

Rapport d'activité de l'axe RCR (2013-2018)

Centre de Recherche en Informatique de Lens

février 2019

Produits et activités de recherche

Bilan scientifique

Changement de croyances

La théorie du changement de croyances s'intéresse aux approches permettant à un agent d'actualiser ses croyances en fonction des nouvelles informations qu'il apprend et qui peuvent contredire le modèle que cet agent avait du monde. Le problème est alors de définir comment prendre en compte ces informations tout en conservant la cohérence des croyances de l'agent.

- **Révision de croyances** Nous avons défini une nouvelle classe d'opérateurs de changement, les opérateurs d'amélioration à crédibilité limitée, en combinant deux opérations que nous avons définies dans de précédents travaux, les opérateurs de révision à crédibilité limitée (qui refusaient les informations non fiables), et les opérateurs d'amélioration qui permettent un comportement plus mesuré que la révision de croyances : la nouvelle information n'est pas forcément acceptée, mais sa crédibilité (plausibilité) est augmentée (ECAI'14).
- **Indépendance à la représentation** Nous avons introduit et étudié un concept d'indépendance à la représentation dans un cadre propositionnel (Marquis et Schwind, 2014). La notion d'indépendance à la représentation d'un opérateur propositionnel est ici formalisée comme une propriété de morphisme par substitution des atomes propositionnels en formules. Nous motivons la nécessité de se concentrer sur des ensembles restreints de substitutions, introduisons plusieurs familles d'intérêt, et fournissons divers résultats de caractérisation. Nous identifions également la complexité de la reconnaissance de l'existence d'une substitution pour les différentes familles mises en avant. Nous étudions enfin l'indépendance des opérateurs de fusion des croyances, de révision des croyances et de mise à jour des croyances pour les substitutions des différentes familles. Il s'avère qu'il existe des opérateurs rationnels de fusion/révision/mise à jour ne garantissant pas la forme la plus élémentaire (quoique non triviale) d'indépendance à la représentation.
- **Mise à jour** Nous avons présenté et étudié une famille générale d'opérateurs de mise à jour de croyances dans un contexte propositionnel (ACM TOCL'13). Ces opérateurs sont basés sur une notion de dépendance formule/littéral, plus fine que la notion de dépendance formule/variable proposée dans la littérature. Nous montrons comment ces opérateurs permettent de gérer le problème du décor et celui de la ramification d'une manière plus appropriée que les approches précédentes. Nous évaluons les opérateurs de mise à jour proposés selon deux dimensions importantes : la dimension logique, en vérifiant le statut des postulats de Katsuno-Mendelzon pour la mise à jour, et la dimension calculatoire, en identifiant la complexité de plusieurs problèmes de décision (dont l'inférence) dans le cas général et dans certains cas restreints.

Croyances et multi-agents

Dans des applications comprenant un ensemble d'agents, plusieurs questions de représentation des connaissances et de raisonnement se posent. En particulier, le problème de définir une information cohérente à partir de toutes les informations (souvent conjointement conflictuelles) fournies par les différents agents fonde la problématique de la fusion de croyances. Grâce aux outils développés dans ce cadre, on peut étudier la diffusion d'opinion dans les réseaux sociaux. Une autre question proche est de déterminer un point de vue compatible avec tous les agents, ce qui nous a conduit à définir une notion de consensus. Un type de problème supplémentaire abordé pendant le contrat qui s'achève est celui de la formation d'équipes d'agents pour réaliser un ensemble de tâches.

- **Révision de croyances dans des systèmes multi-agents** Nous avons proposé plusieurs distances entre modèles de Kripke (plus exactement des modèles KD45n, la logique typique pour modéliser les croyances dans le cas de plusieurs agents), et montré comment utiliser ces distances pour définir des opérateurs de révision de logiques doxastiques (ECAI'16).

- **Fusion de croyances** Nous avons étudié une nouvelle famille d'opérateurs de fusion, les opérateurs de fusion égalitaire, en important des notions et des opérateurs pratiques de la théorie du choix social vers la fusion de croyances (en particulier Sen-Hammond et Pigou-Dalton) (ECAI'16). Nous avons également étudié les liens entre fusion de croyances et le domaine plus récent de l'agrégation de jugement. Cela nous a permis en particulier de critiquer les postulats trop restrictifs de l'agrégation de jugement (Everaere, Konieczny et Marquis, 2015), qui conduisent aux théorèmes d'impossibilités identifiés dans ce domaine. Cela nous a aussi conduit à proposer une nouvelle famille d'opérateurs d'agrégation de jugement basée sur le nombre de votes en faveur de chaque question, qui permettent d'obtenir des situations de compromis (Everaere, Konieczny et Marquis, 2014). Par ailleurs, nous avons proposé une implémentation des opérateurs de fusion principaux, les opérateurs à base de distance, en utilisant un encodage CNF. Cette implémentation est suffisamment efficace pour traiter des instances de grande taille, de l'ordre de 1000 variables, qui étaient hors de portée des approches de la littérature. Nous avons illustré les performances de notre approche sur des instances issues de problèmes d'emploi du temps (*time-tabling*) (Konieczny, Lagniez et Marquis, 2017).
- **Belief Revision Games** Nous nous sommes intéressés à l'étude de la diffusion de croyances dans des réseaux sociaux, en utilisant des outils (opérateurs de révision et de fusion) issus de la théorie de la révision de croyances. La question est alors de déterminer si le processus de diffusion ainsi défini atteint un point fixe et les croyances des agents et du groupe social à la fin de ce processus (Schwind et al., 2015). Nous nous sommes ensuite attaqués à la question de la manipulation de ce type de réseaux sociaux. Nous avons étudié la question préliminaire du « comment manipuler » pour faire croire une information donnée, en se demandant quelle information il convient de fournir aux agents que l'on contrôle pour arriver à cet objectif (IJCAI'16).
- **Notion de consensus** Nous avons proposé un concept de consensus entre un ensemble d'agents ayant des croyances propositionnelles conjointement contradictoires tel que ce consensus ne contredise logiquement aucun des agents tout en pouvant contenir des informations initialement non partagées par tous les agents (ECAI'16). Nous avons étudié plusieurs notions de maximalité pour ce concept de consensus lorsque les agents et leurs informations peuvent être soumis à différentes formes de préférence. D'un point de vue calculatoire, pour calculer un consensus maximal, nous avons adapté les techniques que nous avons proposées dans (Besnard, Grégoire et Lagniez, 2015) et (Grégoire, Izza et Lagniez, 2016) pour transformer les différents tests de satisfaisabilité requis en un seul problème d'optimisation à la Partial-Max-SAT. Nous avons également revisité ce concept de consensus dans le cadre de la logique modale épistémique S5, tant sur les plans conceptuel qu'algorithmique (ECAI'16). Nous avons aussi proposé un postulat de consensus dans le contexte de fusion de croyance propositionnelle (Schwind et Marquis, 2018). Ce postulat impose à la base fusionnée d'être cohérente avec les informations fournies par chaque agent impliqué dans le processus de fusion. L'interaction de ce nouveau postulat avec les postulats IC pour la fusion est étudiée et un résultat d'incompatibilité est prouvé. Les ensembles maximaux pour l'inclusion de postulats IC qui sont compatibles avec le postulat de consensus sont identifiés. Nous montrons qu'en imposant tous les postulats les plus souhaitables, les opérateurs de fusion obtenus ont nécessairement une puissance inférentielle faible. En laissant de côté d'autres postulats, nous montrons comment des opérateurs de fusion offrant un meilleur pouvoir inférentiel peuvent être définis.
- **Formation d'équipe robuste** Nous avons formalisé et étudié une notion de robustesse dans le contexte de la formation d'équipes d'agents (Okimoto et al., 2015). Chaque agent est caractérisé par un ensemble de tâches qu'il peut résoudre et un coût de recrutement. L'objectif est de former une équipe d'agents capable de réaliser toutes les tâches données, pour un coût de formation minimal (les coûts s'agrègent additivement). Une équipe est *k*-robuste pour un ensemble de tâches donné si la réalisation de ces tâches est encore possible quand l'équipe est privée de *k* agents (quels que soient ceux-ci). Nous montrons que le problème de décider si une équipe *k*-robuste et de coût inférieur à une valeur donnée existe n'est pas plus difficile que celui de décider si une équipe de coût inférieur à une valeur donnée existe (tous deux sont NP-complets). Nous présentons et évaluons un algorithme pour résoudre le problème (bi-critère) d'optimisation associé.
- **Formalisme pour les systèmes multi-agents** Les formalismes visant le raisonnement sur des systèmes multi-agents existants peuvent être classés en trois catégories : (1) le raisonnement sur les capacités des agents et le temps (ex. Alternating-time Temporal Logic); (2) le raisonnement sur les actions des agents (ex. Dynamic Epistemic Logic); (3) le raisonnement sur les capacités des agents et des actions individuelles, mais avec accent sur les actions épistémiques (ex. Coalition Announcement Logic). Nous avons proposé le formalisme Alternating-time Temporal Dynamic Epistemic Logic (ATDEL) (De Lima, 2014), qui est similaire à la Coalition Announcement Logic, mais avec plusieurs améliorations : des actions en parallèle ; des actions physiques ; plusieurs opérateurs temporels ; la description des actions est concise (pas de problème du décor). Nous avons également étudié l'axiomatique, la décidabilité et des algorithmes pour la vérification des modèles et le test de la cohérence des formules.

La plupart des informations à partir desquelles un agent artificiel doit raisonner ne sont pas parfaites. Elles sont souvent incertaines ou imprécises. Il existe beaucoup de formalismes différents pour la représentation et le raisonnement dans l'incertain, chacun ayant ses avantages et inconvénients. Nous avons apporté différentes contributions pour la définition et l'utilisation de ces formalismes.

- **Encodage de réseaux bayésiens** Nous avons présenté et évalué un nouveau schéma de traduction de modèles graphiques probabilistes vers des formules CNF pondérées, permettant de réduire le problème du calcul de probabilité d'une évidence donnée à un calcul de nombre de modèles pondérés (ECAI'16). Ce nouveau schéma, prouvé correct, améliore le meilleur schéma proposé jusqu'ici (par Chavira et Darwiche). Pour chaque modèle en entrée, la formule CNF à laquelle il conduit contient moins de variables et moins de clauses que la formule CNF obtenue avec le schéma de Chavira et Darwiche. De plus, le temps de calcul de la probabilité d'une évidence donnée obtenu en utilisant le compteur de modèles pondérés c2d en aval de la formule CNF produite par notre schéma est, dans de nombreux cas, significativement plus petit que lorsque le schéma de Chavira et Darwiche est utilisé, ou lorsque le compilateur ACE de modèles graphiques est utilisé pour répondre à la requête.
- **Conditionnement dans la théorie des possibilités à intervalles et conditionnement** La théorie des possibilités et la logique possibiliste sont des cadres de représentation et de raisonnement sous incertitude bien connus et particulièrement adaptés pour représenter et raisonner avec des informations incomplètes et/ou qualitatives. Pour le conditionnement d'informations incertaines dans un cadre possibiliste qualitatif à intervalles, nous avons montré que tout conditionnement à base d'intervalles satisfaisant trois postulats naturels est nécessairement basé sur l'ensemble des distributions de possibilités standard compatibles. Une deuxième contribution consiste en une proposition d'algorithmes efficaces pour calculer les bornes inférieure et supérieure de la distribution conditionnée tandis qu'une troisième contribution consiste en une contrepartie syntaxique des distributions conditionnelles à base d'intervalles dans le cas où ces dernières sont codées de manière compacte sous forme des bases de connaissances possibilistes (Benferhat et al., 2017) (Benferhat et al., 2015). Par ailleurs nous avons proposé une nouvelle définition du conditionnement incertain dans le cadre de la théorie des possibilités (IJCAI'13). Cette nouvelle définition, appelée conditionnement hybride, prend en paramètre un ensemble de triplets composés de formules propositionnelles, du degré d'acceptation de ces formules ainsi que le mode de révision de ces formules. Nous avons proposé une caractérisation de cette définition de conditionnement à partir d'opérations élémentaires sur les distributions de possibilités. Un résultat important de ce travail est la proposition d'une procédure de calcul efficace du conditionnement hybride, qui a une complexité spatiale polynomiale par rapport à la taille de la base de connaissance initiale.
- **Théorie des possibilités à base d'ensembles** Nous nous sommes intéressés au conditionnement des informations incertaines où les poids associés aux formules sont sous la forme d'ensembles de degrés d'incertitude (ECAI'16). Nous avons étudié la théorie des possibilités à base d'ensembles et avons fourni une caractérisation d'une logique possibiliste au moyen du concept de bases logiques possibilistes compatibles et de distributions de possibilités compatibles. La deuxième partie du travail traite du conditionnement des distributions de possibilités à base d'ensembles. Nous avons proposé d'abord un ensemble de trois postulats naturels pour conditionner ces distributions de possibilités. Nous avons montré ensuite que tout conditionnement satisfaisant ces trois postulats est nécessairement basé sur le conditionnement de l'ensemble des distributions de possibilités standard compatibles. Nous avons enfin montré comment calculer efficacement le conditionnement dans ces bases de connaissances.
- **Raisonnement avec des informations incertaines dans les réseaux possibilistes** Les modèles graphiques sont des outils compacts et puissants pour représenter et raisonner sous incertitude. Les réseaux possibilistes sont des modèles de croyances graphiques basés sur la théorie des possibilités. Nous avons abordé le raisonnement avec des informations incertaines dans les réseaux possibilistes quantitatifs et qualitatifs (Benferhat et Tabia, 2014). Plus précisément, nous avons fourni d'abord des contreparties possibilistes des méthodes dites *Virtual Evidence* de Pearl, et nous les avons comparées aux contreparties possibilistes de la règle de conditionnement de Jeffrey. Comme dans le cas probabiliste, les deux méthodes se révèlent équivalentes dans le cadre quantitatif concernant l'existence et l'unicité de la solution. Cependant, dans le cadre qualitatif, la méthode de Pearl, qui s'applique directement aux modèles graphiques, est en désaccord avec la règle de Jeffrey. Nous avons identifié les situations où les méthodes ne sont pas équivalentes. Nous avons enfin abordé des questions annexes comme les transformations d'une méthode à l'autre et la commutativité. Par ailleurs, nous avons proposé un modèle générique pour la compilation des modèles graphiques (Ayachi, Ben Amor et Benferhat, 2014). Ce modèle prend en compte non seulement les variables d'observation mais également des variables d'intervention. Nous avons montré que les deux méthodes de la représentation des relations de causalité (à base d'ajouts de variables de type « do » ou à base de graphes mutilés) se modélisent facilement dans notre modèle.

Raisonnement spatio-temporel

Le raisonnement spatio-temporel tient une place centrale en intelligence artificielle. Il possède, en effet, différents domaines d'applications parmi lesquels le traitement du langage naturel, la planification et les systèmes d'information géographiques.

- **Mesure de l'incohérence dans le raisonnement spatio-temporel** Nous avons abordé le problème de la quantification du degré d'incohérence dans le cadre du raisonnement spatio-temporel (Condotta, Raddaoui et Salhi, 2016). Nous avons ainsi proposé un cadre formel permettant de définir différents types de mesures d'incohérence. Nous avons également proposé une méthode décrivant la manière dont de telles mesures peuvent être appliquées dans le cadre de la fusion de connaissances.
- **Logique pour le raisonnement spatio-temporel** Nous avons étudié une logique formelle pour le raisonnement spatio-temporel, qui est obtenue par une combinaison de la logique temporelle linéaire et un formalisme qualitatif de raisonnement spatial (TABLEAUX'15). Nous avons en particulier proposé pour cette logique une procédure de recherche de preuves fondée sur la méthode des tableaux.
- **Réseaux de contraintes qualitatives** Nous avons proposé un algorithme original et efficace pour résoudre un des problèmes fondamentaux des réseaux de contraintes qualitatives (RCQ) pour le temps et l'espace : le problème de l'étiquetage minimal (IJCAI'13). Intuitivement, ce problème, qui a été montré NP-difficile, consiste, étant donné un RCQ contraignant les positions relatives d'un ensemble d'entités temporelles ou spatiales, à caractériser l'ensemble des positions relatives réalisables entre chaque paire d'entités. L'algorithme proposé utilise les notions de classes de relations traitables et de triangulations de RCQ. Il est générique dans le sens où il peut être utilisé dans le cadre de la plupart des formalismes qualitatifs du domaine. Nous nous sommes également intéressé au problème de la caractérisation des contraintes non redondantes d'un RCQ du calcul spatial RCC8 (Sioutis, Li et Condotta, 2015). Notre étude de ce problème nous a conduit à établir différents résultats de complexité et à définir un algorithme de résolution basé sur la cohérence locale particulière qu'est la chemin-cohérence partielle permettant de caractériser de manière efficace les contraintes non redondantes d'un RCQ défini sur une des classes distributives maximales de RCC8. Nous avons proposé différents encodages originaux en Partial-Max-SAT pour le problème MAX-QCN, qui est le problème d'optimisation consistant à déterminer un scénario cohérent (une configuration d'entités) maximisant le nombre de contraintes satisfaites d'un réseau de contraintes qualitatives (Condotta, Nouaouri et Sioutis, 2016). Nous avons considéré les deux formalismes qualitatifs pour le temps que sont le calcul des intervalles et le calcul des points. Pour ces deux formalismes, nous avons étudié un problème d'optimisation appelé MinCons qui consiste à caractériser des scénarios cohérents d'un RCQ minimisant le nombre de points temporels utilisés (Acta Informatica'16). Nous avons montré que ce problème est NP-difficile dans le cas général et avons caractérisé des cas polynomiaux pour lesquels sont définis des algorithmes de résolution. Nous avons aussi proposé et étudié un algorithme permettant de calculer de manière efficace la fermeture d'un réseau de contraintes qualitatives (RCQ) pour la chemin-cohérence partielle (Sioutis et Condotta, 2017). La calcul de cette fermeture est un élément crucial sur lequel sont basés la plupart des algorithmes de résolution des différents problèmes posés sur les RCQ. L'algorithme proposé dans l'article est basé sur une notion originale d'abstraction de RCQ.

Argumentation

Dans beaucoup d'interactions entre agents (humains ou artificiels), il est nécessaire d'utiliser des arguments pour articuler les discussions, négociations, ou concertations. Le nombre de plate-formes sur le web permettant à une communauté d'interagir en échangeant et en votant sur des arguments ne cesse d'augmenter. Ce genre de plate-formes est déjà utilisé pour des consultations citoyennes. Ces nouveaux usages nécessitent de repenser la théorie de l'argumentation.

- **Sémantiques graduées** Des sémantiques graduées pour l'argumentation abstraite de Dung ont été récemment proposées. Nous avons recensé l'ensemble de ces sémantiques et l'ensemble des propriétés de rationalité proposées dans la littérature (nous en avons également proposé de nouvelles). Nous avons étudié l'ensemble des sémantiques existantes à la lumière de ces propriétés. Ceci a permis d'obtenir une première vue globale des sémantiques graduées, de discuter de la pertinence de l'ensemble de ces propriétés, et de lancer la discussion sur le comportement minimal attendu pour ces sémantiques (Bonzon et al., 2016).
- **Révision de systèmes d'argumentation** Nous avons proposé d'étudier des opérateurs de révision, au sens AGM, pour les systèmes d'argumentation. L'idée est de considérer que les inférences d'un système d'argumentation sont les arguments que l'on sait acceptés ou rejetés par le système (étant donnée une sémantique). La révision d'un tel système consiste alors en la modification de celui-ci pour modifier les arguments acceptés ou rejetés. Nous avons étudié comment modifier minimalement le graphe d'attaque entre les arguments afin de modifier minimalement l'ensemble des arguments acceptés (Coste-Marquis et al.,

2014). Dans une seconde approche nous avons proposé une opération de révision par traduction, en utilisant un encodage en logique propositionnelle. L'idée est de coder les informations d'un système d'argumentation abstrait dans une formule logique, puis d'utiliser un opérateur de révision en logique propositionnelle (qui sont bien étudiés et bien fondés), puis de décoder le résultat pour obtenir le système d'argumentation. Comme dans l'approche précédente, plusieurs notions de minimalité peuvent être considérées et combinées. Mais alors que l'approche précédente ne considérait que l'acceptabilité des arguments, cette approche permet de considérer à la fois l'acceptabilité et la relation d'attaque (JELIA'14). Enfin, une dernière contribution sur ce sujet concerne les opérateurs d'enforcement, qui ont été proposés par Baumann et Brewka, et qui sont très proches des opérateurs de révision. Nous avons proposé une généralisation de cette définition d'enforcement (permettant l'ajout de nouveaux arguments et la remise en cause de certaines attaques) et étudié ses propriétés. Nous avons proposé aussi une implémentation de ces opérateurs utilisant une traduction en un problème d'optimisation pseudo-booléen, et montré que cela permettait d'envisager le calcul de ces enforcements dans des applications avec un grand nombre d'arguments (Coste-Marquis et al., 2015).

- **Agrégation de systèmes d'argumentation** Nous avons étudié également la problématique de l'agrégation de systèmes d'argumentation. Dans un premier travail nous avons fait le point sur les approches existantes, en examinant en particulier si les propriétés proposées, issues de la théorie du vote, étaient satisfaites par les propositions existantes et par une nouvelle méthode que nous avons mise en avant. La conclusion de ce travail est double. Tout d'abord, les opérateurs existants ne sont pas satisfaisants. Mais surtout les propriétés des méthodes d'agrégation identifiées dans la littérature, basées sur des propriétés issues de la théorie du vote, ne sont pas adéquates (Delobelle, Konieczny et Vesic, 2015). Nous avons ensuite proposé de nouvelles propriétés, inspirées des postulats existants en fusion de croyances propositionnelle (qui sont plus adaptés à ce cadre que les propriétés issues de la théorie du vote), et proposé d'autres opérateurs effectuant une fusion de systèmes d'argumentation se basant sur le statut des arguments, que nous avons caractérisés à l'aide de ces propriétés (Delobelle et al., 2016).
- **Préférences et argumentation** Nous avons étudié la question du nombre exponentiel d'extensions possibles pour certaines sémantiques. Nous avons abordé cet aspect en appliquant une stratégie d'utilisation de préférences au niveau sémantique afin de déterminer les arguments préférés (ECAI'16). Pour ce faire, différentes relations de préférence ont été étudiées. Nous avons également traité dans ce cadre le problème du calcul des extensions Top-k selon une relation de préférence spécifiée par l'utilisateur.

Mesures de l'incohérence

L'incohérence est souvent inévitable dans les systèmes à base de connaissances et dans les systèmes multi-agents. Mesurer le degré d'incohérence des bases de connaissances des agents facilite la compréhension d'un agent de son environnement et lui fournit une aide pour la prise de décision.

- **Taxonomie des mesures syntaxiques** Nous avons proposé une taxonomie des mesures d'incohérence basées sur les ensembles minimaux incohérents. Nous construisons un graphe biparti entre les formules et les MUS et nous avons montré que la plupart des mesures syntaxiques se classent dans une taxonomie basée sur la partie de l'information contenue dans ce graphe biparti qui est exploitée. Cette approche permet une vue synthétique de ces mesures et d'en définir de nouvelles (De Bona et al., 2018).
- **Incohérence et additivité** Souvent la structure des MUS est moins prise en compte dans l'évaluation du degré d'incohérence des bases de connaissances dans les approches syntaxiques. Nous avons étudié la propriété d'additivité qui est rarement discutée dans la littérature en raison de la difficulté de sa modélisation (Jabbour, Ma et Raddaoui, 2014). Elle permet d'additionner le degré de conflit de sous-bases sous la condition de la disjonction de leurs MUSes. Nous avons proposé une restriction de cette dernière appelée Indépendance-Additivité qui exige une indépendance totale en terme de formules et de MUSes entre les sous-bases. Dans (Jabbour et al., 2016) nous avons généralisé cette notion aux ensembles. Cela a donné lieu à un nouveau problème appelé *set packing* fermé qui est une extension du problème bien connu du *set packing*. Nous avons montré que ce nouveau problème est aussi complexe que celui du *set packing* standard de point de vue de la théorie de la complexité. Nous avons également proposé une extension de la mesure basée sur la borne inférieure en associant un vecteur pour chaque base de connaissances. Ce vecteur est une partition en *set packing* fermés maximaux de la base en question. De plus, à partir de ce vecteur deux mesures d'incohérences ont été instanciées en agrégeant les valeurs de ce vecteur, soit en considérant une somme pondérée ou en utilisant la fraction continue de ce vecteur. Nous avons également formulé le problème de *set packing* fermé et sa version pondérée en problèmes d'optimisation basé sur Max-SAT et la programmation linéaire 0/1. Nous avons poursuivi l'exploration des mesures d'incohérence du point de vue de la structure des MUSes (Jabbour, Ma et Raddaoui, 2014). Partant du constat que la disjonction entre MUSes est un facteur accentuant la valeur de l'incohérence, nous avons proposé une propriété appelée sous-additivité qui est une contre-partie de

la propriété de l'indépendance-additivité proposée dans (Jabbour et al., 2016). Nous avons montré comment formuler de nouvelles mesures vérifiant cette propriété en prenant en compte les intersections entre MUSes.

Raisonnement sur les ontologies

Les formalismes d'ontologie standard n'offrent aucun moyen pour prendre en compte les priorités ou l'incertitude lors de la représentation des connaissances. Nous avons proposé plusieurs extensions des logiques de description standard pour attaquer ce problème.

- **DL-Lite possibiliste** Nous avons proposé une extension des principaux fragments de DL-Lite dans le cadre de la théorie des possibilités (Benferhat et Bouraoui, 2017). Cette extension a été d'abord réalisée en posant les bases de DL-Lite possibiliste, notée π -DL-Lite, par l'extension de DL-Lite_core, le noyau de toutes les logiques de la famille DL-Lite. Nous avons d'abord défini la syntaxe, la sémantique et les propriétés de π -DL-Lite_core, ensuite nous avons introduit les tâches de raisonnement standard. Un avantage important de l'utilisation de la logique possibiliste est qu'elle permet un traitement naturel de l'incohérence en se basant sur la notion de degré d'incohérence. On peut associer à une base π -DL-Lite un degré d'incohérence (qui varie habituellement, par exemple, entre 0 et 1 si l'on utilise l'intervalle unitaire [0,1] pour coder les degrés de certitude). Nous avons montré que le calcul de ce degré d'incohérence peut être réalisé par une extension directe de l'algorithme de test de satisfaisabilité d'une base DL-Lite standard. Cette fermeture négative est ensuite transformée en requêtes conjonctives pondérées évaluées sur l'ensemble des individus afin de calculer le degré d'incohérence.
- **Inférence tolérant l'incohérence** Bien qu'une grande variété d'approches d'inférence tolérant l'incohérence (« inconsistency-tolerant semantics ») ait été proposée, un manque de compréhension de la façon dont ces différentes approches se relient les unes aux autres et de leurs caractéristiques subsistait. Par conséquent, nous avons mis en place un cadre unificateur pour l'inférence tolérant l'incohérence pour OBDA, en proposant une feuille de route pour la gestion d'incohérences dans le cadre des ontologies exprimées en règles existentielles (un langage qui généralise les langages d'ontologies légères telles que DL-Lite). Cela nous a conduit à proposer un cadre générique qui non seulement permet de contenir les approches existantes, mais permet également d'introduire facilement de nouvelles inférences tolérant l'incohérence (Baget et al., 2016) (JELIA'16). Pour mettre en place ce cadre, nous avons introduit la notion de base de connaissances avec MBox. Une base de connaissances avec MBox est composée par une TBox standard et un multi-ensemble d'ABox, appelé MBox. Ce cadre repose sur deux notions clés : les modificateurs et les stratégies d'inférence. Une sémantique tolérante à l'incohérence est alors considérée comme étant paramétrée par un modificateur composé, qui transforme l'ABox originale en une MBox, et par une stratégie d'inférence, qui permet d'évaluer une requête dans la base de connaissances (TBox, MBox) résultante. Un modificateur composé est une combinaison finie des trois modificateurs élémentaires suivants qui peuvent être appliqués sur une MBox i) les modificateurs d'expansion, ii) les modificateurs de fraction et iii) les modificateurs de sélection. En se basant sur ce cadre unificateur, nous avons analysé le pouvoir inférentiel et les propriétés des ces inférences en termes de satisfaction de postulats de rationalité. Nous avons également identifié la complexité des différentes inférences tolérant l'incohérence.
- **Inférence par non-objection** Dans ce travail, notre objectif était de définir une bonne approximation de l'inférence AR (universelle), qui soit strictement plus productive que l'inférence IAR (libre) sans être aussi aventureuse que l'inférence existentielle. À cette fin, nous avons proposé une nouvelle relation d'inférence tolérant l'incohérence, appelée inférence par non-objection (no-inférence), ainsi que ses différentes variantes (Ino-inférence et cno-inférence) (Benferhat et al., 2016). Le dénominateur commun à toutes ces nouvelles relations d'inférences est le suivant : une requête est considérée comme valide si elle est dérivée par au moins une réparation et elle est cohérente avec toutes les autres réparations. L'intuition derrière est que l'implication d'une requête d'une réparation est considérée comme un processus de « vote », où toutes les réparations peuvent voter pour ou contre l'implication d'une requête, ou elles peuvent s'abstenir. Dans cette approche, une requête est considérée comme valide s'il y a au moins une réparation qui vote en sa faveur (c-à-d. que la requête est dérivée de la réparation) et qu'aucune des autres réparations ne vote contre. La différence entre les inférences no, Ino et cno est la manière dont les réparations qui ont le droit de vote sont sélectionnées. Cependant, pour toutes ces variantes, la relation d'inférence est plus productive que l'inférence AR, et contrairement à l'inférence existentielle, elle ne produit que des conclusions cohérentes. Un atout important de l'approche est que la complexité d'évaluation des requêtes avec l'inférence par non-objection est polynomiale.
- **Sélection d'une réparation préférée** Comme souligné dans la première partie de cette section, les informations sont souvent affectées par l'incertitude ou sont munies de priorités. C'est particulièrement le cas d'OBDA quand les données sont fournies par plusieurs sources potentiellement conflictuelles avec des niveaux de fiabilité différents. Nous avons ainsi traité le problème d'inférence tolérant l'incohérence dans le cas où l'ABox est stratifiée. Nous avons étudié la question de sélection d'une seule réparation préférée (c-à-d la composition d'une réparation préférée) (IJCAI'15). En effet, la sélection d'une seule réparation est prometteuse, car une

fois la réparation calculée, on peut répondre efficacement aux requêtes. Nous avons proposé de nouveaux modèles de composition d'une seule réparation préférée. Ces approches ont comme point de départ de modifier la réparation dominante en la remplaçant par une composition d'un ou plusieurs modificateurs. Nous avons aussi fourni une analyse comparative suivie d'études expérimentales des différentes approches étudiées.

General Game Playing

L'objectif du *General Game Playing* est d'apprendre à jouer à n'importe quel jeu de stratégie, sans connaître les règles du jeu à l'avance. Les jeux sont décrits dans un langage de représentation, appelé *Game Description Language* (GDL), qui est suffisamment expressif pour représenter des jeux déterministes ou stochastiques, à information totale ou partielle. Durant une compétition GGP, les agents reçoivent les règles du jeu en GDL et ont 180 secondes (*start clock*) pour intégrer ces règles. Une fois le délai atteint, les agents ont 15 secondes (*play clock*) par tour pour décider du prochain coup.

Depuis la naissance du GGP en 2003, de nombreux paradigmes algorithmiques ont été étudiés, tels que la programmation logique (ASP), la construction automatique de fonctions d'évaluation, ou encore la recherche arborescente Monte Carlo (MCTS). Au CRIL, nous avons proposé un paradigme s'inspirant des méthodes de résolution par contraintes et de bandits multi-bras. L'idée sous-jacente consiste à traduire les règles GDL en réseau de contraintes stochastiques (SCSP) et d'exploiter ce réseau pour la recherche de stratégies optimales, ou approximatives. En particulier, dans (Constraints'16), nous avons construit un solveur couplant la propagation de contraintes (MAC) avec les bandits stochastiques (Flat-UCB), qui a gagné la compétition GGP en continu durant la période 2015-16. Dans (Koriche et al., 2017), nous avons proposé une méthode de détection de contraintes stochastiques, permettant d'élaguer une grande partie de l'arbre de jeu. L'algorithme MAC-UCB-SYM est au cœur du logiciel « Woodstock » qui a gagné à la fois la compétition GGP en continu durant la période 2016-17, et a gagné la compétition mondiale IGGP 2016 à Stanford.

Apprentissage pour le traitement automatique de la langue

Nous avons développé ces dernières années plusieurs approches d'apprentissage pour le traitement automatique du langage naturel. Ces approches s'appuient sur des représentations vectorielles des mots et le concept de *word embedding*.

- **Apprentissage des espaces conceptuels à partir des concepts interreliés** Plusieurs méthodes proposées récemment visent à apprendre des représentations vectorielles à partir de grandes collections de textes. Ces représentations apprises associent chaque « objet » d'un domaine d'intérêt donné à un point dans un espace euclidien de grande dimension, mais elles ne modélisent pas les concepts (catégories) de ce domaine et ne peuvent donc pas être directement utilisées pour la catégorisation et les tâches cognitives associées. Une solution naturelle est de représenter des concepts comme des gaussiennes, apprises des représentations vectorielles de leurs instances, mais cela ne peut être fait de manière fiable que si suffisamment d'instances sont données, ce qui n'est pas souvent le cas. Nous avons introduit (Bouraoui et Schockaert, 2018) un modèle bayésien qui aborde ce problème en construisant des a priori informatifs à partir des bases de connaissances (en logique de description) sur la façon dont les concepts en question sont liés les uns aux autres.
- **Apprentissage non supervisé des vecteurs de relation distributionnelle** Plusieurs modèles d'apprentissage de *word embeddings* tel que GloVe s'appuient sur des statistiques de co-occurrence de mots pour apprendre les représentations vectorielles de la signification des mots. Bien que nous puissions également nous attendre à ce que des statistiques de co-occurrence puissent être utilisées pour obtenir des informations riches sur les relations entre les différents mots, les approches existantes pour modéliser de telles relations sont basées sur le traitement de vecteurs de mot pré-formés. Nous avons introduit (Bouraoui, Jameel et Schockaert, 2018) une nouvelle méthode qui apprend directement les vecteurs de relations à partir des statistiques de co-occurrence. Nous avons proposé une variante de GloVe dans laquelle il existe une connexion explicite entre les vecteurs de mots et les vecteurs issus de la mesure de co-occurrence pondérés PMI. Contrairement aux modèles basés sur les réseaux de neurones, notre modèle apprend les vecteurs de relations de manière non supervisée, ce qui implique qu'il peut être utilisé pour mesurer des similarités relationnelles.
- **Induction de relations à partir de *word embeddings*** Étant donné un ensemble d'instances d'une relation, la tâche d'induction de relation consiste à prédire d'autres paires de mots susceptibles d'être liées de la même manière. Bien qu'il soit naturel d'utiliser des *word embeddings* pour cette tâche, les approches standard basées sur la translation de vecteurs se révèlent peu performantes. Pour résoudre ce problème, nous avons proposé (COLING'18) deux modèles d'induction de relation probabilistes. Le premier est basé sur des translations, mais utilise des gaussiennes pour modéliser explicitement leur variabilité et pour coder des contraintes sur les mots source et cible qui peuvent être choisis. Dans le second modèle, nous utilisons la régression bayésienne pour

encoder l'hypothèse qu'il existe une relation linéaire entre les représentations vectorielles de mots apparentés, ce qui est considérablement plus faible que l'hypothèse sous-jacente aux modèles basés sur la translation.

Faits marquants

- 2018 : Ivan Varzinczak reçoit le **prix de logique universelle**.
- 2018 : le **GDR sur les aspects formels et algorithmiques de l'IA**, porté par Sébastien Konieczny, est créé.
- 2017 : l'article décrivant Woodstock présenté à IJCAI'17 (Koriche et al., 2017) est retenu parmi les trois meilleurs articles de la conférence pour l'obtention du *distinguished paper award*.
- 2017 : Sébastien Konieczny pilote le groupe de travail « recherche amont » pour le rapport ministériel **FrancelA**.
- 2017 : Eric Piette, doctorant encadré par Frédéric Koriche, Sylvain Lagrue et Sébastien Tabary, obtient le **prix (ex-aequo) AFIA de la meilleure thèse en IA de l'année**.
- 2017 : la conférence internationale IEA/AIE (Springer) est organisée du **27 au 30 juin à l'université d'Artois** sous la responsabilité de Salem Benferhat, Sylvain Lagrue et Karim Tabia.
- 2015 : le logiciel CoQuiAAS, construit sur un solveur de contraintes pour l'inférence argumentative **remporte la première compétition internationale d'argumentation**.
- 2014 : le « **Panorama de l'intelligence artificielle - ses bases méthodologiques, ses développements** » est publié chez Cépaduès. L'ouvrage, co-édité par Pierre Marquis, a nécessité un travail d'organisation important (3 volumes, 42 chapitres, 1328 pages, co-écrits par 121 collègues de la communauté francophone d'IA).
- 2014 : Sébastien Konieczny est président du comité de programme du workshop international **NMR'14**.

Sélection des publications

- Ayachi Raouia, Ben Amor Nahla, Benferhat Salem, 2014, « Inference using compiled min-based possibilistic causal networks in the presence of interventions », *Fuzzy Sets and Systems (FSS)*, 239, p. 104-136.
- Baget Jean-François, Benferhat Salem, Bouraoui Zied, Croitoru Madalina, Mugnier Marie-Laure, Papini Odile, Rocher Swan, Tabia Karim, 2016, « A General Modifier-Based Framework for Inconsistency-Tolerant Query Answering », *15th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'16)*, p. 513-516.
- Benferhat Salem, Bouraoui Zied, 2017, « Min-based possibilistic DL-Lite », *Journal of Logic and Computation (JLC)*, 27(1), p. 261-297.
- Benferhat Salem, Bouraoui Zied, Croitoru Madalina, Papini Odile, Tabia Karim, 2016, « Non-Objection Inference for Inconsistency-Tolerant Query Answering », *25th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'16)*, p. 3684-3690.
- Benferhat Salem, Kreinovich Vladik, Levray Amélie, Tabia Karim, 2015, « Compatible-Based Conditioning in Interval-Based Possibilistic Logic » Yang Qiang, Wooldridge Michael (dir.), *24th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'15)*, p. 2777-2783.
- Benferhat Salem, Kreinovich Vladik, Levray Amélie, Tabia Karim, 2017, « Qualitative conditioning in an interval-based possibilistic setting », *Fuzzy Sets and Systems (FSS)*, 343, p. 35-49.
- Benferhat Salem, Tabia Karim, 2014, « Reasoning with Uncertain Inputs in Possibilistic Networks », *14th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'14)*, p. 538-547.
- Besnard Philippe, Grégoire Éric, Lagniez Jean-Marie, 2015, « On Computing Maximal Subsets of Clauses that Must Be Satisfiable with Possibly Mutually-Contradictory Assumptive Contexts », *29th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI'15)*, p. 3710-3716.
- Bonzon Elise, Delobelle Jérôme, Konieczny Sébastien, Maudet Nicolas, 2016, « A Comparative Study of Ranking-Based Semantics for Abstract Argumentation » Schuurmans Dale, Wellman Michael P. (dir.), *30th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI'16)*, p. 914-920.
- Bouraoui Zied, Jameel Shoaib, Schockaert Steven, 2018, « Unsupervised Learning of Distributional Relation Vectors », *56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL'18)*.
- Bouraoui Zied, Schockaert Steven, 2018, « Learning Conceptual Space Representations of Interrelated Concepts », *27th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'18)*.
- Condotta Jean-François, Nouaouri Issam, Sioutis Michael, 2016, « A SAT approach for maximizing satisfiability in qualitative spatial and temporal constraint networks », *15th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'16)*, p. 432-442.
- Condotta Jean-François, Raddaoui Badran, Salhi Yakoub, 2016, « Quantifying Conflicts for Spatial and Temporal Information », *15th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'16)*, p. 443-452.
- Coste-Marquis Sylvie, Konieczny Sébastien, Mailly Jean-Guy, Marquis Pierre, 2014, « On the Revision of Argumentation Systems: Minimal Change of Arguments Statuses », *14th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'14)*, p. 52-61.
- Coste-Marquis Sylvie, Konieczny Sébastien, Mailly Jean-Guy, Marquis Pierre, 2015, « Extension Enforcement in Abstract Argumentation as an Optimization Problem » Yang Qiang, Wooldridge Michael (dir.), *24th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'15)*, p. 2876-2882.
- De Bona Glauber, Grant John, Hunter Antony, Konieczny Sébastien, 2018, « Towards a Unified Framework for Syntactic Inconsistency Measures », *32nd AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI'18)*.
- De Lima Tiago, 2014, « Alternating-time temporal dynamic epistemic logic », *Journal of Logic and Computation (JLC)*, 24(6), p. 1145-1178.
- Delobelle Jérôme, Haret Adrian, Konieczny Sébastien, Mailly Jean-Guy, Rossit Julien, Woltran Stephan, 2016, « Merging of Abstract Argumentation Frameworks » Baral Chitta, Delgrande James P., Wolter Frank (dir.), *15th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'16)*, p. 33-42.
- Delobelle Jérôme, Konieczny Sébastien, Vesic Srdjan, 2015, « On the Aggregation of Argumentation Frameworks » Qiang Yang Michael Wooldridge (dir.), *24th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'15)*, p. 2911-2917.

- Everaere Patricia, Konieczny Sébastien, Marquis Pierre, 2014, « Counting votes for aggregating judgments », *13th International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS'14)*, p. 1177-1184.
- Everaere Patricia, Konieczny Sébastien, Marquis Pierre, 2015, « Belief Merging versus Judgment Aggregation », *14th International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS'15)*, p. 999-1007.
- Grégoire Éric, Izza Yacine, Lagniez Jean-Marie, 2016, « On the Extraction of One Maximal Information Subset That Does Not Conflict with Multiple Contexts », *30th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI'16)*, p. 3404-3410.
- Jabbour Saïd, Ma Yue, Raddaoui Badran, 2014, « Inconsistency measurement thanks to mus decomposition », *13th International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS'14)*, p. 877-884.
- Jabbour Saïd, Ma Yue, Raddaoui Badran, Saïs Lakhdar, Salhi Yakoub, 2016, « A MIS Partition Based Framework for Measuring Inconsistency », *15th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'16)*, p. 84-93.
- Konieczny Sébastien, Lagniez Jean-Marie, Marquis Pierre, 2017, « SAT Encodings for Distance-Based Belief Merging Operators », *31st AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI'17)*, p. 1163-1169.
- Koriche Frédéric, Lagrue Sylvain, Piette Eric, Tabary Sébastien, 2017, « Constraint-Based Symmetry Detection in General Game Playing », *26th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'17)*, p. 280-287.
- Marquis Pierre, Schwind Nicolas, 2014, « Lost in translation: Language independence in propositional logic - application to belief change », *Artificial Intelligence (AIJ)*, 206, p. 1-24.
- Okimoto Tenda, Schwind Nicolas, Clement Maxime, Ribeiro Tony, Inoue Katsumi, Marquis Pierre, 2015, « How to Form a Task-Oriented Robust Team », *14th International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS'15)*, p. 395-403.
- Schwind Nicolas, Inoue Katsumi, Bourgne Gauvain, Konieczny Sébastien, Marquis Pierre, 2015, « Belief Revision Games », *29th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI'15)*, p. 1590-1596.
- Schwind Nicolas, Marquis Pierre, 2018, « On Consensus in Belief Merging », *32nd AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI'18)*, p. 1949-1956.
- Sioutis Michael, Condotta Jean-François, 2017, « Efficiently Enforcing Path Consistency on Qualitative Constraint Networks by Use of Abstraction », *26th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'17)*, p. 1262-1268.
- Sioutis Michael, Li Sanjiang, Condotta Jean-François, 2015, « Efficiently characterizing non-redundant constraints in large real world qualitative spatial networks », *24th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'15)*, p. 3229-3235.