés sont réalisables en pratique, avec un léger surcoût en termes de temps par rapport aux versions non certifiées. Étant donné que les circuits decision-DNNF permettent le comptage de modèles, les compilateurs produits peuvent être vus comme des compteurs de modèles certifiés (ce qui n'existait pas jusque-là).

Les concepts de MSS (ensemble maximale satisfiable) et de MCS (ensemble minimal de correction) jouent un rôle crucial dans divers problèmes et applications en IA, notamment dans une perspective d'IA explicable, où ces techniques sont utilisées. Dans la thèse de Yacine Izza, un nouvel algorithme pour l'énumération des MCS d'une formule CNF

a été proposé (Grégoire, Izza et Lagniez, 2018). Le solveur produit, appelé enumMCS (accessible à l'adresse : <http://www.cril.univ-artois.fr/enumcs/>), utilise une méthode de recherche de clauses de transition pour détecter des ensembles de MCS. Cette approche repose sur des propriétés spécifiques des MCS qui permettent de concevoir une méthode originale pour calculer de manière récursive un ensemble de MCS. Il a été démontré qu'il est possible d'exploiter un ensemble de clauses de transition pour accélérer l'énumération des MCS en factorisant certains d'entre eux. Un autre avantage de la méthode proposée est son caractère non intrusif, facilitant ainsi son intégration au sein d'approches standard pour l'extraction de MCS. Les expérimentations réalisées ont démontré que l'utilisation de la méthode proposée permet d'énumérer un grand nombre de MCS de manière plus rapide que les approches qui étaient de l'état de l'art jusque là.

Programmation par contraintes

La suite PyCSP³ / XCSP³. XCSP³ est un format de représentation universel pour les problèmes de satisfaction/optimalisation sous contraintes (*Constraint Satisfaction/Optimization Problems*) qui préserve la structure des modèles (Audemard, Boussemart, Lecoutre, Piette et Roussel, 2020). La librairie python PyCSP³ permet, quant à elle, de concevoir aisément des modèles de haut niveau pour ce type de problèmes combinatoires, et de les traduire/compiler au format XCSP³. Cette librairie est disponible sur [GitHub](#) et Pypi.

La bibliothèque PyCSP³ a été progressivement développée durant la période de référence (version 1 postée en novembre 2019). Un travail constant a été conduit au cours de ces 40 derniers mois pour obtenir une version stable et robuste. L'interface proposée offre un confort d'utilisation rarement atteint pour ce type d'outils, permettant un découplage total entre le volet 'modélisation' et le volet 'résolution'. En reposant sur des langages et technologies éprouvées, l'utilisateur n'est pas dérouté par l'utilisation d'une syntaxe exotique et peut bénéficier d'outils permettant le contrôle des modèles (Python), données (JSON), instances (XML) et algorithmes (via ACE en Java). A chaque étape, un contrôle direct (humain) ou indirect (script) est possible :

- les modèles sont particulièrement lisibles car construits sur une syntaxe simple (basée sur Python, avec un nommage soigné des fonctions et paramètres),
- les données sont lisibles car structurées (grâce à JSON) et accessibles très simplement dans les modèles (en une seule instruction avec le 'tuple unpacking' de Python, après conversion automatique),
- les instances sont lisibles car la compilation qui consiste à traduire un modèle (avec des données) en une instance précise de problème à résoudre est de « haute fidélité » (cela signifie que la structure des modèles est préservée, tableaux de variables et groupes de contraintes étant clairement identifiables après compilation).

En d'autres termes, en restant à chaque étape au plus proche de la formulation naturelle des problèmes (c'est-à-dire, en ne recourant pas à des encodages complexes), la capacité offerte à l'utilisateur d'analyser, vérifier et comprendre le processus de résolution dans son ensemble est (quasi-)totale. Enfin, un ensemble d'outils et de documentation est fourni avec la suite PyCSP³ / XCSP³ :

- Deux sites internet avec documentation, tutoriel, exemples...
 - <https://www.pycsp.org/>
 - <https://www.xcsp.org/>
- Des parseurs (Java, C++, Rust et Python)
- Près de 350 modèles, disponibles sur <https://github.com/xcsp3team/pycsp3-models>
- Des descriptions des compétitions de solveurs de contraintes organisées par le CRIL en 2018, 2019, 2022 et 2023 (voir <https://www.xcsp.org/competitions/>).

La librairie PyCSP³ est actuellement utilisée par divers collègues pour leur cours de programmation par contraintes (Bordeaux, Angers, Marseille, Montpellier). Elle a été également utilisée dans le cadre d'un contrat entre le CRIL et les entreprises Exakis Nelite et le groupe ADP dans le but de modéliser des problèmes de planification de ressources aéroportuaires (parkings, banques d'enregistrement...). Enfin, la suite PyCSP³ est utilisée dans le cadre de la thèse en partenariat avec l'ONERA qui vient de débiter et qui concerne la notion d'apprentissage dans le contexte de la montée en cadence d'une ligne d'assemblage en aéronautique (avec des données apportées par Airbus).

Les travaux autour de CSP ne s'arrêtent pas à cette suite logicielle. Des recherches ont continué à être conduites afin d'améliorer les solveurs de contraintes. L'apprentissage des confits (*nogoods*) dans le cadre de la programmation par contraintes passe par des algorithmes *ad hoc* pour chaque type de contraintes. Les travaux réalisés dans le cadre de la

thèse de Gaël Glorian ont conduit à proposer des algorithmes génériques pour apprendre des *nogoods* (Glorian, Lagniez et Lecoutre, 2020). De façon à rendre les solveurs les plus autonomes possibles, et donc les plus robustes possibles, les travaux autour de la thèse de Hugues Watez ont consisté à modifier l'heuristique de choix de variables durant la recherche en s'inspirant des politiques traitant du problème du bandit multi-bras. De telles politiques sont issues de l'apprentissage par renforcement et permettent d'explorer un ensemble d'actions tout en exploitant, le plus souvent possible, l'action la plus prometteuse (Paparrizou et Watez, 2020 ; Watez, Koriche, Lecoutre, Paparrizou et Tabary, 2020). En particulier, dans (Koriche, Lecoutre, Paparrizou et Watez, 2022) (cet article fait parti du portfolio du laboratoire), l'objectif visé a été d'identifier la meilleure heuristique en peu d'exécutions et sans aucune hypothèse stochastique sur le solveur de contraintes. Dans cette étude, une variante adaptative de la méthode de *Successive Halving* qui exploite la séquence de redémarrage universelle de Luby a été proposée. L'analyse de la convergence de cet algorithme de bandit dans un cadre non stochastique a été réalisée, et son efficacité empirique sur différents jeux de données de satisfaction de contraintes a été démontrée.

Les diagrammes de décision multivalués (MDD) jouent un rôle de plus en plus important dans le cadre de la programmation par contraintes. Nous avons proposé (Verhaeghe, Lecoutre et Schaus, 2018) une structure de données apparentée appelée sMDD (semi-MDD) où la couche centrale des diagrammes est non déterministe. Nous avons montré qu'il est facile et efficace de transformer n'importe quelle table (ensemble de tuples) en un sMDD. Nous avons également présenté un nouvel algorithme de filtrage, appelé CD (*Compact-Diagram* ou *Compact-MDD*), basé sur des opérations bit à bit, qui peut être appliqué à la fois aux MDDs et sMDDs. La structure des tables (énumérant les tuples acceptés ou interdits) a également évolué au fil des ans, conduisant à une forme hybride entre représentations dite en intension et en extension, ceci étant obtenu en intégrant des restrictions (contraintes internes) arithmétiques simples au sein des tables. A partir de cette observation, nous avons introduit (Verhaeghe, Lecoutre et Schaus, 2019), le concept de *hybrid-MVDs : Multi-Valued Variable Diagrams* dont les arcs peuvent être étiquetés avec des constructions/restrictions hybrides. Nous avons montré comment de tels diagrammes peuvent être naturellement dérivés à partir de tables ordinaires et de MDDs, et nous avons étendu l'algorithme de l'état de l'art, appelé CD. L'ensemble de ce travail figure dans la thèse de doctorat soutenue en 2021 par Hélène Verhaeghe, thèse qui a été récompensée par le *Doctoral Research Award* de l'ACP (*Association for Constraint Programming*) en 2022, et qui a été co-encadrée par Pierre Schaus (UCL, Belgique) et Christophe Lecoutre. Une forme originale de compression des tables a également été proposée (Audemard, Lecoutre et Maamar, 2020) : le concept de tables segmentées dans lesquelles les entrées peuvent combiner des valeurs ordinaires, des valeurs universelles (*) et des sous-tables.

En ce qui concerne l'exploration de l'espace de recherche, le CRIL a contribué au cours des ans à proposer des heuristiques génériques et robustes (remontant à l'article (Boussemart, Hemery, Lecoutre et Sais, 2004) introduisant *dom/wdeg* qui est une heuristique sélectionnant à chaque étape de la recherche la variable avec le plus petit ratio 'taille du domaine' sur 'degré pondéré', sachant que le degré pondéré d'une variable est calculé en fonction du nombre de conflits impliquant la variable, qui sont rencontrés pendant la recherche). Nous avons proposé (Watez, Lecoutre, Paparrizou et Tabary, 2019) un raffinement de cette heuristique en prenant en compte des informations plus fines à chaque conflit produit par une contrainte : l'arité « courante » de la contrainte ainsi que la taille des domaines courants des variables impliquées dans cette contrainte. Cette variante est utilisée par défaut dans le solveur ACE. Une heuristique originale a également été proposée récemment (Audemard, Lecoutre et Prud'Homme, 2023) : cette heuristique appelée *pick/dom* piste les variables qui sont directement impliquées dans le processus de propagation de contraintes, lorsqu'il se termine par un conflit. La grande efficacité de cette nouvelle heuristique sur certaines familles de problèmes ouvre des opportunités quant à construire des combinaisons particulièrement robustes impliquant les trois heuristiques (*wdeg/dom*, *frba/dom*, *pick/dom*) de l'état de l'art.

Il convient de noter que, à l'exception des travaux de Gaël Glorian qui ont donné lieu à un solveur dédié, les algorithmes décrits ci-dessus ont été implémentés dans le solveur ACE (anciennement *abscon*), solveur maintenu par Christophe Lecoutre depuis bientôt 20 ans. Ce solveur est l'un des solveurs les plus efficaces actuellement, comme en témoignent ses résultats obtenus lors de compétitions XCSP³. ACE est disponible sur [GitHub](#). ACE intègre la plupart des techniques les plus efficaces pour résoudre des problèmes à base de contraintes, que ce soit en satisfaction ou en optimisation.

Raisonnement qualitatif pour l'espace et le temps

Le raisonnement spatial et temporel qualitatif est un domaine de l'intelligence artificielle qui traite des concepts cognitifs

fondamentaux de l'espace et du temps de manière abstraite et qualitative. Depuis 2018, nous avons conduit au sein de l'axe « Contraintes » différents travaux sur de problématiques majeures concernant les formalismes qualitatifs, en particulier, la résolution de réseaux de contraintes qualitatifs, la gestion de l'incohérence et la classification de réseaux de relations qualitatives pour l'analyse de données.

Un ensemble d'informations spatiales ou temporelles qualitatives peut être représenté par un réseau de contraintes qualitatives (RCQ) dans lequel les variables représentent les entités temporelles ou spatiales tandis que les contraintes modélisent les configurations possibles entre ces entités. L'un des problèmes de raisonnement fondamentaux concernant un RCQ est le problème de l'étiquetage minimal qui consiste à déterminer l'ensemble des relations de base définissant ses contraintes pouvant être satisfaites. Dans (Sioutis, Paparrizou et Condotta, 2019), nous avons traité ce problème en proposant une nouvelle cohérence locale et différentes méthodes de filtrage associées.

Nous nous sommes également intéressés à la problématique de la gestion de l'incohérence dans le cadre spécifique du raisonnement spatio-temporel qualitatif. Plus précisément, dans (Salhi et Sioutis, 2023a), nous nous sommes penchés sur le processus de décomposition appliqué au raisonnement spatial et temporel qualitatif, visant à segmenter un réseau de contraintes incohérent en sous-réseaux cohérents partageant des éléments communs. Après avoir mis en évidence plusieurs propriétés théoriques notables, incluant des limites sur le nombre de sous-réseaux et des considérations de complexité calculatoire, nous avons introduit deux approches pour résoudre ce problème. La première s'appuie sur un encodage SAT, et la seconde sur un algorithme glouton, avec une variante exploitant les arbres de recouvrement pour optimiser le processus. Nous avons également adapté ces méthodes à une variante du problème initial axée sur l'augmentation de la similarité entre les sous-réseaux, où la similarité est définie par les contraintes communes. Dans (Salhi et Sioutis, 2023b), nous avons puisé dans les principes des logiques paraconsistantes, à l'instar de la logique LPm de Priest, pour introduire une notion de scénario paraconsistant. Ce concept permet d'envisager la coexistence de relations de base contradictoires entre deux variables, telles que 'x précède y' et 'x suit y'. Nous avons mis en évidence plusieurs propriétés théoriques pertinentes liées aux scénarios paraconsistants, y compris des aspects de complexité calculatoire, et présenté deux méthodologies distinctes pour générer ces scénarios et aborder des problèmes connexes.

Dans (Boukontar, Condotta et Salhi, 2022 ; Salhi, 2019), nous avons introduit deux nouveaux cadres de fouille de données fondés sur le raisonnement qualitatif. Dans le premier travail, nous avons considéré des bases de données d'éléments dont les domaines sont de différents types et auxquels un réseau de contraintes qualitatives est associé. Dans ce contexte, les problèmes de fouilles de données étudiés, et pour lesquels nous proposons des méthodes de résolution, consistent en la caractérisation de covariations qualitatives entre les éléments. Dans le second travail réalisé, nous avons proposé des méthodes d'extraction de motifs fréquents dans le cadre d'une base de données où chaque élément est représenté par un réseau de contraintes.

Un CSP temporel est un réseau de contraintes dans lequel les variables et les contraintes sont soumises à des contraintes de temps. Ces contraintes de temps spécifient des relations temporelles entre les variables, telles que des contraintes de précédence, des contraintes de délai, des fenêtres temporelles...

Pendant la période de référence, divers travaux ont été réalisés dans l'axe « Contraintes » autour des CSP temporels. Ainsi, un cadre de raisonnement temporel qualitatif paracohérent (i.e., capable de tolérer les contradictions) a été défini (Salhi et Sioutis, 2023b). Une méthode efficace conçue pour gérer efficacement les contradictions en adoptant une approche basée sur la décomposition a été proposée (Salhi et Sioutis, 2023a). Ces travaux s'appuient en partie sur un encodage vers SAT. Des algorithmes de filtrage spécifiques ont également été proposés (Sioutis, Paparrizou et Janhunnen, 2019, 2020). Enfin, une approche incrémentale, basée sur le modèle CEGAR, est à la base d'un outil de raisonnement efficace pour les CSP qualitatifs (Glorian, Lagniez, Montmirail et Sioutis, 2018).

Calcul de structures de coalition

Parmi les applications de la programmation par contraintes ayant donné lieu à des travaux de recherche dans l'axe « Contraintes » depuis 2018 figure la génération de structure de coalition (CSG), qui constitue un des défis importants dans les systèmes multi-agents. L'objectif est de former une partition d'un ensemble donné d'agents en coalitions de telle sorte que la somme des utilités de chaque coalition soit maximisée. Nous avons proposé (Schwind, Okimoto, Inoue, Hirayama, Lagniez et Marquis, 2018, 2021) un modèle de CSG probabiliste (PCSG), qui étend le modèle CSG standard pour tenir compte de la nature stochastique de l'environnement, c'est-à-dire lorsque certains des agents considérés au

départ peuvent finalement ne pas être disponibles. L'objectif est alors de maximiser l'utilité espérée d'une structure de coalition. Nous avons montré que le problème est NP^{PP} -difficile dans le cas général, mais reste dans NP pour deux sous-classes naturelles d'instances du problème PCSG, lorsque la fonction caractéristique qui donne l'utilité de chaque coalition est représentée à l'aide d'un réseau de contribution marginale (MC-net). Nous avons proposé deux schémas d'encodage (un pour chacune de ces sous-classes) de telles instances en instances de problèmes d'optimisation sous contraintes. Nous avons réalisé des expérimentations qui ont montré que le calcul d'une structure de coalition avec une utilité espérée maximale peut être effectué efficacement pour des instances PCSG de taille raisonnable.

Un autre problème très important concernant les systèmes multi-agents est le problème de la formation d'équipes. Ce problème réside dans la recherche, au sein d'un ensemble d'agents A, d'un sous-ensemble A' de coût minimal tel que A' constitue une équipe suffisante. Une équipe est jugée suffisante lorsque ses agents couvrent toutes les capacités nécessaires à la réalisation d'un objectif. Cette définition d'une équipe suffisante ne prend pas en compte l'absence possible de certains agents, entraînant l'impossibilité de réaliser, ne serait-ce que partiellement, l'objectif. Dans (Demirović, Inoue, Lagniez et Schwind, 2023; Schwind, Demirović, Lagniez et Inoue, 2021), nous explorons un cadre plus flexible permettant la formation d'équipes offrant un taux élevé de réalisation de la tâche visée. L'ajout de contraintes aux équipes candidates n'est pas nouveau, car il est généralement reconnu comme nécessaire d'introduire de la redondance dans un système pour le rendre plus robuste. Cependant, cette redondance a un coût, que ce soit en termes de déploiement de l'équipe ou de coût de calcul associé. Le cadre proposé suggère un compromis entre ces deux dilemmes, offrant la possibilité de former des équipes à un coût raisonnable dans un délai de calcul acceptable. Pour valider expérimentalement cette approche, le problème de la couverture de réseaux dans un environnement urbain en situation d'urgence a été considéré. Les simulations réalisées indiquent qu'il est généralement possible de couvrir 90% de la population en cas de catastrophe, avec des équipes ayant un coût bien inférieur par rapport à celui qui serait requis pour obtenir une couverture complète de la population. Le logiciel permettant le calcul de formation d'équipe partiellement robuste est disponible à cette adresse : <https://github.com/jm62300/team-formation>. Ce dépôt git est accompagné d'outils pour la génération d'instances et de programmes traitant d'autres aspects liés à la formation d'équipes.

Référence 2. La production scientifique de l'unité est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels. Dans la section *synthèse d'auto-évaluation* ci-dessous, nous mettons en exergue que l'axe « Contraintes » se caractérise par une forte implication de plusieurs de ses membres dans l'administration de l'enseignement et les tâches collectives ou de pilotage au niveau de l'établissement. Le temps et l'énergie consacrés à ces tâches, indispensables au bon fonctionnement de l'écosystème, ne sont pas mobilisés pour faire avancer les activités de recherche de l'axe et, ceci induit directement un déséquilibre entre membres de l'axe pour ce qui concerne la production scientifique. Dans l'objectif de contribuer à un rééquilibrage, la direction a instauré un système d'attribution de bourses de thèse privilégiant les collègues n'ayant pas encadré depuis longtemps. Nous espérons que cette politique portera ses fruits.

Nonobstant le recrutement d'un nouveau collègue sur une CPJ fin 2023, un seul enseignant-chercheur permanent a rejoint l'axe « Contraintes » pendant la période de référence, suite à son recrutement comme MCF à l'université d'Artois. Comme tous les enseignants-chercheurs débutants de l'université, il a bénéficié d'une décharge de service de 64 heures pendant ses premières années d'enseignement. Son intégration s'est bien déroulée et il est fortement impliqué dans la vie du laboratoire. Il siège en particulier comme membre élu au conseil de laboratoire et assure actuellement le co-encadrement d'un doctorant.

Les ingénieurs de recherche du CRIL ont grandement contribué à l'activité de l'axe en participant au développement de logiciels, comme l'illustre le travail de Fabien Delorme concernant un outil de raisonnement dédié aux d-DNNF (<https://www.cril.univ-artois.fr/software/ddnnf/>). Par ailleurs, nos ingénieurs ont joué un rôle essentiel dans l'organisation des compétitions, à l'instar d'Emmanuel Lonca qui a été impliqué dans les deux dernières compétitions XCSP (<https://www.xcsp.org/competitions/>). Enfin, nos ingénieurs ont également contribué à la mise en place de diverses expérimentations. Emmanuel Lonca, en particulier, est chargé de la gestion du cluster et est souvent sollicité à cet effet.

Synthèse de l'autoévaluation de l'axe « Contraintes »

Au cours de la période de référence, l'axe « Contraintes » a continué à produire des résultats de qualité, diffusés dans les conférences les plus sélectives du domaine. Comme en témoignent les responsabilités qu'ils ont pu occuper et les distinctions qu'ils ont reçues, ses membres sont reconnus dans la communauté scientifique. Le développement logiciel est resté une activité centrale de l'axe « Contraintes ». Les logiciels pérennes comme ACE, Glucose, gopherSAT ou SAT4J ont continué à être maintenus. De nouveaux logiciels ont vu le jour ou ont vu leur visibilité augmenter (notamment d4 et Metrics). Il faut, enfin, citer la bibliothèque PyCSP³ qui arrive à maturité et qui est de plus en plus utilisée par des collègues en dehors du CRIL, que ce soit pour l'enseignement ou pour des tâches de modélisation dans un cadre industriel.

Durant de nombreuses années, les principaux travaux développés au sein de l'axe « Contraintes » ont porté sur l'amélioration de solveurs (SAT, MaxSAT, pseudo-booléens, contraintes). Ce type d'activités est moins intense aujourd'hui dans l'axe et cela s'explique par le fait que les technologies en question sont maintenant matures et, de ce fait, leurs performances sont plus difficiles à améliorer significativement. Une partie du temps de recherche des membres de l'axe « Contraintes » est ainsi utilisée depuis quelques années pour aborder des thématiques connexes aux contraintes. Cela montre que les collègues ne sont pas restés figés sur leur activité passée. Malgré tout, il faudra faire attention dans les années qui viennent à conserver une activité de recherche disciplinaire sur les questions centrales de façon à ne pas perdre l'expertise de l'axe sur la conception de solveurs efficaces, reconnue largement en France et à l'étranger.

Parmi les enseignants-chercheurs non publiants (ou quasiment non publiants) du laboratoire, on trouve en majorité des membres de l'axe « Contraintes ». Cela s'explique par plusieurs facteurs : la pyramide des âges (un quart des membres de l'axe a plus de 61 ans, voir figure 2), mais aussi par leur implication dans d'autres tâches (certains membres de l'axe « Contraintes » exercent des responsabilités pédagogiques et/ou administratives importantes comme chef de département à l'IUT ou vice-président de l'université).

4 TRAJECTOIRE DE L'UNITÉ

Présenter une trajectoire de recherche pour le CRIL requiert de réaliser une étude rétrospective de l'activité scientifique qui a été conduite, mais aussi une étude prospective de celle-ci, pour le futur. La première étude ne pose pas de difficultés particulières et peut être objectivée car elle s'appuie sur des faits passés, établis. La seconde étude à produire est forcément plus périlleuse car la réalisation du projet mis en avant va dépendre d'un ensemble de paramètres inconnus au moment où l'étude est conduite. Celle-ci repose donc surtout sur les envies des un(e)s et des autres à l'instant où on la conçoit, à la pertinence des questions de recherche qu'elle inclut (tant d'un point de vue scientifique que sociétal) qu'à notre conviction d'être capable de réaliser des avancées significatives par rapport à ces questions de recherche. Il n'est pas à exclure pour autant qu'avant l'évaluation suivante, les questions de recherche pointées dans le projet proposé soient résolues par d'autres que nous et que l'intérêt de ces questions diminue drastiquement. Si tel est le cas, il conviendra évidemment d'infléchir le projet et le tourner vers d'autres directions. Pour emprunter les (bons) mots de Niels Bohr, *prediction is very difficult, especially if it's about the future!*

Par ailleurs, la trajectoire du CRIL ne peut raisonnablement se penser en faisant abstraction des projets qui sont en cours et le seront encore lors du prochain contrat (en particulier, le projet MAIA), mais aussi des trajectoires des acteurs de son écosystème (en particulier, le DIM IA et les divers laboratoires qui s'y rattachent). Des collaborations avec ces acteurs, centrées sur des questions de recherche qu'ils seront conduits à considérer, émergeront sans aucun doute.

Malgré sa difficulté, essayons néanmoins de nous lancer dans l'exercice prospectif demandé, en commençant par chacun des trois axes de l'unité, avant de nous attarder sur le trajectoire du CRIL dans son ensemble, telle que nous pouvons l'imaginer aujourd'hui.

4.1 La trajectoire de l'axe « Données »

Comme déjà mentionné dans ce rapport, l'axe « Données » a été créé en cours de contrat et a donc une histoire récente au CRIL. Sa création est venue marquer la volonté du laboratoire de prendre le virage de l'IA numérique. Le défi était de faire émerger un axe de recherche autour des données en mobilisant des forces vives déjà présentes dans l'unité. Le levier principal utilisé était de s'appuyer sur l'expertise de ses membres en IA symbolique pour s'attaquer à des problématiques concernant les données. Pour le futur, l'axe « Données » ambitionne au niveau des moyens humains une montée en puissance (notamment grâce à des projets de recherche sur lesquels des doctorant(e)s, post-doctorant(e)s et ingénieur(e)s de recherche pourront être recruté(e)s). Une telle montée en puissance est nécessaire puisqu'une part importante des travaux de recherche de l'axe a une base empirique et requiert de gros efforts d'implémentation et de validation expérimentale. D'autre part, une telle montée en puissance devrait permettre de construire un vivier de collègues sur chaque domaine d'intérêt qui soit suffisant pour pouvoir impulser ou participer à de nouveaux projets. Au niveau scientifique, notre but est de concevoir un projet de recherche original, qui soit complémentaire et en forte interaction avec les deux autres axes du laboratoire.

Dans l'immédiat, le projet de recherche de l'axe « Données » pour le prochain contrat est en continuation des travaux et projets conduits actuellement, avec une ouverture à de nouveaux problèmes et de nouvelles approches comme l'IA neurosymbolique. Ce projet s'inscrit donc aussi dans la continuité du projet actuel du laboratoire dans le sens où, par exemple, il met un focus particulier sur les modèles interprétables et la confiance. Une autre caractéristique principale de ce projet est qu'il compte capitaliser sur l'expertise de ses membres en IA symbolique (en particulier, en représentation des connaissances et raisonnement, mais aussi en résolution de problèmes) pour la combiner avec des approches numériques dans l'optique de développer des approches neurosymboliques ou hybrides. Plus en détails, le projet proposé s'articule autour de trois volets couvrant les thématiques de l'axe détaillées ci-après.

Fouille de données Jusqu'à maintenant, l'axe « Données » s'est attelé à proposer de nouvelles approches déclaratives génériques pour les principaux problèmes considérés en fouille de données. Cette piste sera poursuivie à l'avenir pour de nouveaux types de connaissances (par exemple, des motifs graduels, des relations causales, des communautés dans les graphes) et de nouveaux types de données (parmi lesquelles des données numériques et des graphes). Une autre piste de recherche envisagée vise à mieux intégrer l'humain dans la boucle du processus de fouille de données. Le concept de « *human in the loop* » (HITL) désigne un mécanisme qui tire parti de l'interaction humaine pour concevoir certains

systèmes, tels que des modèles d'IA. Une telle interaction avec l'utilisateur, centrale en XAI quand il s'agit de produire des explications adaptées à celui/celle qui les reçoit, est aussi essentielle pour co-construire des modèles de fouille de données à base de contraintes capables d'extraire, à partir des données d'entrées, des connaissances pertinentes à même d'aider à la prise de décision. En effet, la taille de la sortie de ces modèles, souvent exponentielle dans le pire des cas, rend difficile leur exploitation en pratique. La taille de plus en plus grande des données d'entrée pose également des difficultés de passage à l'échelle. Ces deux problèmes, largement identifiés dans la littérature, n'ont pas reçu à l'heure actuelle de réponses satisfaisantes. Notre objectif est de contribuer à apporter des réponses à ces deux limitations majeures. Nous explorerons diverses pistes de recherche complémentaires, incluant l'exploitation des préférences/contraintes de l'utilisateur, la sélection des attributs et/ou objets les plus pertinents, et plus généralement exploitant une caractérisation plus fine des motifs recherchés mais aussi la possibilité d'effectuer des requêtes sur la sortie produite, pour identifier des motifs particuliers et les objets où ils apparaissent.

Gestion de données massives, hétérogènes et multi-sources Pendant le prochain contrat, nous souhaitons aussi consacrer un effort particulier à la gestion des données hétérogènes et imparfaites dans des applications.

L'hétérogénéité renvoie à des informations de nature différente, telles que des images, des documents structurés et non structurés, des cartes analogiques, des données incomplètes et non fiables, etc. Outre la notion de données, on s'intéresse aussi à intégrer des connaissances (au sens large du terme) qui sont souvent sous-exploitées dans les applications réelles. Un premier objectif sera de développer des modèles (à bases de graphes et à base logique) et des méthodes pour la représentation, la complétion, la fusion, la réparation et l'interrogation des données hétérogènes avec une validation sur les données réelles ou simulées. On utilisera en particulier les données des eaux usées réelles collectées dans le cadre du projet européen STARWARS et du projet ANR CROQUIS : bases de données factuelles, données géographiques, images de divers types, cartes numériques et analogiques, rapports d'intervention, données incomplètes, données incohérentes, données imprécises (sur les localisations et les caractéristiques géométriques des réseaux), vidéos d'inspection de canalisation, etc. Obtenir des informations précises pour enrichir les données SIG (Système d'Information Géographique) des réseaux souterrains d'eaux usées est un défi à relever, en particulier dans les villes en expansion urbaine.

Apprentissage automatique Malgré les nombreuses avancées majeures en apprentissage automatique réalisées ces dernières années, les techniques les plus efficaces, généralement basées sur des architectures de réseaux de neurones profonds, souffrent de plusieurs problèmes et il est nécessaire de lever certains obstacles pour pouvoir déployer ces systèmes dans les domaines critiques ou sensibles. Ces problèmes concernent principalement la complexité et l'opacité qui en résulte (ce qui nuit gravement à leur explicabilité et leur transparence), la préservation de la confidentialité et de la sécurité des modèles, leur robustesse et leur fiabilité. A ces problèmes, on peut ajouter le manque de frugalité des modèles (ils sont souvent énergivores car très consommateurs de ressources de calcul). Nous souhaitons consacrer plus d'efforts à la résolution de ces problèmes pendant le prochain contrat car ils sont aussi en prise directe avec les deux actions transverses XAI et AI4* de l'unité qui vont elles-aussi perdurer :

- Apprentissage automatique/statistique/online et interprétable : l'objectif de l'apprentissage automatique interprétable est de construire des algorithmes d'apprentissage statistique/online permettant d'inférer de manière optimale, ou de manière approchée avec *garanties d'approximation*, des *modèles interprétables* ou explicables aux humains (Rudin, Chen, Chen, Huang, Semenova et Zhong, 2022). Les principaux modèles étudiés sont les circuits arithmétiques en classification ou régression et les modèles graphiques parcimonieux en prédiction de classements ou de structures. Une attention particulière portera sur les *espaces latents interprétables*, nécessaires à l'explicabilité des modèles profonds.
- Approches neurosymboliques interprétables : le développement de modèles de réseaux neuronaux interprétables capables de raisonner et de fournir des explications a souligné la nécessité de l'IA neurosymbolique (Sarker, Zhou, Eberhart et Hitzler, 2021). Cela implique l'utilisation de représentations neuronales, modulaires et structurées. Cependant, les approches actuelles en IA neurosymbolique présentent un couplage faible entre l'apprentissage et le raisonnement, rendant les systèmes inefficaces en pratique. En effet, pour garantir une meilleure efficacité, les représentations dans l'espace vectoriel et la connaissance symbolique doivent s'aligner pour une intégration plus étroite. L'objectif ici est de résoudre ce problème en développant une approche neurosymbolique interprétable, modulaire et capable de raisonnement de haut niveau (qui va au-delà d'un simple chaînage de règles). La principale piste à explorer concerne l'introduction de modèles d'apprentissage automatique géométriques pour apprendre une

représentation neuro-structurée adaptée. Dans un deuxième temps, la dynamique des modèles géométriques sera exploitée pour développer des méthodes de raisonnement robuste.

- Apprentissage décentralisé / fédéré : dans de nombreux domaines sensibles, notamment la défense et la santé, et motivé par des problématiques telles que la confidentialité des données, on fait appel à l'apprentissage fédéré (également appelé apprentissage collaboratif). Ce paradigme d'apprentissage automatique se concentre sur les paramètres dans lesquels plusieurs entités construisent un modèle en collaboration tout en garantissant que leurs données restent décentralisées. Cela soulève des questions de recherche liées directement à la gestion des données. Ces questions concernent la gestion efficace de données volumineuses (comment partitionner efficacement les données pour entraîner un modèle distribué ?), ainsi que l'hétérogénéité des équipements sur lesquels les modèles et les données sont distribués.
- Apprentissage et modèles de graphes : un point à explorer dans le domaine de l'apprentissage automatique concerne les graphes, notamment les réseaux de neurones en graphes (Scarselli, Gori, Tsoi, Hagenbuchner et Monfardini, 2009), permettant de modéliser et de résoudre des problèmes où les données peuvent être représentées sous forme graphique. Il sera question ici d'explorer l'apprentissage profond sur les graphes, en se concentrant notamment sur les propriétés à garantir (telles que l'équité des modèles et l'apprentissage auto-supervisé), et sur l'explicabilité des modèles.
- Confiance et robustesse des explications des modèles d'apprentissage automatique : en lien avec la problématique de l'IA de confiance et de son utilisation en pratique, des recherches vont porter sur la caractérisation et la quantification de l'incertitude des modèles d'apprentissage automatique et de sa dynamique, expliquant l'incertitude du modèle. Un premier objectif sera de quantifier de manière fiable la confiance du modèle et de la caractériser en termes d'incertitude aléatoire ou épistémique, par exemple en exploitant des formalismes tels que les probabilités imprécises. Concernant les explications robustes, la généralisation et la simplification des explications, la dynamique des explications, l'un des objectifs poursuivis consistera à traiter le problème de la mise-à-jour des explications comme un problème de mise-à-jour de connaissances. Une approche axiomatique sera nécessaire pour caractériser les changements en termes de propriétés souhaitables et de méthodes permettant de réaliser de telles mises-à-jour.
- Adaptation des modèles d'IA aux contextes *Edge AI* et à *ressources limitées* : l'objectif ici est de proposer des modèles d'apprentissage automatique fiables et de fournir des explications en utilisant moins de ressources de calcul et moins de données. Pour atteindre cet objectif, il sera nécessaire de proposer des méthodes offrant un bon compromis entre traitabilité, fiabilité et qualité des explications notamment en termes de fidélité et de robustesse. La question se résume à identifier les modèles d'apprentissage automatique qui peuvent être expliqués systématiquement tout en assurant ce compromis et à explorer des modèles de substitution plus robustes et plus fidèles aux boîtes noires. Nous visons également à garantir des explications robustes même en cas d'entrées manquantes ou incomplètes et lorsque l'accès aux données est restreint.

Capitalisation des données Comme les publications et les logiciels de recherche, les données produites par la recherche sont à valoriser, dans le cadre de la science mais aussi en interne. Elles peuvent, en effet, servir de point d'accroche à des travaux réalisés conjointement entre axes. Un objectif du prochain contrat est d'améliorer la valorisation des données produites au sein de l'unité, et plus particulièrement dans l'axe « Données ». Une première piste est de systématiquement promouvoir les données produites sur des dépôts académiques de partage de données (recherche data gouv, zenodo) en les rendant plus visibles. Leur présentation sur le site web de l'unité sera aussi à améliorer, comme cela a été le cas pour les logiciels pour la période 2018-2023.

4.2 La trajectoire de l'axe « Connaissances »

L'axe « Connaissances » existe depuis la création de l'unité il y a trente ans. Les travaux qui s'y sont développés concernent la modélisation et la représentation des « connaissances » (où « connaissances » est ici un terme générique pour divers types d'information : croyances, préférences, actions, buts, intentions, etc.) et la modélisation et l'étude de processus de raisonnement et de prise de décision.

Le projet proposé pour l'axe « Connaissances » explore diverses thématiques de recherche à l'intérieur de ce spectre, qui concernent aussi bien des aspects méthodologiques, allant de la révision de croyances à l'analyse des réseaux sociaux, en

passant par l'argumentation et le raisonnement qualitatif, à des aspects transverses liés aux actions XAI et AI4*, avec un focus sur l'analyse causale, le changement de croyances et l'apprentissage et l'acceptabilité de l'IA.

Révision itérée et instanciation, révision, mise-à-jour. Nous avons montré que l'instanciation canonique des opérateurs de changement de croyance itéré est l'ensemble des fonctions ordinales conditionnelles (OCF). Il est intéressant de regarder maintenant quelles sont les propriétés des opérateurs de changement pour des instanciations restreintes. En particulier, déterminer quelles sont les instanciations minimales pour garantir certaines propriétés est une piste de recherche que nous souhaitons développer. Nous souhaitons aussi étudier de nouvelles propriétés d'intérêt, afin de découvrir des sous-classes d'opérateurs correspondants. En particulier, nous comptons analyser différentes propriétés d'homogénéité, garantissant un comportement stable lors des itérations.

Depuis la définition formelle des opérateurs de mise-à-jour par Katsuno et Mendelzon en 1991, il n'y a pas eu beaucoup d'autres travaux à leur sujet. Les opérateurs de mise-à-jour permettent d'actualiser une base de croyances lorsque le monde évolue (alors que les opérateurs de révision corrigent une base de croyances qui est incorrecte). Nous avons récemment proposé une classe d'opérateurs de mise-à-jour plus adéquate que celle proposée par Katsuno et Mendelzon. Nous souhaitons maintenant étudier des opérateurs qui combinent mise-à-jour et révision, pour les applications où l'on ne sait pas si la nouvelle information à prendre en compte est due à une actualisation du monde ou reflète simplement qu'une correction est nécessaire.

Découverte de la vérité. Nous avons défini récemment une méthode pour trouver la vérité en confrontant différentes sources d'information afin de déterminer les sources (supposément) les plus fiables, et nous avons montré que cette méthode était plus efficace que les méthodes de la littérature. Néanmoins, il nous reste beaucoup à faire. Nous comptons développer une plate-forme logicielle afin de donner plus de visibilité à ce problème et à notre méthode, et afin de recueillir plus de jeux de données réels pour réaliser des expérimentations de plus grande ampleur. Nous comptons également améliorer notre méthode en déterminant de meilleures fonctions d'agrégation, mais également en prenant en compte d'autres dimensions importantes, comme une fiabilité a priori des sources, et la prise en compte de sujets (*topics*) différents.

Analyse des réseaux sociaux. Les développements des thématiques concernant la révision de croyances et la découverte de la vérité peut trouver une application importante pour l'analyse des réseaux sociaux. La révision de croyances peut être utilisée pour étudier la diffusion des opinions, ou des *fake news* dans des réseaux sociaux. Il y a un domaine scientifique dédié à la problématique de l' « *opinion diffusion* » mais, dans ce cadre, l'opinion d'un agent se résume au choix d'une valeur d'une variable réelle. Il s'agit d'un cadre représentationnel bien trop pauvre pour rendre compte des connaissances d'un agent. La théorie de la révision de croyances permet d'attaquer ce problème en représentant les connaissances d'un agent avec une base de connaissances exprimée en logique (propositionnelle ou autre). Les méthodes de découvertes de la vérité, et d'évaluation de la fiabilité des sources peuvent également être utilisées pour analyser des annonces faites sur les réseaux sociaux et ainsi aider à lutter contre les *fake news*.

Argumentation. Le projet du CRIL concernant l'argumentation est orienté vers le développement des systèmes d'argumentation pour les débats, notamment les débats en ligne. La première composante est la prise en compte de votes positifs et négatifs, où le but est de définir un modèle permettant d'estimer la force des arguments en présence de votes positifs et négatifs sur les arguments, les attaques et les soutiens. Un deuxième objectif est d'effectuer une évaluation théorique du cadre à venir. Nous définirons des postulats de rationalité que le système doit satisfaire. Par exemple, prenons un argument A dont l'attaquant B reçoit un vote négatif ; dans ce cas, le score de l'argument A peut augmenter, mais il ne doit pas diminuer. Un intérêt d'une approche basée sur des postulats est d'offrir une explication des décisions prises à l'utilisateur, ce qui permet que le système ne soit pas perçu comme une boîte noire. Nous étudierons également la complexité informatique de notre modèle. Les systèmes en ligne souffrent de manipulations possibles. Pour les détecter, nous nous appuyerons à la fois sur des heuristiques et sur des méthodes de détection d'anomalies, comme des arguments fallacieux ou dupliqués (c'est-à-dire des actes de langage qui violent les règles d'une discussion argumentative rationnelle pour des gains persuasifs supposés) ou encore des manipulations (par exemple, un groupe organisé d'utilisateurs votant massivement en faveur de l'argument A).

Représentation et raisonnement qualitatifs. Le raisonnement qualitatif vise à faciliter le raisonnement sur des entités complexes à travers des formalismes de représentation symbolique. En particulier, ce type de raisonnement est étroitement lié au raisonnement humain et peut être utilisé, par exemple, pour traiter des informations provenant du langage naturel.

Dans la littérature, une attention particulière a été portée sur l'étude de formalismes qualitatifs permettant de traiter des concepts cognitifs fondamentaux de l'espace et du temps de manière abstraite et qualitative. Bien qu'initialement proposés pour raisonner sur la dimension temporelle ou spatiale d'entités physiques et concrètes du monde réel (actions, évènements, territoires géographiques, etc.) dans des domaines tels que le traitement du langage naturel, la planification ou encore les SIG (systèmes d'information géographique), il n'est pas rare de voir les formalismes qualitatifs pour le temps et l'espace être considérés pour représenter et raisonner sur des entités abstraites non spatiales ou temporelles. L'une des perspectives prometteuses consiste à intégrer le raisonnement qualitatif dans des approches d'analyse de données. Grâce à la proximité du raisonnement qualitatif avec le processus cognitif humain, cette intégration a pour but principal de faciliter la compréhension des connaissances extraites de données complexes. Cette perspective s'aligne parfaitement avec les objectifs du projet du CRIL concernant le développement de systèmes d'IA explicables. En effet, en offrant des explications claires et facilement compréhensibles, les techniques d'extraction de connaissances envisagées pourraient jouer un rôle essentiel à divers niveaux dans l'analyse comportementale des systèmes d'IA.

Analyse causale. L'analyse causale a plusieurs applications pratiques pour la recherche d'explications dans le cadre de systèmes d'IA opaques (par exemple, ceux qui s'appuient sur certaines méthodes d'apprentissage automatique). Dans la plupart des cas, lorsqu'un tel système prend une décision (par exemple, il classe un candidat comme apte ou pas ; il délivre un diagnostic ; il suggère un jugement), l'utilisateur n'a pas la possibilité d'obtenir une explication de la décision produite. Ceci est particulièrement problématique dans les cas où la décision est contestée. L'explication du raisonnement qui a résulté dans la décision en question a souvent besoin d'une analyse causale (par exemple, le candidat n'est pas considéré comme apte parce qu'il n'a pas le diplôme demandé ; le diagnostic est négatif parce que tel symptôme n'est pas présent). En médecine, il est souvent nécessaire de déterminer si un patient a été guéri par le traitement qu'il a reçu, c'est-à-dire de déterminer si le traitement a causé la guérison du patient. En droit, il est souvent nécessaire de déterminer si les actions d'une personne ont causé, ou bien ont été une partie de la cause, d'un évènement. L'étude de la causalité est d'autant plus importante aujourd'hui que la signification même de ce concept ne fait pas l'objet d'un consensus. Nous souhaitons contribuer à l'étude des définitions proposées et, en particulier, apporter des éléments méthodologiques en identifiant des situations où une notion se révèle plus adaptée que d'autres.

Changement de croyances et apprentissage. Une direction de recherche à la croisée des axes « Données » et « Connaissances » concerne l'étude des liens existant entre changement de croyances et apprentissage. En effet, la phase d'apprentissage d'un modèle requiert souvent de faire varier itérativement des valeurs de paramètres selon les données d'entraînement considérées à chaque étape, donc de changer ces valeurs pour mieux rendre compte des données observées. En outre, dans l'apprentissage dit incrémental, ou apprentissage en ligne, les données d'apprentissage ne sont pas toutes disponibles d'un coup mais arrivent en flux. Dans un tel cadre, l'ordre d'arrivée des données peut avoir un sens (par exemple, le concept à apprendre peut varier au cours du temps). Dans les deux cas, la question de l'apprentissage s'apparente vraiment à une question de changement de croyances : comment faire évoluer un modèle appris jusqu'ici pour prendre en compte les nouvelles données reçues ? Cette problématique a reçu une certaine attention dans les années 1990 (on parlait alors de *theory revision* et les modèles étudiés étaient des programmes logiques). Lors du contrat 2018-2023, nous avons commencé à aborder ce type de problématique de changement de croyances pour d'autres modèles en proposant une famille d'opérateurs dits d'édition, que nous avons caractérisée axiomatiquement. Comment séparer les changements « raisonnables » de ceux qui ne le sont pas ? Il reste beaucoup à faire dans cette direction qui nous semble importante à développer dans une perspective d'IA hybride. Nous souhaitons y travailler lors du prochain contrat.

Acceptabilité de l'IA. Dans le cadre du projet MAIA (qui va se poursuivre lors du prochain contrat), nous avons prévu de travailler avec des psychologues sur l'acceptabilité de l'IA. En effet, comprendre les facteurs d'acceptation de l'IA par les êtres humains semble indispensable à une intégration et une adoption réussies de l'IA. Bien que de nombreuses études aient examiné l'acceptation de l'IA, elles s'appuient souvent sur des données autodéclarées et ne tiennent pas compte des différences interindividuelles. Ceci génère d'importantes lacunes concernant la compréhension des facteurs dont les nuances peuvent influencer l'acceptation de l'IA. Notre projet a pour objectif de contribuer à remédier aux limites des recherches existantes en produisant une enquête approfondie sur l'acceptation des technologies de l'IA, en mettant l'accent sur l'évaluation expérimentale et sur l'étude des variations culturelles et individuelles.

Vers une IA neuro-symbolique. Ces dernières années ont vu émerger un intérêt croissant pour les approches d'IA qui intègrent l'apprentissage automatique avec les techniques de représentation de connaissances et de raisonnement symbolique. Cette convergence découle de la synergie naturelle entre les deux paradigmes de l'IA : symbolique et numérique.

En effet, bien que les succès croissants des systèmes basés sur l'apprentissage machine, notamment dans le traitement du langage naturel avec les modèles de langues et la vision par ordinateur avec les générateurs de vidéos et d'images, offrent des solutions novatrices à des problèmes traditionnels en IA tels que l'acquisition de connaissances, ils mettent en évidence d'importantes limitations, notamment en termes de sens commun, d'explicabilité, de transparence, d'équité, de biais et d'adaptation à des situations imprévues ou peu familières. Résoudre ces défis peut requérir la prise en compte de représentations symboliques, offrant une plus grande transparence et moins d'ambiguïté. Le développement de synergies entre l'apprentissage machine et la représentation symbolique ouvre de nouvelles perspectives dans le domaine de l'IA. Bien que l'idée ne soit pas nécessairement nouvelle, elle connaît un regain d'intérêt significatif. Parmi les perspectives prometteuses nous souhaitons explorer les problématiques suivantes durant le prochain contrat : l'apprentissage de règles symboliques (théorie) à partir de données brutes et la complétion automatique des règles à partir d'un vocabulaire, la planification symbolique pour l'apprentissage par renforcement, l'utilisation de représentations symboliques pour faciliter/superviser l'apprentissage efficace avec peu de données (*few-shot learning*) et l'interprétabilité des réseaux de neurones profonds, l'amélioration des mécanismes d'inférence, ainsi que l'intégration de raisonnement symbolique dans les LLM.

4.3 La trajectoire de l'axe « Contraintes »

L'axe « Contraintes » est le second « axe historique » du CRIL, puisqu'il existe depuis la création de l'unité il y a trente ans. Comme évoqué précédemment dans ce document, les recherches effectuées au sein de l'axe « Contraintes » ont évolué depuis ses débuts et en particulier, au cours de la période de référence. Même si des recherches visant à l'amélioration des solveurs (SAT/pseudo-bouloéen/contraintes) ont encore été conduites depuis 2018, une grande partie des travaux a consisté à utiliser des solveurs pour résoudre des problèmes plus complexes (comme le comptage de modèles) ou connexes (en particulier, concernant les actions transverses du laboratoire). Il nous semble important de continuer à concilier ces deux directions dans les années à venir. Les travaux autour de l'IA de confiance, vue du côté de l'axe « Contraintes » vont pouvoir se renforcer avec l'arrivée de Florent Capelli (CPJ) puisque son projet de recherche CPJ tourne autour de ce thème. Les travaux de recherche amont ne seront pas négligés pour autant. En effet, il est raisonnable de ne pas perdre de vue les développements à visée théorique, comme ceux autour de la complexité des problèmes par exemple.

Satisfaction et optimisation en variables booléennes Les solveurs SAT sont aujourd'hui matures et capables de résoudre des instances représentées par des formules complexes et issues de nombreux domaines, comme la vérification de logiciels ou de circuits. Malgré tout, de nouveaux cas d'usage apparaissent. Prenons le cas de l'IA explicable appliquée aux réseaux neuronaux binaires (BNN). Ces réseaux sont très utiles, ils permettent d'économiser de l'espace de stockage et des calculs, et servent à ce titre de substituts aux modèles profonds sur des appareils aux ressources limitées (comme les téléphones par exemple). Transformer un BNN en un circuit de type boîte blanche pour réaliser des tâches d'explication (comme nous l'avons déjà fait dans le cadre de la chaire EXPEKCTATION) va induire des nouvelles problématiques et de nouveaux types de problèmes à résoudre. Notre expertise dans le développement des solveurs SAT sera précieuse dans ce cadre-là.

De nouveaux cas d'usage de solveurs SAT dans le cadre de la bio-informatique voient le jour (voir (Soh, Magnin, Le Berre, Banbara et Tamura, 2023)). Les approches génériques montrent leurs limites (pour l'énumération de solutions, le calcul d'impliquants premiers). Il semble nécessaire de permettre à l'utilisateur des solveurs de mieux maîtriser le comportement des solveurs (en permettant des propagateurs utilisateurs (Fazekas, Niemetz, Preiner, Kirchweiger, Szeider et Biere, 2023) par exemple). Terminons par un dernier exemple, celui de la cryptanalyse. Les problématiques abordées dans le cadre de l'ANR POSTCRYPTUM vont susciter de nouvelles questions. Il s'agit ici de prendre en compte des formules contenant des équations de types XOR, formules que les solveurs SAT ont de grandes difficultés à résoudre en pratique. L'amélioration des solveurs pseudo-bouloéens reste également un sujet d'actualité. Il serait, par exemple, intéressant de savoir générer des règles permettant d'apprendre des contraintes pseudo-bouloéennes sur des instances propositionnelles classiques, permettant ainsi un raisonnement de plus haut niveau.

Par ailleurs, en moins de deux ans, l'IA générative a bouleversé les usages dans de nombreux domaines. Quid de son utilisation pour résoudre des problèmes combinatoires ? Est-ce que les techniques associées à ce type d'IA vont pouvoir être utilisées dans ce cadre-là ? Des questions de recherche très exploratoires se posent. Sans jouer aux apprentis sorciers et aller jusqu'à demander à des IA génératives d'écrire des solveurs, il est important d'anticiper l'impact que l'IA générative

pourra avoir pour répondre à ce genre de problèmes. Des travaux ont déjà eu lieu dans cette direction (Sun, Zhang, Huang, Cai, Zhang et Wei, 2024) et il s'agira de ne pas ignorer ce pan de la recherche.

Au delà de NP : compilation, comptage et énumération Le dénombrement des modèles d'une formule propositionnelle pose un défi calculatoire de taille. Théoriquement, le théorème de (Toda, 1989) démontre que $PH \subseteq P^{\#P}$, suggérant ainsi que tout problème dans PH peut être résolu en temps polynomial (déterministe) si un oracle de comptage $\#P$ est disponible. Bien que ce résultat puisse sembler intimidant, dans la pratique, nous sommes parfois capables de compter exactement le nombre de modèles de formules contenant des milliers de variables. Cette capacité est principalement due à la structure spécifique de la formule considérée.

Pour évaluer la complexité intrinsèque d'une instance donnée en termes de comptage, il est courant d'analyser la structure du graphe (ou de l'hypergraphe) de contraintes associé au problème. Pour cela, plusieurs paramètres issus de la théorie des graphes (Ganian, Ramanujan et Szeider, 2017), tels que la largeur d'arbre, peuvent être mesurés afin d'évaluer la faisabilité d'une approche pratique pour résoudre le problème. Pour de nombreux paramètres, le problème de comptage peut être considéré comme FPT (Fixed-Parameter Tractable), ce qui signifie qu'il existe un algorithme dont la complexité est exponentielle dans la valeur du paramètre plutôt que dans le nombre total de variables de l'instance. Quoiqu'il existe toute une gamme de paramètres pour les graphes pour lesquels des garanties théoriques pour le problème de comptage peuvent être établies, tels que la *clique-width*, la *twin-width*, l'*incidence tree-width*, etc., ces paramètres ne sont généralement pas intégrés dans les compteurs de modèles de l'état de l'art. Ainsi, à l'exception de la *tree-width*, qui permet d'établir un ordre partiel sur les variables, l'exploitation des autres paramètres passe généralement par des algorithmes de type *bottom-up*, alors que les compteurs de modèles les plus avancés utilisent une approche *top-down*. Une question intéressante à explorer est donc de déterminer comment tirer parti d'autres propriétés des graphes pour améliorer les algorithmes de comptage de modèles de l'état de l'art.

Bien que les paramètres évoqués précédemment permettent de caractériser la complexité de certaines instances, ils ne prennent pas en compte la sémantique de la formule, ce qui limite leur capacité à exploiter les informations sur la répartition des modèles dans l'espace de recherche. Une piste de recherche prometteuse consiste ainsi à développer de nouvelles mesures qui prennent en compte la sémantique de la formule en plus de ses caractéristiques structurelles. En parallèle à cette approche, il serait intéressant d'explorer l'utilisation des informations extraites pour simplifier les formules à traiter. Dans la continuité de nos recherches sur les méthodes de pré-traitement, nous estimons qu'il serait pertinent d'explorer d'autres techniques de simplification. Par exemple, l'exploitation des symétries pourrait améliorer les performances des compteurs de modèles de pointe. Bien que, dans le passé, nous ayons déjà envisagé l'utilisation des symétries au niveau du *caching* (Bart, Koriche, Lagniez et Marquis, 2014), nous pensons qu'une approche plus poussée consistant à appliquer des transformations sur les formules à traiter serait bénéfique. Nous sommes également convaincus que l'application de méthodes de simplification pendant la phase de comptage constitue également une piste intéressante à explorer.

Une approche alternative pour le comptage des modèles d'une formule propositionnelle consiste à la compiler en un circuit de type decision-DNNF. Un intérêt de sauvegarder la forme compilée produite, même si celle-ci peut être très volumineuse, réside dans la possibilité de vérifier formellement que la formule initiale et le circuit decision-DNNF obtenu par compilation sont équivalentes. Cette capacité permet de certifier l'exactitude du nombre de modèles affiché. Dans un contexte où la fiabilité des modèles d'IA est cruciale, la capacité à certifier les résultats calculés revêt une importance primordiale. Par conséquent, il est essentiel de continuer à réfléchir à des moyens d'améliorer ce processus de certification, en considérant notamment la certification des méthodes de pré-traitement. De plus, il est pertinent d'explorer des pistes visant à améliorer la certification en produisant des certificats (decision-DNNF) de taille réduite. La possibilité de générer des certificats de petite taille soulève également des questions sur la compacité du langage de représentation utilisé pour ces certificats, et donc sur la mise en évidence de minorants des tailles des objets manipulés.

Dans certains cas d'application, l'utilisateur ne souhaite pas seulement connaître le nombre de modèles, mais préfère plutôt accéder à l'ensemble ou à une partie des modèles de la formule. Par exemple, dans un contexte d'explication, l'utilisateur peut souhaiter obtenir plusieurs explications ou des explications variées. Nous sommes convaincus que la compilation de connaissances peut contribuer efficacement à aborder ces problématiques d'énumération. D'une part, la formule compilée offre souvent une représentation plus concise des modèles. D'autre part, il est possible d'interroger efficacement la formule compilée, ce qui permet d'utiliser des algorithmes d'échantillonnage pour répondre en partie à

cette question d'énumération partielle de l'espace de recherche (Amarilli, Bourhis, Jachiet et Mengel, 2017). Ainsi, la compilation de connaissances peut faciliter la génération d'ensembles de modèles ou d'explications variées, répondant ainsi aux besoins diversifiés des utilisateurs.

Améliorer le comportement pratique des solveurs grâce à la théorie Les solveurs SAT ont été développés depuis plus de trente ans par diverses communautés (notamment issues de l'informatique théorique, de l'IA et de la conception de circuits). Cependant, le succès de l'architecture *Conflict Driven Clause Learning* de GRASP et Chaff est survenue sans qu'une justification théorique ne soit proposée. Il faudra attendre pratiquement dix ans pour que la théorie de la complexité puisse justifier les bonnes performances de cette architecture grâce à son système de preuve, qui correspond à la résolution générale. Dans d'autres problèmes, comme le raisonnement pseudo-booléen, les formules booléennes quantifiées, et le comptage de modèles, les fondements théoriques des algorithmes sont développés en parallèle ou en amont des solveurs. Cela permet d'utiliser les méthodes de la théorie de la complexité pour expliquer le comportement pratique des solveurs ou de leurs composants. Il reste cependant beaucoup de choses à faire : des travaux récents ont montré par exemple que le système de preuve des solveurs CDCL dépendait du type d'heuristique utilisée, ou des techniques d'*in-processing*. Une autre approche de la complexité qui est adaptée à l'étude des solveurs est la complexité à grain fin : elle permet de prendre en compte les situations où la séparation polynomiale/exponentielle n'est pas suffisante, par exemple quand un algorithme polynomial doit être appliqué sur une entrée de grande taille ou doit être appliqué en temps contraint.

Programmation par contraintes Au cours de la précédente période d'évaluation, la bibliothèque PyCSP³ a été progressivement développée (la première version publique est apparue en novembre 2019). Un travail important a été réalisé au cours des 40 derniers mois (voir l'[activité du dépôt git](#)) pour obtenir une version stable et robuste de cette bibliothèque. Le haut degré d'intelligibilité atteint par PyCSP³ nous donne l'ambition de toucher un large public avec cette bibliothèque. Tandis que les outils traditionnels de la programmation par contraintes ne sont aujourd'hui abordables que par un public techniquement aguerri (même avec CP-SAT-LP de OR-Tools-Google, comme illustré par la relative complexité d'un [simple modèle de Job-Shop](#)), nous aimerions rendre la programmation par contraintes accessible à un public beaucoup plus large : notre cible est l'étudiant de L3 avec un bagage scientifique. Nous allons continuer à développer des ressources pour PyCSP³ : cours clés en main (durées au choix : 4h, 8H, 15H, 30H), capsules vidéo, MOOC. En termes de ressources, il faut noter que plus de 70 documents Jupyter notebooks sont déjà disponibles : ils permettent d'introduire les différents types de contraintes, et d'illustrer la construction pas-à-pas de modèles. Nous allons également démarcher, dans la mesure du possible, les universités et écoles d'ingénieurs, pour inciter à la mise en place d'un cours dédié (CP construit sur PyCSP³). Une première action (à court et moyen terme) est d'échanger nationalement auprès des responsables de classes préparatoires.

Une fois un problème modélisé, et les instances correspondantes générées, il reste à résoudre celles-ci à l'aide d'un solveur de contraintes. Aujourd'hui, le paysage des solveurs de contraintes (libres d'accès) est dominé par le solveur CP-SAT-LP (de la suite [OR-Tools](#) de Google), ce qui s'explique par les résultats obtenus par celui-ci dans le cadre du challenge Minizinc (médaille d'or depuis 10 ans). Il est intéressant de noter que CP-SAT-LP rivalise (au moins, sur certaines familles de problèmes) avec des logiciels du marché (CP Optimizer de IBM, Gurobi, ...). La force de CP-SAT-LP réside, comme son nom l'indique, sur l'utilisation de trois technologies croisées. A partir d'un modèle, une partie des contraintes est gérée à l'aide d'un solveur de contraintes classique (CP), une partie est traduite en clauses (SAT) et enfin, une relaxation linéaire (LP) est générée à partir des contraintes qui le permettent. Ces trois ingrédients apportent robustesse et efficacité. La partie CP est devenue moins centrale dans cette approche, suite à l'affirmation "*Search is Dead, Long Live Proof*" de Peter Stuckey. Cette affirmation pose qu'il est primordial de construire la recherche de solutions sur l'apprentissage de clauses (*Lazy Clause Generation*). Si l'importance de l'apprentissage a été démontrée de manière effective (d'abord par le solveur Chuffed, puis, et surtout, par CP-SAT-LP), il nous semble toutefois exagéré d'affirmer (dans le contexte de la résolution d'un problème d'optimisation) que "*search is dead*", et ceci pour deux raisons. La première est que lorsque le cheminement (de type *Large Neighborhood Search*) vers une solution optimale (ou proche de l'optimalité) nécessite de nombreuses étapes (solutions intermédiaires), il n'est pas évident (et démontré) que l'apprentissage de clauses soit productif (avant l'étape finale qui consiste à démontrer l'optimalité). Est-ce que ces clauses sont vraiment utiles ? Ne risquent-elles pas d'introduire un biais par rapport aux heuristiques de recherche ? La seconde raison est plus pragmatique (basée sur l'observation du comportement des solveurs). Le solveur ACE, solveur CP développé au CRIL et uniquement construit sur la "*search*" (heuristiques et filtrage), domine par exemple légèrement le solveur Picat (construit sur SAT, et donc

utilisant l'apprentissage de clauses) dans la track COP (Optimisation) des compétitions XCSP3 de 2022 et 2023, sachant que Picat peut être considéré comme le solveur numéro 2 des challenges Minizinc. Après cette contextualisation, nous concluons par les objectifs qui nous semblent atteignables à moyen/long terme : renforcer la robustesse des heuristiques de l'état de l'art en cherchant la manière de les combiner, développer des techniques d'apprentissage originales (prenant en compte le niveau de résolution atteint) et les intégrer à ACE, étendre les formes hybrides de contraintes (à bases de tables ou de diagrammes de décision) pour être en capacité de raisonner (filtrer) davantage. Dans un monde idéal, il ne serait pas interdit de penser que le CRIL dispose de toutes les compétences ou presque (un apport en programmation mathématique serait un complément intéressant) pour développer le solveur de contraintes académique qui fera référence demain (et rivalisera avec CP-SAT-LP).

4.4 La trajectoire du CRIL dans son écosystème

Le positionnement du CRIL parmi les laboratoires de recherche associés à l'université d'Artois a beaucoup changé pendant le contrat en cours. Avant 2018, le CRIL était surtout perçu comme un laboratoire de recherche amont en IA, dont la production scientifique était essentiellement centrée autour de l'IA symbolique. Peu d'interactions existaient avec les autres laboratoires de l'université. La création du domaine d'intérêt majeur (DIM) IA à l'université d'Artois en 2018 a contribué à faciliter les coopérations entre les membres du CRIL et des collègues issus d'autres laboratoires de l'Artois. Le DIM IA est au niveau de l'établissement une structure transverse aux laboratoires qui met en avant la signature « IA » de l'établissement. Depuis 2018, dans d'autres laboratoires (LML pour les mathématiques, UCCS pour la chimie, CDEP pour le droit), des équipes se sont intéressées à l'IA en tant qu'objet d'étude ou en tant qu'outil de résolution de problèmes, et ont développé des compétences en la matière. Le CRIL est devenu un partenaire important de ces laboratoires et diverses collaborations ont pu être mises en place. Leur dénominateur commun a été l'objectif poursuivi : en quelques mots, étudier l'impact que peuvent avoir des approches à base d'IA pour répondre à des questions de recherche propres aux disciplines concernées et, plus largement, définir des modes d'utilisation de l'IA et ses outils dans les démarches et pratiques scientifiques développées dans ces disciplines.

Pour atteindre cet objectif et répondre aux recommandations reçues lors de la dernière évaluation de l'unité, le CRIL ambitionnait d'accroître son expertise en apprentissage automatique durant la période 2018-2023. Il n'a pas été aisé de recruter sur des emplois pérennes des collègues disposant de compétences pointues sur la question, car de tels experts sont très recherchés et la compétition (en particulier, avec le secteur privé) est rude. Nous avons finalement pu recruter en 2023 deux maîtres de conférences, spécialistes d'apprentissage automatique. Plusieurs collègues se sont aussi auto-formés sur ce sujet.

Un événement notable dans la trajectoire du CRIL a été la mise en place du plan national en IA qui a permis au CRIL d'obtenir des moyens supplémentaires depuis 2018. Ceux-ci lui ont permis d'avancer sans doute plus rapidement qu'initialement prévu sur la thématique de l'IA explicable (XAI), notamment grâce à la chaire d'enseignement et de recherche en IA EXPEKCTATION. La thématique de l'IA explicable reste importante aujourd'hui pour la communauté scientifique et la société. Le CRIL est monté en compétences sur cette thématique et, comme les trajectoires proposées par chacun de ses trois axes et décrites dans les sections précédentes l'illustrent bien, le CRIL souhaite capitaliser les compétences acquises en maintenant le développement de son action transverse XAI lors du prochain contrat. De nombreuses questions de recherche restent, en effet, ouvertes et l'expertise du CRIL en IA symbolique constitue une base solide pour développer des méthodes originales pour les aborder.

Le plan national en IA a aussi permis de favoriser le travail interdisciplinaire entre le CRIL et d'autres laboratoires de l'université d'Artois, au travers du financement de thèses de doctorat en IA dans le cadre du projet VIVAH. C'est ce projet liminaire qui a servi de catalyseur au projet MAIA qui ambitionne de mettre l'IA au service de la chimie, de la santé et de l'environnement pendant les 10 prochaines années. Le projet MAIA est de loin celui qui a le plus fort potentiel structurant pour le CRIL de demain, puisqu'il va ouvrir un large espace de collaborations nouvelles, avec des chercheurs d'autres disciplines et laboratoires au sein de l'alliance A2U, dans un spectre scientifique large allant des sciences dures aux sciences humaines et sociales. L'activité scientifique du CRIL dans les années à venir sera donc impactée par la réalisation de ce projet, qui fournira des opportunités de recherche interdisciplinaire (et des financements) aux collègues qui souhaiteront s'y investir. Ainsi, l'action transverse « IA au service d'autres disciplines » va elle-aussi perdurer au CRIL.

Le travail engagé par des thèses concernant l'IA explicable, l'IA responsable, l'IA pour la chimie, l'IA pour la santé va

se poursuivre, et un cercle vertueux devrait pouvoir se mettre en place. Les premiers résultats scientifiques obtenus vont être appliqués par la cellule de valorisation du projet MAIA. De nouvelles questions de recherche amont, en particulier en IA, devraient émerger des interactions entre CRILiens et CRILiennes et les chercheurs et chercheuses d'autres disciplines impliqué(e)s dans MAIA.

Un point d'attention pour la trajectoire à long terme du laboratoire est la pyramide des âges des académiques permanentes (chercheurs et enseignants-chercheurs / enseignantes-chercheuses en poste) dans le laboratoire (figure 2). Les trois tranches regroupant les collègues les plus âgés forment plus de la moitié des académiques du laboratoire (17/32). Si ce fait ne devrait pas impacter fortement l'unité pour la période couvrant le prochain contrat, un nombre important de collègues pourra faire valoir ses droits à la retraite lors de la période suivante. Il conviendra d'anticiper leur départ en veillant à respecter un certain équilibre entre les axes en terme de permanents, et autant que possible améliorer la situation en terme de parité de genre.

Un autre point d'attention pour les années à venir concerne l'implémentation de la stratégie nationale en IA qui sera mise en place par la puissance publique (si le développement de cette stratégie se poursuit). Le CRIL devra se positionner face aux appels à projets qui pourront survenir lorsque ceux-ci rencontrent son domaine d'expertise. La place de l'IA symbolique aujourd'hui dans le paysage de l'IA en mouvement n'est pas bien claire. Le PEPR IA, dans lequel le CRIL n'est pas impliqué et pour lequel il n'a pas été sollicité, est essentiellement un PEPR en apprentissage automatique et, en particulier, il ne comporte pas de volet portant sur l'IA hybride. Si des programmes de recherche incluant l'IA hybride sont lancés, assortis d'appels ouverts, le CRIL devra se mettre sur les rangs pour y répondre.

RÉFÉRENCES

- Al Anaissy Caren, Vesic Srdjan, Nevejans Nathalie, 2023, « [Towards Ethical Argumentative Persuasive Chatbots](#) », *Coordination, Organizations, Institutions, Norms, and Ethics for Governance of Multi-Agent Systems XVI*, 14002.
- Alshaikh Rana, Bouraoui Zied, Schockaert Steven, 2019, « Learning Conceptual Spaces with Disentangled Facets », *23rd Conference on Computational Natural Language Learning (CoNLL 2019)*, p. 131-139.
- Alshaikh Rana, Bouraoui Zied, Schockaert Steven, 2020, « Hierarchical Linear Disentanglement of Data-Driven Conceptual Spaces. », *29th International Joint Conference in Artificial Intelligence (IJCAI'20)*.
- Alshaikh Rana, S. Jeawak Shelan, Bouraoui Zied, Schockaert Steven, 2020, « A Mixture-of-Experts Model for Learning Multi-Facet Entity Embeddings », *The 28th International Conference on Computational Linguistics (COLING 2020)*.
- Amarilli Antoine, Bourhis Pierre, Jachiet Louis, Mengel Stefan, 2017, « A Circuit-Based Approach to Efficient Enumeration », *CoRR*, abs/1702.05589.
- Amarilli Antoine, Bourhis Pierre, Mengel Stefan, 2018, « [Enumeration on Trees under Relabelings](#) », *21st International Conference on Database Theory, ICDT 2018*.
- Amarilli Antoine, Bourhis Pierre, Mengel Stefan, Niewerth Matthias, 2019, « [Enumeration on Trees with Tractable Combined Complexity and Efficient Updates](#) », *PODS*, p. 89-103.
- Amarilli Antoine, Bourhis Pierre, Mengel Stefan, Niewerth Matthias, 2020, « [Constant-Delay Enumeration for Nondeterministic Document Spanners](#) », *SIGMOD record*, 49(1), p. 25-32.
- Amgoud Leila, Doder Dragan, Vesic Srdjan, 2022, « [Evaluation of Argument Strength in Attack Graphs : Foundations and Semantics](#) », *Artificial Intelligence*, 302, p. 103607.
- Audemard Gilles, Bellart Steve, Bounia Louenas, Koriche Frederic, Lagniez Jean-Marie, Marquis Pierre, 2022a, « [On Preferred Abductive Explanations for Decision Trees and Random Forests](#) », *Thirty-First International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-22*, p. 643-650.
- Audemard Gilles, Bellart Steve, Bounia Louenas, Koriche Frédéric, Lagniez Jean-Marie, Marquis Pierre, 2021, « [On the Computational Intelligibility of Boolean Classifiers](#) », *18th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning KR-2021*, p. 74-86.
- Audemard Gilles, Bellart Steve, Bounia Louenas, Koriche Frédéric, Lagniez Jean-Marie, Marquis Pierre, 2022b, « [Trading Complexity for Sparsity in Random Forest Explanations](#) », *AAAI Conference on Artificial Intelligence*.
- Audemard Gilles, Bellart Steve, Lagniez Jean-Marie, Marquis Pierre, 2023, « [Computing Abductive Explanations for Boosted Regression Trees](#) », *Thirty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-23*, p. 3432-3441.
- Audemard Gilles, Boussemer Frédéric, Lecoutre Christophe, Piette Cédric, Roussel Olivier, 2020, « XCSP3 and its ecosystem », *Constraints Journal (Constraints)*, p. 1-23.
- Audemard Gilles, Koriche Frédéric, Marquis Pierre, 2020, « [On Tractable XAI Queries based on Compiled Representations](#) », *17th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'20)*.
- Audemard Gilles, Lagniez Jean-Marie, Marquis Pierre, Szczepanski Nicolas, 2023b, « [On Contrastive Explanations for Tree-Based Classifiers](#) », *The 26th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI'23)*.
- Audemard Gilles, Lagniez Jean-Marie, Marquis Pierre, Szczepanski Nicolas, 2023a, « [Computing Abductive Explanations for Boosted Trees](#) », *26th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS 2023)*, 206.
- Audemard Gilles, Lagniez Jean-Marie, Miceli Marie, 2022, « [A New Exact Solver for \(Weighted\) Max#SAT](#) », *International Conference on Theory and Applications of Satisfiability Testing (SAT)*.
- Audemard Gilles, Lecoutre Christophe, Maamar Mehdi, 2020, « Segmented Tables : an Efficient Modeling Tool for Constraint Reasoning », *24th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI'20)*.

- Audemard Gilles, Lecoutre Christophe, Prud'Homme Charles, 2023, « [Guiding Backtrack Search by Tracking Variables During Constraint Propagation](#) », *International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming (CP'23)*.
- Audemard Gilles, Paulevé Loïc, Simon Laurent, 2020, « [SAT Heritage : a community-driven effort for archiving, building and running more than thousand SAT solvers](#) », *SAT 2020, The 23rd International Conference on Theory and Applications of Satisfiability Testing*, 12178, p. 107-113.
- Audemard Gilles, Simon Laurent, 2018, « [On the Glucose SAT solver](#) », *International Journal on Artificial Intelligence Tools (IJAIT)*, 27(1), p. 1-25.
- Bart Anicet, Koriche Frédéric, Lagniez Jean-Marie, Marquis Pierre, 2014, « Symmetry-Driven Decision Diagrams for Knowledge Compilation » Schaub Torsten, Friedrich Gerhard, O'Sullivan Barry (dir.), *ECAI 2014 - 21st European Conference on Artificial Intelligence, 18-22 August 2014, Prague, Czech Republic - Including Prestigious Applications of Intelligent Systems (PAIS 2014)*, 263, p. 51-56.
- Belabbes Sihem, Benferhat Salem, 2022, « [Computing a Possibility Theory Repair for Partially Preordered Inconsistent Ontologies](#) », *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*.
- Benferhat Salem, Kreinovich Vladik, Levray Amélie, Tabia Karim, 2018, « [Qualitative conditioning in an interval-based possibilistic setting](#) », *Fuzzy Sets and Systems (FSS)*, 343, p. 35-49.
- Benferhat Salem, Levray Amélie, Tabia Karim, 2019, « [A complexity analysis of MPE inference in possibilistic networks](#) », *IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, p. 1-6.
- Beuselink Vivien, Delobelle Jérôme, Vesic Srdjan, 2023, « [A Principle-based Account of Self-attacking Arguments in Gradual Semantics](#) », *Journal of Logic and Computation*, 33(2), p. 230-256.
- Booth Richard, Casini Giovanni, Meyer Thomas, Varzinczak Ivan, 2019, « On Rational Entailment for Propositional Typicality Logic », *Artificial Intelligence*.
- Booth Richard, Varzinczak Ivan, 2020, « Towards Conditional Inference under Disjunctive Rationality », *18th International Workshop on Nonmonotonic Reasoning (NMR 2020)*.
- Booth Richard, Varzinczak Ivan, 2021, « [Conditional Inference under Disjunctive Rationality](#) », *Proceedings of the 35th AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 35, p. 6227-6234.
- Boukontar Abderrahmane, Condotta Jean-François, Salhi Yakoub, 2022, « [Knowledge Discovery from Qualitative Spatial and Temporal Data](#) », *34th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI 2022)*, p. 451-458.
- Boumazouza Ryma, Cheikh-Alili Fahima, Mazure Bertrand, Tabia Karim, 2021, « [ASTERYX : A model-Agnostic SaT-basEd appRoach for sYmbolic and score-based eXplanations](#) », *CIKM '21 : The 30th ACM International Conference on Information and Knowledge Management*, p. 120-129.
- Bounia Louenas, Koriche Frederic, 2023, « [Approximating Probabilistic Explanations via Supermodular Minimization \(Corrected Version\)](#) », *Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI 2023)*, 216, p. 216-225.
- Bouraoui Zied, Camacho-Collados José, Schockaert Steven, 2020, « Inducing Relational Knowledge from BERT », *The Thirty-Fourth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI2020)*.
- Bouraoui Zied, Jameel Shoaib, Schockaert Steven, 2018b, « Unsupervised Learning of Distributional Relation Vectors », *56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL'18)*, p. 23-33.
- Bouraoui Zied, Jameel Shoaib, Schockaert Steven, 2018a, « Relation Induction in Word Embeddings Revisited », *27th International Conference on Computational Linguistics (COLING'18)*.
- Bouraoui Zied, Konieczny Sébastien, Ma Thanh, Schwind Nicolas, Varzinczak Ivan, 2022, « [Region-Based Merging of Open-Domain Terminological Knowledge](#) », *19th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning KR-2022*, p. 81-90.
- Bouraoui Zied, Konieczny Sébastien, Ma Thanh, Varzinczak Ivan, 2022, « Tree Edit Distance Based Ontology Merging Evaluation Framework », *KSEM 2022*, 13369, p. 383-395.

- Bouraoui Zied, Konieczny Sébastien, Ma Truong-Thanh, Varzinczak Ivan, 2020, « Model-based Merging of Open-Domain Ontologies », *32th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI2020)*.
- Bouraoui Zied, Lagniez Jean-Marie, Marquis Pierre, Montmirail Valentin, 2020, « Consolidating Modal Knowledge Bases », *24th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI'20)*.
- Bouraoui Zied, Schockaert Steven, 2018, « Learning Conceptual Space Representations of Interrelated Concepts », *27th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'18)*, p. 1760-1766.
- Bouraoui Zied, Schockaert Steven, 2019, « Automated Rule Base Completion as Bayesian Concept Induction », *33rd AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI'19)*, p. 6228-6235.
- Boussemart Frédéric, Hemery Fred, Lecoutre Christophe, Sais Lakhdar, 2004, « Boosting Systematic Search by Weighting Constraints » Mántaras Ramón López de, Saitta Lorenza (dir.), *Proceedings of the 16th European Conference on Artificial Intelligence, ECAI'2004, including Prestigious Applicants of Intelligent Systems, PAIS 2004, Valencia, Spain, August 22-27, 2004*, p. 146-150.
- Bringmann Karl, Carmeli Nofar, Mengel Stefan, 2022, « Tight Fine-Grained Bounds for Direct Access on Join Queries », *SIGMOD/PODS '22 : International Conference on Management of Data*, p. 427-436.
- Britz Katarina, Casini Giovanni, Meyer Thomas, Moodley Kody, Sattler Uli, Varzinczak Ivan, 2020, « Principles of KLM-style Defeasible Description Logics », *ACM Transactions on Computational Logic*, 22(1), p. 1-46.
- Britz Katarina, Varzinczak Ivan, 2019a, « Contextual rational closure for defeasible ALC », *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*.
- Britz Katarina, Varzinczak Ivan, 2019b, « Preferential Tableaux for Contextual Defeasible ALC », *Proceedings of the 28th International Conference on Automated Reasoning with Analytic Tableaux and Related Methods (TABLEAUX)*.
- Capelli Florent, Lagniez Jean-Marie, Marquis Pierre, 2021, « Certifying Top-Down Decision-DNNF Compilers », *AAAI 2021 - 35th Conference on Artificial Intelligence*.
- Capelli Florent, Mengel Stefan, 2019, « Tractable QBF by Knowledge Compilation », *36th International Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science (STACS 2019)*.
- Casini Giovanni, Meyer Thomas, Varzinczak Ivan, 2021, « Contextual Conditional Reasoning », *Proceedings of the 35th AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 35, p. 6254-6261.
- Chafik Anasse, Cheikh-Alili Fahima, Condotta Jean-François, Varzinczak Ivan, 2019, « On the Decidability of a Fragment of preferential LTL », *International Symposium on Temporal Representation and Reasoning (TIME)*, p. 19 :1-19 :19.
- Chafik Anasse, Cheikh-Alili Fahima, Condotta Jean-François, Varzinczak Ivan, 2021, « A One-Pass Tree-Shaped Tableau for Defeasible LTL », *28th International Symposium on Temporal Representation and Reasoning (TIME 2021)*, p. 16 :1-16 :18.
- Chafik Anasse, Cheikh-Alili Fahima, Condotta Jean-François, Varzinczak Ivan, 2023, « Defeasible linear temporal logic », *Journal of Applied Non-Classical Logics*, 33(1), p. 1-51.
- Chetcuti-Sperandio Nathalie, Goudyme Alix, Lagrue Sylvain, Lima Tiago de, 2020, « First Steps for Determining Agent Intention in Dynamic Epistemic Logic », *12th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2020)*, p. 725-733.
- Coste-Marquis Sylvie, Marquis Pierre, 2021, « On Belief Change for Multi-Label Classifier Encodings », *Thirtieth International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-21*, p. 1829-1836.
- Coste-Marquis Sylvie, Marquis Pierre, 2023, « Rectifying Binary Classifiers », *The 26th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI'23)*.
- Darwiche Adnan, Marquis Pierre, 2021, « On Quantifying Literals in Boolean Logic and its Applications to Explainable AI », *Journal of Artificial Intelligence Research*, 72, p. 285-328.

- de Colnet Alexis, 2020, « [A Lower Bound on DNNF Encodings of Pseudo-Boolean Constraints](#) », *Theory and Applications of Satisfiability Testing – SAT 2020*.
- de Colnet Alexis, Marquis Pierre, 2022, « [On the Complexity of Enumerating Prime Implicants from Decision-DNNF Circuits](#) », *Thirty-First International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-22*, p. 2583-2590.
- de Colnet Alexis, Marquis Pierre, 2023, « [On Translations between ML Models for XAI Purposes](#) », *Thirty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-23*, p. 3158-3166.
- de Colnet Alexis, Mengel Stefan, 2021, « [A Compilation of Succinctness Results for Arithmetic Circuits](#) », *18th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning, KR 2021*.
- de Colnet Alexis, Mengel Stefan, 2023, « [Characterizing Tseitin-Formulas with Short Regular Resolution Refutations](#) », *Journal of Artificial Intelligence Research*, 76, p. 265-286.
- Demirović Emir, Inoue Katsumi, Lagniez Jean-Marie, Schwind Nicolas, 2023, « [Algorithms for partially robust team formation](#) », *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 37(2), p. 22.
- Doder Dragan, Vesic Srdjan, Croitoru Madalina, 2021, « [Ranking Semantics for Argumentation Systems With Necessities](#) », *IJCAI 2020 - 29th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, p. 1912-1918.
- Everaere Patricia, Fellah Chouaib, Konieczny Sébastien, Pino Pérez Ramón, 2021, « [Borda, Cancellation and Belief Merging](#) », *18th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR)*, p. 291-300.
- Everaere Patricia, Fellah Chouaib, Konieczny Sébastien, Pino Pérez Ramón, 2023, « [Weighted Merging of Propositional Belief Bases](#) », *20th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning KR-2023*, p. 219-228.
- Everaere Patricia, Konieczny Sébastien, Marquis Pierre, 2021, « [Belief Merging Operators as Maximum Likelihood Estimators](#) », *29th International Joint Conferences on Artificial Intelligence and of the 17th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-PRICAI'20)*.
- Fazekas Katalin, Niemetz Aina, Preiner Mathias, Kirchweger Markus, Szeider Stefan, Biere Armin, 2023, « [IPASIR-UP : User Propagators for CDCL](#) » Mahajan Meena, Slivovsky Friedrich (dir.), *26th International Conference on Theory and Applications of Satisfiability Testing, SAT 2023, July 4-8, 2023, Alghero, Italy*, 271, p. 8 :1-8 :13.
- Fermé Eduardo, Konieczny Sébastien, Pino Pérez Ramón, Schwind Nicolas, 2023, « [Credible Models of Belief Update](#) », *20th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning KR-2023*, p. 252-261.
- Fichte Johannes, Le Berre Daniel, Hecher Markus, Szeider Stefan, 2023, « [The Silent \(R\)evolution of SAT](#) », *Communications of the ACM*, 66(6), p. 64-72.
- Gajbhiye Amit, Bouraoui Zied, Li Na, Chatterjee Usashi, Espinosa-Anke Luis, Schockaert Steven, 2023, « [What do Deck Chairs and Sun Hats Have in Common? Uncovering Shared Properties in Large Concept Vocabularies](#) », *Proceedings of the 2023 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, p. 10587-10596.
- Ganian Robert, Ramanujan M. S., Szeider Stefan, 2017, « [Discovering Archipelagos of Tractability for Constraint Satisfaction and Counting](#) », *ACM Trans. Algorithms*, 13(2), p. 29 :1-29 :32.
- Gargouri Anis, Konieczny Sébastien, Marquis Pierre, Vesic Srdjan, 2021, « [On a Notion of Monotonic Support for Bipolar Argumentation Frameworks](#) », *20th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems (AAMAS)*.
- Glorian Gael, Lagniez Jean-Marie, Lecoutre Christophe, 2020, « [NACRE - A Nogood And Clause Reasoning Engine](#) », *23rd International Conference on Logic for Programming, Artificial Intelligence and Reasoning (LPAR'23)*, p. 249-259.
- Glorian Gael, Lagniez Jean-Marie, Montmirail Valentin, Sioutis Michael, 2018, « [An Incremental SAT-Based Approach to Reason Efficiently On Qualitative Constraint Network](#) », *24th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming (CP'18)*, p. 160-178.
- Goudyme Alix, Chetcuti-Sperandio Nathalie, Lagrue Sylvain, Lima Tiago de, 2019, « [Intention et logique épistémique dynamique](#) », *Rencontres des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle (RJCIA 2019)*, p. 1-9.

- Grégoire Éric, Izza Yacine, Lagniez Jean-Marie, 2018, « Boosting MCSes enumeration », *27th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'18)*, p. 1309-1315.
- Hidouri Amel, Raddaoui Badran, Jabbour Said, 2023, « Targeting Minimal Rare Itemsets from Transaction Databases », *Thirty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-23*, p. 2114-2121.
- Ing David, Delorme Fabien, Jabbour Said, Robin Nelly, Sais Lakhdar, 2023, « Classification with Explanation for Human Trafficking Networks », *2023 IEEE 10th International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA)*, p. 1-10.
- Jabbour Said, Mhadhbi Nizar, Raddaoui Badran, Sais Lakhdar, 2022, « A Declarative Framework for Maximal k-plex Enumeration Problems », *21st International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS*.
- Jabbour Said, Raddaoui Badran, Sais Lakhdar, 2023, « A Symbolic Approach to Computing Disjunctive Association Rules from Data », *Thirty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-23*, p. 2133-2141.
- Kebir Sara, Tabia Karim, 2022, « Classifier Probability Calibration Through Uncertain Information Revision », *International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU22)*, 1602, p. 598-611.
- Klipfel Astrid, Frégier Yaël, Sayede Adlane, Bouraoui Zied, 2023, « Unified Model for Crystalline Material Generation », *32nd International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI 2023*, 2023-August, p. 6031-6039.
- Konieczny Sébastien, Marquis Pierre, Vesic Srdjan, 2019, « Rational Inference Relations from Maximal Consistent Subsets Selection », *Twenty-Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-19*, p. 1749-1755.
- Konieczny Sébastien, Perrotin Elise, Pino Pérez Ramón, 2023, « Belief Reconfiguration », *European Conference on Logics in Artificial Intelligence (JELIA'23)*, 14281, p. 446-461.
- Koriche Frederic, Lecoutre Christophe, Paparrizou Anastasia, Watez Hugues, 2022, « Best Heuristic Identification for Constraint Satisfaction », *31st International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'22)*, p. 1859-1865.
- Lagniez Jean-Marie, Lonca Emmanuel, Marquis Pierre, 2020, « Definability for model counting », *Artificial Intelligence*, 281, p. 103229.
- Lagniez Jean-Marie, Marquis Pierre, 2019, « A Recursive Algorithm for Projected Model Counting », *33rd AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI'19)*.
- Lagniez Jean-Marie, Marquis Pierre, 2023, « Boosting Definability Bipartition Computation Using SAT Witnesses », *The 18th European Conference on Logics in Artificial Intelligence (JELIA'23)*, 14281, p. 697-711.
- Lagniez Jean-Marie, Marquis Pierre, Szczepanski Nicolas, 2018, « DMC : A Distributed Model Counter », *27th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'18)*, p. 1331-1338.
- Lampis Michael, Mengel Stefan, Mitsou Valia, 2018, « QBF as an Alternative to Courcelle's Theorem », *21st International Conference on Theory and Applications of Satisfiability Testing – SAT 2018*, p. 235-252.
- Laouar Ahmed, Belabbes Sihem, Benferhat Salem, 2023, « Tractable Closure-Based Possibilistic Repair for Partially Ordered DL-Lite Ontologies », *Logics in Artificial Intelligence. JELIA 2023*, 14281, p. 353-368.
- Le Berre Daniel, Marquis Pierre, Mengel Stefan, Wallon Romain, 2018, « Pseudo-Boolean Constraints from a Knowledge Representation Perspective », *27th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'18)*, p. 1891-1897.
- Le Berre Daniel, Marquis Pierre, Mengel Stefan, Wallon Romain, 2020, « On Irrelevant Literals in Pseudo-Boolean Constraint Learning », *29th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'20)*, p. 1148-1154.
- Le Berre Daniel, Marquis Pierre, Wallon Romain, 2020, « On Weakening Strategies for PB Solvers », *23rd International Conference on Theory and Applications of Satisfiability Testing (SAT'20)*, p. 322-331.
- Le Berre Daniel, Rapicault Pascal, 2018, « Boolean-Based Dependency Management for the Eclipse Ecosystem », *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 27(01), p. 1840003.

- Le Berre Daniel, Wallon Romain, 2021, « [On Dedicated CDCL Strategies for PB Solvers](#) », *24th International Conference on Theory and Applications of Satisfiability Testing (SAT'21)*, p. 315-331.
- Levray Amélie, Benferhat Salem, Tabia Karim, 2020, « [Possibilistic Networks : Computational Analysis of MAP and MPE Inference](#) », *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 29(03n04), p. 2060005.
- Li Na, Bouraoui Zied, Camacho-Collados Jose, Espinosa-Anke Luis, Gu Qing, Schockaert Steven, 2021, « [Modelling General Properties of Nouns by Selectively Averaging Contextualised Embeddings](#) », *Thirtieth International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-21*, p. 3850-3856.
- Li Na, Bouraoui Zied, Schockaert Steven, 2019, « [Ontology Completion Using Graph Convolutional Networks.](#) », *18th International Semantic Web Conference (ISWC 2019)*, p. 435-452.
- Li Na, Kteich Hanane, Bouraoui Zied, Schockaert Steven, 2023, « [Distilling Semantic Concept Embeddings from Contrastively Fine-Tuned Language Models](#) », *SIGIR '23 : The 46th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, p. 216-226.
- Lima Tiago, Lorini Emiliano, Schwarzentruher François, 2023, « [Base-Based Model Checking for Multi-agent only Believing](#) », *18th European Conference on Logics in Artificial Intelligence (JELIA 2023)*, 14281, p. 437-445.
- Lonlac Jerry, Dlala Imen, Jabbour Said, Nguifo Engelbert, Raddaoui Badran, Sais Lakhdar, 2023, « [Extracting frequent gradual patterns based on SAT](#) », *12th International Conference on Data Science, Technology and Applications (DATA)*, 1, p. 136-143.
- Mengel Stefan, 2022, « [Changing Partitions in Rectangle Decision Lists](#) », *25th International Conference on Theory and Applications of Satisfiability Testing (SAT 2022)*, 236, p. 17 :1-17 :20.
- Mengel Stefan, de Colnet Alexis, 2021, « [Characterizing Tseitin-Formulas with Short Regular Resolution Refutations](#) », *24th International Conference Theory and Applications of Satisfiability Testing - SAT 2021*, 12831, p. 116-133.
- Mengel Stefan, de Colnet Alexis, 2022, « [Lower Bounds on Intermediate Results in Bottom-Up Knowledge Compilation](#) », *Thirty-Sixth AAAI Conference on Artificial Intelligence, AAAI 2022*, 36, p. 5564-5572.
- Mengel Stefan, Skritek Sebastian, 2019, « [Characterizing Tractability of Simple Well-Designed Pattern Trees with Projection](#) », *International Conference on Database Theory*.
- Mengel Stefan, Slivovsky Friedrich, 2021, « [Proof Complexity of Symbolic QBF Reasoning](#) », *24th International Conference Theory and Applications of Satisfiability Testing (SAT 2021)*, 12831, p. 399-416.
- Mengel Stefan, Wallon Romain, 2020, « [Graph Width Measures for CNF-Encodings with Auxiliary Variables](#) », *Journal of Artificial Intelligence Research*, 67, p. 409-436.
- Mohamed Rim, Bouraoui Zied, Loukil Zied, Gargouri Faiez, 2022, « [Min-Based Conditioning of Possibilistic EL Ontology](#) », *Thirty-Fifth International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference, FLAIRS 2022*, 35.
- Mohamed Rym, Loukil Zied, Bouraoui Zied, 2018, « [Qualitative-Based Possibilistic EL Ontology](#) », *21st International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA'18)*.
- Nekkache Ikram, Jabbour Saïd, Kamel Nadjet, Saïs Lakhdar, 2022, « [Detecting and exploiting symmetries in sequential pattern mining](#) », *International Journal of Data Mining, Modelling and Management*, 14(4).
- Oren Nir, Yun Bruno, Vesic Srdjan, Baptista Murilo, 2022, « [Inverse Problems for Gradual Semantics](#) », *Thirty-First International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-22*, p. 2719-2725.
- Paparrizou Anastasia, Watez Hugues, 2020, « [Perturbing Branching Heuristics in Constraint Solving](#) », *26th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming (CP'20)*, 12333,.
- Roussel Olivier, Manquinho Vasco, 2021, « [Pseudo-Boolean and Cardinality Constraints](#) », *in Handbook of Satisfiability, second edition*, IOS Press, p. 1087-1129.

- Rudin Cynthia, Chen Chaofan, Chen Zhi, Huang Haiyang, Semenova Lesia, Zhong Chudi, 2022, « [Interpretable machine learning : Fundamental principles and 10 grand challenges](#) », *Statistics Surveys*, 16(none), p. 1-85.
- Salhi Yakoub, 2019, « [Qualitative Reasoning and Data Mining](#) », *International Symposium on Temporal Representation and Reasoning (TIME)*.
- Salhi Yakoub, Sioutis Michael, 2023b, « [A Paraconsistency Framework for Inconsistency Handling in Qualitative Spatial and Temporal Reasoning](#) », *26th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 2023)*.
- Salhi Yakoub, Sioutis Michael, 2023a, « [A Decomposition Framework for Inconsistency Handling in Qualitative Spatial and Temporal Reasoning](#) », *20th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR 2023)*, p. 604-613.
- Sarker Md Kamruzzaman, Zhou Lu, Eberhart Aaron, Hitzler Pascal, 2021, « [Neuro-symbolic artificial intelligence](#) », *AI Commun.*, 34(3), p. 197-209.
- Scarselli Franco, Gori Marco, Tsoi Ah Chung, Hagenbuchner Markus, Monfardini Gabriele, 2009, « [The Graph Neural Network Model](#) », *IEEE Transactions on Neural Networks*, 20(1), p. 61-80.
- Schockaert Steven, Bouraoui Zied, Camacho-Collados José, Espinosa Anke Luis, 2020, « [Modelling Semantic Categories Using Conceptual Neighborhood](#) », *The Thirty-Fourth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI2020)*.
- Schwind Nicolas, Demirović Emir, Lagniez Jean-Marie, Inoue Katsumi, 2021, « [Partial Robustness in Team Formation : Bridging the Gap between Robustness and Resilience](#) », *International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS)*.
- Schwind Nicolas, Inoue Katsumi, Konieczny Sébastien, Lagniez Jean-Marie, Marquis Pierre, 2019, « [What Has Been Said? Identifying the Change Formula in a Belief Revision Scenario](#) », *28th International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-19*, p. 1865-1871.
- Schwind Nicolas, Inoue Katsumi, Marquis Pierre, 2023, « [Editing Boolean Classifiers : A Belief Change Perspective](#) », *The 37th AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 37, p. 6516-6524.
- Schwind Nicolas, Konieczny Sébastien, 2020, « [Non-Prioritized Iterated Revision : Improvement via Incremental Belief Merging](#) », *17th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning KR-2020*, p. 738-747.
- Schwind Nicolas, Konieczny Sébastien, Lagniez Jean-Marie, Marquis Pierre, 2020, « [On Computational Aspects of Iterated Belief Change](#) », *Twenty-Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence and Seventeenth Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence IJCAI-PRICAI-20*, p. 1770-1776.
- Schwind Nicolas, Konieczny Sébastien, Marquis Pierre, 2018b, « [Belief base rationalization for propositional merging](#) », *Journal of Logic and Computation*, 28(7), p. 1601-1634.
- Schwind Nicolas, Konieczny Sébastien, Marquis Pierre, 2018a, « [On Belief Promotion](#) », *Sixteenth International Conference on Principles Of Knowledge Representation And Reasoning (KR'18)*.
- Schwind Nicolas, Konieczny Sébastien, Pino Pérez Ramón, 2022a, « [On the Representation of Darwiche and Pearl's Epistemic States for Iterated Belief Revision](#) », *19th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning KR-2022*, p. 320-330.
- Schwind Nicolas, Konieczny Sébastien, Pino Pérez Ramón, 2022b, « [On Paraconsistent Belief Revision in LP](#) », *The Thirty-Sixth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI) 2022*, 36, p. 5879-5887.
- Schwind Nicolas, Konieczny Sébastien, Pino Pérez Ramón, 2023, « [Iteration of Iterated Belief Revision](#) », *20th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning KR-2023*, p. 625-634.
- Schwind Nicolas, Marquis Pierre, 2018, « [On Consensus in Belief Merging](#) », *32nd AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI'18)*, p. 1949-1956.

- Schwind Nicolas, Okimoto Tenda, Inoue Katsumi, Hirayama Katsutoshi, Lagniez Jean-Marie, Marquis Pierre, 2018, « [Probabilistic Coalition Structure Generation](#) », *16th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'18)*, p. 663-664.
- Schwind Nicolas, Okimoto Tenda, Inoue Katsumi, Hirayama Katsutoshi, Lagniez Jean-Marie, Marquis Pierre, 2021, « [On the computation of probabilistic coalition structures](#) », *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 35(1).
- Sioutis Michael, Paparrizou Anastasia, Condotta Jean-François, 2019, « [Collective singleton-based consistency for qualitative constraint networks : Theory and practice](#) », *Theoretical Computer Science*, 797, p. 17-41.
- Sioutis Michael, Paparrizou Anastasia, Janhunen Tomi, 2019, « [On the Utility of Neighbourhood Singleton-Style Consistencies for Qualitative Constraint-Based Spatial and Temporal Reasoning.](#) », *26th International Symposium on Temporal Representation and Reasoning (TIME 2019)*.
- Sioutis Michael, Paparrizou Anastasia, Janhunen Tomi, 2020, « [On Neighbourhood Singleton-style Consistencies for Qualitative Spatial and Temporal Reasoning](#) », *Information and Computation*.
- Soh Takehide, Magnin Morgan, Le Berre Daniel, Banbara Mutsunori, Tamura Naoyuki, 2023, « [SAT-Based Method for Finding Attractors in Asynchronous Multi-Valued Networks](#) », *14th International Conference on Bioinformatics Models, Methods and Algorithms (BIOINFORMATICS 2023)*.
- Sun Yiwen, Zhang Xianyin, Huang Shiyu, Cai Shaowei, Zhang Bing-Zhen, Wei Ke, 2024, « [AutoSAT : Automatically Optimize SAT Solvers via Large Language Models](#) »,.
- Tabia Karim, 2022, « [Updating Probability Intervals with Uncertain Inputs](#) », *Thirty-First International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-22*, p. 2748-2754.
- Tahil Gökhan, Delorme Fabien, Le Berre Daniel, Monflier Éric, Sayede Adlane, Tilloy Sébastien, 2023, « [Curated dataset of association constants between a cyclodextrin and a guest for machine learning](#) », *Chemical Data Collections*, 45, p. 101022.
- Toda Seinosuke, 1989, « [On the Computational Power of PP and +P](#) », *30th Annual Symposium on Foundations of Computer Science, Research Triangle Park, North Carolina, USA, 30 October - 1 November 1989*, p. 514-519.
- Verhaeghe Hélène, Lecoutre Christophe, Schaus Pierre, 2018, « [Compact-MDD : Efficiently Filtering \(s\)MDD Constraints with Reversible Sparse Bit-sets](#) », *Twenty-Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-18*, p. 1383-1389.
- Verhaeghe Hélène, Lecoutre Christophe, Schaus Pierre, 2019, « [Extending Compact-Diagram to Basic Smart Multi-Valued Variable Diagrams](#) », *CPAIOR*, 11494, p. 581-598.
- Vesic Srdjan, Yun Bruno, Teovanovic Predrag, 2022, « [Graphical Representation Enhances Human Compliance with Principles for Graded Argumentation Semantics](#) », *AAMAS*.
- Wang Yixiao, Bouraoui Zied, Espinosa Anke Luis, Schockaert Steven, 2021, « [Deriving Word Vectors from Contextualized Language Models using Topic-Aware Mention Selection](#) », *6th Workshop on Representation Learning for NLP (RepL4NLP-2021)*, p. 185-194.
- Wattez Hugues, Koriche Frédéric, Lecoutre Christophe, Paparrizou Anastasia, Tabary Sébastien, 2020, « [Learning Variable Ordering Heuristics with Multi-Armed Bandits and Restarts](#) », *ECAI 2020 - 24th European Conference on Artificial Intelligence*.
- Wattez Hugues, Lecoutre Christophe, Paparrizou Anastasia, Tabary Sébastien, 2019, « [Refining Constraint Weighting](#) », *ICTAI 2019 : IEEE 31st International Conference on Tools with Artificial Intelligence*.
- Yan Kun, Bouraoui Zied, Wang Ping, Jameel Shoaib, Schockaert Steven, 2021b, « [FEW-SHOT IMAGE CLASSIFICATION WITH MULTI-FACET PROTOTYPES](#) », *ICASSP 2021 - 2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*.

Yan Kun, Bouraoui Zied, Wang Ping, Jameel Shoaib, Schockaert Steven, 2021a, « [Aligning Visual Prototypes with BERT Embeddings for Few-Shot Learning](#) », *ICMR '21 : International Conference on Multimedia Retrieval*, p. 367-375.

Yan Kun, Zhang Chenbin, Hou Jun, Wang Ping, Bouraoui Zied, Jameel Shoaib, Schockaert Steven, 2022, « [Inferring Prototypes for Multi-Label Few-Shot Image Classification with Word Vector Guided Attention](#) », *AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 36, p. 2991-2999.

Yu Liuwen, Al Anaissy Caren, Vesic Srdjan, Li Xu, Torre Leendert van der, 2023, « [A Principle-Based Analysis of Bipolar Argumentation Semantics](#) », *18th European Conference, JELIA 2023*.

Yun Bruno, Vesic Srdjan, Croitoru Madalina, 2020, « [Ranking-Based Semantics for Sets of Attacking Arguments](#) », *AAAI 2020 - 34th AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 34, p. 3033-3040.

Zhai Tingting, Koriche Frédéric, Gao Yang, Zhu Junwu, Li Bin, 2022, « [Online active classification via margin-based and feature-based label queries](#) », *Machine Learning*, 111(6), p. 2323-2348.