



HAL
open science

Actes des 15es Rencontres des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle

Matthieu Geist

► **To cite this version:**

Matthieu Geist. Actes des 15es Rencontres des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle: RJCIA 2017. Plate-Forme Intelligence Artificielle, Association Française pour l'Intelligence Artificielle, 2017. hal-04594093

HAL Id: hal-04594093

<https://ut3-toulouseinp.hal.science/hal-04594093>

Submitted on 30 May 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Rencontres des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle

Caen, les 6 et 7 juillet 2017

dans le cadre de la Plate-Forme de l'Intelligence Artificielle



Table des matières

Maël Arnaud, Carole Adam, Julie Dugdale.

Les limites du BDI pour rendre compte du comportement humain en situation de crise

Beatrice Biancardi, Angelo Cafaro, Catherine Pelachaud.

Gérer les premières impressions de compétence et de chaleur à travers des indices non verbaux

Dorian Kodelja, Romaric Besançon, Olivier Ferret.

Représentations et modèles en extraction d'événements supervisée

Rémi Lacaze-Labadie, Domitile Lourdeaux, Mohamed Sallak.

Planification probabiliste : une heuristique pour garantir des solutions sûres

Arnaud Ferré.

Représentation de termes complexes dans un espace vectoriel relié à une ontologie pour une tâche de catégorisation

Antoine Flepp, Fabrice Bourge, Julie Dugdale, Tiphaine Marie.

Extraction de connaissances à partir de l'usage des outils professionnels de communication et de collaboration

Alexandre Schmitt, Florent Carlier, Valérie Renault, Pascal Leroux.

Communication multi-niveaux pour des IoT-a. Interactions autour d'un mur d'écrans connectés

Les limites du BDI pour rendre compte du comportement humain en situation de crise

Maël Arnaud^{*1}, Carole Adam^{†1}, and Julie Dugdale^{‡1, 2}

¹Univ. Grenoble Alpes, LIG, F-38000 Grenoble, France

²University of Agder, Norway

Résumé

La modélisation et la simulation à base d'agents peuvent offrir un puissant environnement de test pour des scénarios de gestion de crises, qu'elles soient provoquées par la nature ou par l'homme. L'architecture BDI (Beliefs, Desires, Intentions) a été identifiée comme prometteuse pour la création d'agents au comportement humain. Cependant, cette architecture possède aussi des limites, notamment en ce qui concerne la modélisation du comportement plus ou moins irrationnel d'individus en situation de crise. Dans cet article, nous identifions un certain nombre de critiques théoriques et de limitations pratiques de l'architecture BDI dans le contexte de la gestion de crise.

1 Introduction

Nos sociétés expérimentent une recrudescence des catastrophes d'origines naturelles (*e.g.* tsunamis) et humaines (*e.g.* attaques terroristes, accident industriels) [19]. L'incapacité à contrôler l'émergence de ces situations s'est transformée en une volonté de les gérer, avec l'idée d'en minimiser les dégâts. Un objectif important est donc l'amélioration des techniques de préparation de la population et de gestion des crises, dont l'une des conditions essentielles est l'accès à des instruments de test.

La modélisation et simulation à base d'agents (MSBA) est une technique venant de l'intelligence artificielle (IA), qui permet, entre autres, la modélisation du comportement humain et sa simulation dans un environnement dont les paramètres peuvent être modifiés. Un système multi-agents (SMA) est créé en modélisant plusieurs agents dans un même environnement. Cette technique permet la création d'interactions entre agents et donc la modélisation de populations. En créant un environnement capable de générer des catastrophes et en le faisant habiter par des agents imitant un comportement humain, il est possible de tester et de comparer différents scénarios sans avoir besoin d'attendre

l'émergence d'un véritable contexte de crise. Par exemple, l'utilisation des systèmes multi-agents pour l'amélioration de la précision des plans d'évacuation est déjà répandue [16, 27] et est un champ actif de la recherche.

La modélisation des agents dans un SMA fait l'objet de questionnements sur le niveau de complexité des agents. Par exemple, on pourra noter la concurrence entre le principe KISS (Keep It Simple, Stupid), introduit par [5], et le principe KIDS (Keep It Descriptive, Stupid), défendu par [17]. Le problème spécifique du niveau de complexité à adopter, lorsqu'il est question de modéliser, le comportement humain a déjà été discuté par le passé [1]. Les auteurs ont analysé plusieurs architectures disponibles pour la modélisation d'agents au comportement humain. Ils concluent que l'architecture BDI (Beliefs, Desires, Intentions) offre des avantages en termes d'adaptabilité, de robustesse, et de programmation abstraite, ce qui la qualifie comme solution intéressante au problème.

L'architecture BDI possède de sérieux atouts comparée à d'autres architectures (automates à états finis, agents réactifs) [1, 3]. Elle n'est cependant pas exempte de critiques et de détracteurs. Ainsi, Georgeff et al. [21] ont identifié en particulier deux manques de l'architecture, l'incapacité à apprendre et à avoir un comportement social. Ils y apportent ensuite chacun leurs réponses, par exemple Pollack affirme que l'architecture BDI, si elle possède ces manques, n'empêche pas la création d'extensions pour y remédier.

Dans cet article, nous souhaitons présenter certaines critiques faites à l'architecture BDI et au modèle dont elle découle, et mettre en lumière des manques de l'architecture quant à la simulation de comportements humains en situation de crise. Notre hypothèse est que l'architecture possède des fondements intéressants, mais qu'elle profiterait grandement d'un apport des sciences sociales, au delà de la psychologie naïve sur laquelle elle est bâtie.

La section 2 introduit l'architecture BDI et la philosophie sur laquelle elle est basée, ainsi que quelques extensions existantes. La Section 3 expose ensuite certaines des critiques théoriques qui peuvent être adressées

*. mael.arnaud@univ-grenoble-alpes.fr

†. carole.adam@univ-grenoble-alpes.fr

‡. julie.dugdale@univ-grenoble-alpes.fr

à cette architecture. La Section 4 analyse des témoignages de victimes d'incendies pour en extraire des limitations pratiques de l'architecture BDI pour la modélisation de comportement en situations de crise. La Section 5 conclut l'article.

2 Modèle et Architecture BDI

L'architecture BDI et le modèle BDI sont deux entités bien distinctes, avec parfois peu de rapport entre elles [14, 8]. L'architecture computationnelle BDI, que nous appellerons a-BDI, est une architecture faite pour créer des agents dits "intelligents" (*i.e.* une entité autonome, qui agit en fonction de son environnement et en accord avec ses buts propres). L'a-BDI a été construite à partir du travail du philosophe Michael Bratman, auquel il est important de se référer pour la formalisation des éléments de l'architecture. Ce travail propose un modèle de l'action humaine, que nous nommerons m-BDI et que nous allons commencer par expliquer.

2.1 Le modèle BDI (m-BDI)

Le m-BDI s'appuie sur une théorie philosophique de la raison pratique. Cette théorie ne s'intéresse à la raison que dans la mesure où elle est appliquée aux actions.

La rationalité instrumentale. Le paradigme de la rationalité instrumentale, auquel souscrit Bratman au travers du m-BDI, postule que la raison n'existe que pour trouver et agencer les actions de manière à ce que l'humain atteigne ses buts. Lorsqu'elle est vue comme un instrument, la raison pratique possède deux fonctions distinctes : 1) la délibération et 2) le raisonnement des moyens et des fins [23]. La délibération est l'activité de décider quel but accomplir, quel désir satisfaire. Le raisonnement des moyens et des fins quant à lui consiste à définir de quelle manière accomplir le but choisi. La rationalité instrumentale a fortement influencé Bratman, et les deux activités qui la composent sont présentes dans le m-BDI.

L'apport de Bratman. Avant Bratman, un modèle croyances-désirs existait. Bratman y a apporté la notion d'Intentions. Dans le m-BDI, la délibération est l'activité qui permet de choisir quels désirs un individu va réaliser, les faisant passer au statut d'intention. Lorsqu'il adopte une intention, l'individu commence à planifier son action. C'est là qu'intervient le raisonnement des moyens et des fins. Ce processus aboutit à un plan d'action, dirigé vers le futur, lié à une intention. Ce plan peut être composé d'actions, de plans, d'intentions et d'incertitudes [11, 12].

2.2 L'architecture BDI (a-BDI)

L'a-BDI reprend les trois catégories d'états mentaux (B, D et I) identifiées dans le m-BDI comme composantes de l'action humaine. Ces trois états mentaux sont expliqués ci-dessous et illustrés dans la figure 1.

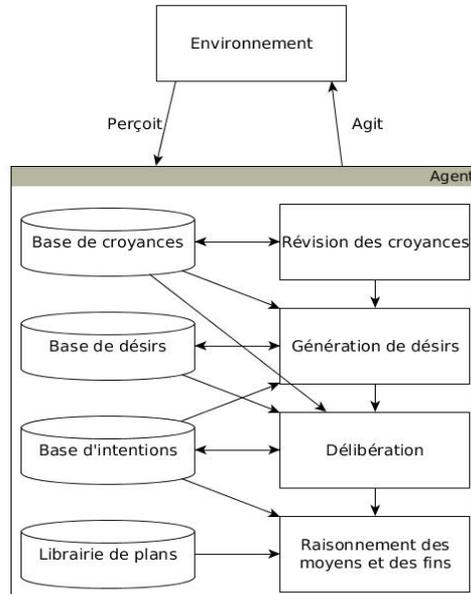


FIG. 1 – Schéma de l'architecture BDI

Les croyances. Elles sont stockées dans une "base de connaissances". Elles représentent le monde tel que l'agent se le représente. Les croyances peuvent venir des perceptions de l'agent ou de règles d'inférence propres à l'agent. Les croyances peuvent être hétéroclites, la même base de croyance pouvant contenir par exemple une croyance sur un état interne et externe (*e.g.* la route N45 est bloquée ; je me sens nauséeux) ou une certitude et une croyance (*e.g.* je suis sûr que la route N45 est bloquée ; je pense que le chien du voisin va m'attaquer).

Les désirs. La communauté liée à l'a-BDI s'y réfère souvent comme à des buts ou des choix. Ils correspondent aux états du monde qu'un agent trouve souhaitables. Les désirs d'un agent sont stockés dans une "base de désirs". Ils n'ont pas besoin d'être consistants entre eux. Les désirs peuvent être intrinsèque à l'agent ou générés par des règles internes qui impliquent d'autres états mentaux (*e.g.* croire que j'ai faim implique que je désire manger).

Les intentions. Elles sont un sous-ensemble des désirs, que l'agent a sélectionnés pour les réaliser. Contrairement aux désirs, les intentions doivent être consistantes entre elles et avec les croyances de l'agent. Les intentions ne sont pas faciles à adopter et ne peuvent pas être facilement abandonnées. Ainsi un agent peut abandonner une intention si et seulement si : 1) il pense qu'elle est impossible à réaliser, ou 2) il pense que son résultat a déjà été accompli. Une règle supplémentaire vient souvent s'ajouter, permettant à l'agent d'abandonner son intention si l'opportunité de satisfaire un désir avec

une plus grande priorité apparaît.

Les plans. Ils sont des séquences de micro et de macro actions. Une micro-action est une action élémentaire (*e.g.* ouvrir une porte), alors qu’une macro-action est une action composée de plusieurs autres (micro ou macro) actions (*e.g.* aller à la cafétéria). Par ailleurs il n’est pas rare dans l’a-BDI (et pour cause, c’est une caractéristique fondamentale du m-BDI) de trouver des macro-actions comportant plusieurs places d’actions ”vides”. Ces actions seront spécifiées en fonction des états mentaux de l’agent lors de la sélection (ou de la révision) du plan.

2.3 Extensions existantes

L’a-BDI est utilisée aujourd’hui depuis plus de quinze ans pour la modélisation de comportements humains. Aussi, de nombreuses limites ont été identifiées [24] et des solutions ont été apportées. Nous présentons ici certaines de ces limites et solutions.

Les émotions. L’impact des émotions sur la prise de décision a été démontré [30] mais n’est pourtant pas pris en charge par l’a-BDI standard. L’expérience de la salade de fruit montre que la tendance à considérer les informations cognitives (*e.g.* la salade de fruit contient moins de sucre) et à faire un choix en conséquence est positivement corrélée avec le niveau de disponibilité des ressources cognitives. Inversement, plus la disponibilité des ressources cognitives est faible, plus l’individu aura tendance à faire un choix basé sur des informations affectives (*e.g.* j’aime le gâteau au chocolat) [29]. L’intégration des émotions à l’a-BDI comme ”un mécanisme de contrôle des moyens d’un agent” [28] est donc importante pour la modélisation du comportement humain, spécialement en situation de crise où l’individu n’a pas accès à toutes ses ressources cognitives. Des formalisations des émotions pour l’architecture BDI ont été réalisées et devraient donc être intégrées à cet effet [2, 31].

Les normes et obligations. Les normes sociales ont été abordées du point de vue des désirs et de la motivation dans l’a-BDI. [14] expliquent que les désirs sont la ”Cendrillon de la trinité BDI” et que leur formalisation logique laisse à désirer... En conséquence, les notions de désir et de but sont souvent confondues. Pour pallier à ce problème, les auteurs proposent de voir le désir non comme un but, mais comme une motivation à atteindre un but. Ils proposent ensuite que d’autres types de motivations puissent exister. Parmi elles, les normes et les obligations. La différence fondamentale entre les désirs et les normes, selon les auteurs, est leur provenance. Les premiers viennent de l’agent lui-même, alors que les seconds viennent de l’extérieur, des relations de l’agent avec d’autres agents et de leurs relations. Les auteurs proposent donc une formalisation logique des nouveaux désirs, normes et buts afin

de créer une architecture plus cohérente et permettant de mieux coller, selon eux, au m-BDI.

3 Critiques théoriques

Certaines des limites de l’a-BDI pour la modélisation du comportement humain ont été résolues, mais d’autres demeurent. Nous pensons notamment que le m-BDI, s’il possède une base philosophique, ignore largement l’apport des sciences sociales à la compréhension de l’action humaine et de ce qui la dirige. Les critiques adressées au BDI dans ce que nous présentons ensuite visent à surligner ce fait, sans toutefois prétendre à l’exhaustivité.

3.1 Des agents rationnels?

Le m-BDI part du principe que l’être humain est rationnellement limité (*i.e.* on considère que l’être humain est un être purement rationnel, mais possède des informations, des ressources cognitives et du temps en quantités limitées). Cependant, ce postulat, en plus d’ignorer toute une partie des découvertes en psychologie [20, 35], n’est habituellement pas correctement intégré à l’a-BDI [8]. Nous nous attacherons ici à la notion de rationalité et de rationalité limitée au sens large (*e.g.* l’individu possède peut-être les informations, mais les possède-t-il dans *toutes* les situations?) et aux critiques qui peuvent être faites au m-BDI et à l’a-BDI sur ces thèmes.

Les jugements subconscients. L’individu selon le m-BDI, ou l’agent construit à partir l’a-BDI, est dirigé par ses intentions, construites à partir de ses désirs, croyances et d’autres intentions. Cependant, rien ne prend en compte les différents niveaux des attitudes mentales (*e.g.* conscient, implicite, subconscient). Par exemple, quelqu’un peut croire fermement ne pas être raciste et, dans le même temps, acquérir un avis négatif sur une personne dès qu’elle la voit, basée sur sa couleur de peau [26]. Cette attitude, courante au demeurant, ne peut avoir lieu que si l’individu croit, quelque part, que les individus possédant une couleur de peau X sont ”mauvais”. Ce qui est parfaitement contradictoire avec la croyance de ne pas être raciste, et donc crée une incohérence logique si ces deux croyances sont placées sur le même plan. Cependant, ce type de croyances généralisatrices et sous-jacentes a sa place dans le processus d’apprentissage humain [6] et est donc à prendre en compte dans la modélisation de comportements humains.

La dissonance cognitive. Arrive lorsqu’un individu maintient deux états cognitifs (*i.e.* des états mentaux) incompatibles [18]. La théorie stipule qu’un individu fera un effort proportionnel à la dissonance expérimentée pour retrouver un état de consonance. Prenons l’exemple d’un individu qui a l’intention de se tenir à un régime alimentaire sans sucre et sans gras. Fatigué après sa journée, il passe devant une boutique

avec un dernier beignet disponible à moitié prix, il l’achète et commence à le manger. Cet état de fait implique qu’un individu puisse tenir deux états mentaux incompatibles (*i.e.* je ne mangerai rien de gras ni de sucré; je vais manger un aliment gras et sucré). Ce qui n’est pas possible dans l’a-BDI, qui requiert une congruence dans la base d’intentions. Il faut aussi que l’agent puisse revenir à un état de consonance cognitive, par : 1) la modification de l’une de ses deux intentions (arrêt du régime ou du repas en cours) ou 2) l’ajout d’états mentaux permettant de compenser la dissonance (croyance que l’on peut faire une entorse de temps en temps, intention d’aller courir pour perdre, etc). La modélisation de la dissonance cognitive, au vu de ce que permet actuellement l’a-BDI, paraît forcée et peu réaliste. Il faut que l’agent 1) décide d’abandonner l’une des deux intentions, 2) s’il s’agit de l’intention initiale (*i.e.* le régime), décide s’il abandonne aussi le désir sous-jacent, 3) s’il n’abandonne pas le désir, acquiert un désir ”compensateur” et, 4) une fois l’intention secondaire accomplie, récupère l’intention initiale depuis le désir. L’impossibilité de tenir deux intentions incompatibles oblige à faire un va-et-viens incertain entre les désirs et les intentions, qui ”joue” plus avec les règles du m-BDI qu’il ne les respecte. Ce qui, à notre sens, met en lumière l’une des grandes faiblesses du m-BDI.

3.2 Des agents sociaux ?

L’une des critiques couramment faites à l’a-BDI porte sur son incapacité à évoluer dans un contexte social (*e.g.* une simulation multi-agents). Dans cette partie, nous présentons le modèle de Weber comme piste de réflexion pour pallier ce problème, ainsi qu’une critique adressée à l’a-BDI, porteuse d’une solution pour sociabiliser les agents.

Weber et l’action sociale. Max Weber [34] a catégorisé l’action sociale et a proposé un modèle influent. La prise en compte de ce modèle et de ses descendants ajouterait une profondeur à l’a-BDI, absente du m-BDI. Premièrement, le modèle de Weber comporte deux types d’actions sociales non rationnelles : 1) l’action affective (dirigée par les émotions) et 2) l’action traditionnelle (dirigée par l’habitude) [34]. Deuxièmement, Weber distingue, en plus de la rationalité instrumentale, la rationalité de valeur. La première est pour lui une sorte de sous-spécification des buts afin d’atteindre un but final plus élevé (*e.g.* finir ses études, pour trouver du travail, pour avoir de l’argent, etc.), qui correspond à peu près à la rationalité instrumentale dont s’inspire Bratman. La seconde tend vers l’accomplissement d’un but qui se suffit à lui-même ou n’est pas atteignable directement (*e.g.* être juste, aller au paradis). Ce second type de rationalité répond à une notion de légitimité chez l’agent, ce qui entraîne des règles différentes de la rationalité instrumentale

(*e.g.* un individu va arrêter de poursuivre une intention s’il vient à croire qu’elle est impossible à réaliser, mais peut-être pas s’il vient à penser qu’elle est contraire à l’une de ses valeurs). L’ajout d’actions sociales basées sur l’affect, l’habitude et sur une rationalité de valeurs seraient donc un ajout conséquent au BDI, dans l’optique de modéliser des agents sociaux.

Des agents (a)sociaux. Pour citer une critique récente et plus véhémente de l’a-BDI, [15] expliquent que l’implémentation de l’architecture n’est pas entièrement fondée sur les principes de Bratman et que l’idée d’action humaine derrière l’a-BDI est simpliste. Les auteurs ont par ailleurs un point de vue peu répandu dans la communauté liée à l’a-BDI, quoique parfois soulevé [25] : ils défendent l’idée selon laquelle faire des ajouts à l’a-BDI ne peut être suffisant, dans la mesure où l’architecture diffère trop de la manière dont peut penser un être humain pour être efficace. Ils proposent donc une refonte totale de l’a-BDI, basée sur de nouveaux éléments cognitifs, beaucoup plus ”sociaux”. On retrouve notamment une discussion tournant autour de la notion de ”paysage social”, chère à plusieurs sociologues, dont Pierre Bourdieu [9], ainsi qu’un élément fondamental de l’action sociale de Weber : la notion de valeur.

4 Limitations pratiques

En plus de ces critiques théoriques, l’a-BDI a aussi des limites pratiques pour la modélisation de certaines situations. Nous voulons ici en exposer certaines à partir d’une étude de cas.

Le samedi 7 février 2009, au sud-est de l’Australie, une série dévastatrice d’incendies de forêt a fait 173 morts et des centaines de blessés. La politique en termes d’incendies était alors ”prepare, defend or leave early”, impliquant que les individus sont informés (parfois formés) sur la défense de leur propriété contre le feu ; les pompiers ne peuvent pas être présents sur chaque incendie. Nous nous sommes intéressés aux récits de cent personnes [33] rescapées ou proches de personnes décédées à propos de cette journée. Dans ces récits, certaines personnes racontent la manière dont elles se sont mises en danger. Dans cet article nous présentons des exemples concrets à partir de 3 de ces entretiens, qui montrent certains comportements difficiles à capturer avec le m-BDI et remettent en question une partie de l’a-BDI.

4.1 Engagement dans les intentions

Jim Baruta vit avec sa femme et ses deux enfants dans une maison sur une grande propriété que lui et sa femme possèdent à la campagne. Sa femme et ses enfants n’étaient pas à la maison le 7 Février. Jim avait décidé de défendre sa maison contre le feu, s’il devait y en avoir ce jour-là. Cependant, il a dû se rendre en ville pour

son travail et n'a pas pu en partir avant 15h. Un incendie faisait alors rage près de sa propriété et le long de la route la reliant à son lieu de travail. Jim Baruta savait que "être sur les routes [lors d'un incendie] est la dernière chose à faire". Il avait toutefois l'intention de défendre sa propriété et sa maison. Il a donc outrepassé les avertissements de sa femme, les indices visuels sur la route indiquant qu'il était en danger, et ses connaissances préalables, afin de réaliser cette intention. Il survivra de justesse à cette expérience, sans parvenir à sauver sa maison.

Ce récit pose le problème, bien connu, de l'**engagement** qu'un agent doit avoir dans ses **intentions**. Cohen et Levesque ont étudié ce problème en se posant la question suivante : sous quelles conditions un agent peut-il et doit-il abandonner son intention pour être rationnel ? [13]. Ils présentent des règles d'engagement envers une intention qu'ils jugent trop rigides, nommée "intention fanatique" (*i.e.* une intention que l'agent ne peut abandonner que s'il la pense déjà réalisée ou irréalisable). Par exemple, si je suis en train d'éplucher ma banane et qu'on m'annonce que ma fille a eue un accident, il serait étrange que je termine d'éplucher sereinement ma banane avant d'aller voir comment va ma fille. L'idée des auteurs est donc de rendre une intention dans l'a-BDI plus facile à abandonner, afin d'obtenir un comportement général plus équilibré en terme de rationalité (*i.e.* ce qui est important pour l'agent doit avoir une plus grande priorité dans ses actions). Or, pour modéliser le comportement de Jim Baruta lors de cette journée, il faudrait non pas rendre l'intention plus facile, mais plus difficile à abandonner. Nous avons besoin non seulement des règles d'abandon de l'intention fanatique, mais avons en plus besoin d'un comportement inhibiteur de la perception de la situation. L'agent doit être tellement pris par son intention, qu'il est incapable d'analyser correctement sa situation et de la mettre en résonance avec ses connaissances préalables. Cette incapacité doit l'empêcher, malgré toutes les informations à sa disposition, de former les croyances que son intention est impossible à réaliser et que ses actions vont à l'encontre d'une intention plus importante que celle de défendre sa maison : son intention de rester en vie.

4.2 Mise à jour des croyances

John Bennett possède une maison à la campagne. Samedi 7 Février, il s'était préparé et avait préparé sa maison à faire face à un incendie. Il était parfaitement confiant en ses préparations et a passé une grande partie de la journée à essayer d'anticiper la direction du feu. John possédait la croyance qu'un feu ne pouvait, en aucun cas, venir d'une autre direction que celle du vent. Il a donc essayé de récupérer des informations concer-

nant un incendie provenant de cette direction. Dans l'après-midi, deux événements auraient pu lui fournir l'information que le feu viendrait de l'ouest : 1) un appel d'un ami lui disant de se préparer car le feu arrivait sur lui depuis le sud-ouest, et 2) des conducteurs exhibant un comportement de fuite paniquée à l'extérieur de sa propriété. John Bennett a rejeté ces deux indices sur la base de sa perception du vent et de sa croyance que le feu ne pourrait pas venir de l'ouest ou du sud-ouest en présence d'un vent du nord. Lorsqu'un mur de feu apparut au sud-ouest de sa propriété, il eut du mal à y croire mais fut tout de même dans l'obligation de mettre à jour ses croyances.

Ce témoignage pose donc le problème **de la source et de la teneur des informations**. Les informations pertinentes peuvent être ignorées sur la base de croyances préalables. Différentes règles, selon lesquelles une croyance peut ou non prendre la place d'une autre, ne sont pas incluses dans l'a-BDI. Ainsi des biais cognitifs peuvent en particulier influencer cette mise à jour des croyances [4]. La mise à jour purement rationnelle des croyances paraît normale pour la création d'agents artificiels, mais est insuffisante pour la modélisation du comportement humain.

4.3 Changement de contexte

Alice Barber vit seule à la campagne. Sa maison se situe au fond d'un cul de sac. Sa protection contre le feu est un mélange entre une bonne préparation, rendue insuffisante par sa passion pour le jardinage, qui l'empêche d'enlever les végétaux entourant sa maison, et un plan d'action insuffisant, augmenté par ses compétences personnelles en matière de prévention d'incendie. Alice Barber possède initialement l'intention de quitter sa maison et de s'enfuir pour se mettre à l'abri dans des lieux qu'elle a préalablement repérés. Cette idée est au coeur de son plan d'évacuation. Cependant, lorsque son frère l'appelle, Alice lui fait part de son intention de rester pour combattre le feu et défendre sa maison. Peu de temps après, après avoir vu sa voisine s'enfuir, elle décide à nouveau de s'en aller, ce qu'elle finira par faire.

Ce témoignage pose, en apparence, le problème inverse de celui de Jim Baruta. L'engagement envers ses intentions paraît faible et pourrait être modélisé grâce à une a-BDI possédant des règles pour faire varier le niveau d'engagement envers les intentions. Cependant une seconde lecture est possible selon laquelle Alice Barber n'a pas, lorsque son frère l'a appelée, abandonné l'intention de s'enfuir, mais s'est inscrite dans un **contexte différent**. Elle est passée du contexte de la femme seule, préparant sa survie face à un grand incendie, à celui de la sœur dans une situation offrant

une opportunité de faire la preuve de son courage. Prise dans ce second contexte, elle a formé l'intention de défendre sa maison, s'appuyant sur des croyances et des désirs déconnectés du premier contexte. Mais les éléments composant le contexte s'effacent lorsqu'elle raccroche le téléphone et, lorsqu'elle voit partir sa voisine, Alice Barber se réinscrit dans le premier contexte, avec ses croyances, désirs et intentions propres. La situation est alors critique et il faut agir vite, ce qui ne lui permet pas de déceler l'incohérence entre les croyances, désirs et intentions des deux contextes.

5 Conclusion

Nous avons dans cet article expliqué pour quelles raisons l'architecture BDI est intéressante afin de répondre au problème de la modélisation d'agents devant posséder un comportement humain. Nous avons expliqué l'architecture et donné quelques clés quant à ses racines philosophiques, qui font une grande partie de sa force. Cependant, nous avons montré que le modèle BDI fait fi de l'apport des sciences sociales à la compréhension de l'action humaine et que, par conséquent, l'architecture BDI qui en découle possède des difficultés à relever le défi qui nous occupe, malgré les efforts déjà déployés pour l'étendre.

D'un point de vue pratique, il existe cependant des outils pour développer des modèles de comportement humain à base d'agents BDI, enrichis de divers aspects psychologiques. Ainsi la plateforme GAMA [22] est une plateforme pour la modélisation et la simulation à base d'agents. Cette plateforme dispose d'une architecture BDI pour les agents [32] mais aussi d'émotions [10] et de liens sociaux [7].

Le travail futur, à notre sens, qu'il s'inscrive dans la création d'un nouveau modèle pour la création d'agents au comportement humain ou dans l'extension de l'architecture BDI, se doit de prêter une plus grande attention aux sciences sociales, notamment à l'étape de formalisation logique.

Références

- [1] C. Adam and B. Gaudou. BDI agents in social simulations: a survey. *Knowledge Engineering Review*, 31(2002):1–27, 2016.
- [2] C. Adam, A. Herzig, and D. Longin. A logical formalization of the OCC theory of emotions. *Synthese*, 168(2):201–248, 2009.
- [3] C. Adam, P. Taillandier, and J. Dugdale. Comparing agent architectures in social simulation: Bdi agents versus finite-state machines. In *Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-50)*, 2017.
- [4] M. Arnaud, C. Adam, and J. Dugdale. The role of cognitive biases in reactions to bushfires. In *ISCRAM*, Albi, May 2017.
- [5] R. Axelrod. *The complexity of cooperation: agent-based models of conflict and cooperation*. Princeton University Press, 1997.
- [6] M. R. Banaji, R. Bhaskar, D. L. Schacter, and E. Scarry. Implicit stereotypes and memory: The bounded rationality of social beliefs. *Memory, brain, and belief*, page 139, 2000.
- [7] J. Bangate, J. Dugdale, C. Adam, and E. Beck. A review on the influence of social attachment on human mobility during crises. In *ISCRAM*, Albi, May 2017.
- [8] G. Boella. Decision theoretic planning and the bounded rationality of BDI agents. Technical report, AAI, 2002.
- [9] P. Bourdieu. *Raisons pratiques: sur la théorie de l'action*. Points (Éditions du Seuil): Essais. Seuil, 1994.
- [10] M. Bourgeois, P. Taillandier, and L. Vercouter. An Agent Architecture Coupling Cognition and Emotions for Simulation of Complex Systems. In *SSC*, 2016.
- [11] M. Bratman. Two Faces of Intention. *The Philosophical Review*, 3, 1984.
- [12] M. Bratman. *Intention, plans, and practical reason*, chapter Introduction. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1987.
- [13] P. R. Cohen and H. J. Levesque. Intention is choice with commitment. *Artificial Intelligence*, 42(2-3):213–261, 1990.
- [14] F. Dignum, D. Kinny, and L. Sonenberg. From desires, obligations and norms to goals. *Cognitive Science Quarterly*, 2(3-4):405–427, 2002.
- [15] F. Dignum, R. Prada, and G. J. Hofstede. From Autistic to Social Agents. *Proceedings of the 13th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2014), Paris, France, May 5-9, 2014*, pages 1161–1164, 2014.
- [16] J. Dugdale, N. Bellamine-Ben Saoud, B. Pavard, and N. Pallamin. Simulation and emergency management. In *Information Systems for Emergency Management*, Advances in Management Information Systems. Sharp, 2010.
- [17] B. Edmonds and S. Moss. From kiss to kids - an 'anti-simplistic' modelling approach. In *Multi-Agent Based Simulations Conference*, pages 130–144, 2004.
- [18] L. Festinger. *A Theory of Cognitive Dissonance*. Stanford University Press, June 1957.
- [19] C. for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). The international disaster database. <http://www.emdat.be/database>. Accessed: 2017-03-28.
- [20] S. Freud. *The Unconscious*. Penguin Modern Classics. Penguin Books Limited, 2005.
- [21] M. Georgeff, B. Pell, M. Pollack, M. Tambe, and M. Wooldridge. The belief-desire-intention model of agency. *Intelligent Agents V: Agents Theories, Architectures, and Languages. 5th International Workshop, ATAL'98.*, pages 1–10, 1998.
- [22] A. Grignard, P. Taillandier, B. Gaudou, D. A. Vo, N. Q. Huynh, and A. Drogoul. Gama 1.6: Advancing the art of complex agent-based modeling and simulation. In B. T. R. S. F. D. M. K. P. G. Boella, E. Elkind, editor, *Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA)*, volume 8291 of *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, pages 117–131. Springer, Dunedin, New Zealand, 2013.

- [23] N. Kolodny and J. Brunero. Instrumental rationality. In E. N. Zalta, editor, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Metaphysics Research Lab, Stanford University, winter 2016 edition, 2016.
- [24] E. Norling. Folk psychology for human modelling: Extending the bdi paradigm. In *Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS)*, 2004.
- [25] E. Norling. *Modelling human behaviour with BDI agents*. PhD thesis, RMIT Melbourne, 2009.
- [26] S. A. Ottaway, D. C. Hayden, and M. A. Oakes. Implicit Attitudes and Racism: Effects of Word Familiarity and Frequency on the Implicit Association Test. *Social Cognition*, 19(2):97–144, 2001.
- [27] X. Pan, C. Han, K. Dauber, and K. Law. A multi-agent based framework for the simulation of human and social behaviors during emergency evacuations. *AI and society*, 22:113–132, 2007.
- [28] D. Pereira, E. Oliveira, N. Moreira, and L. Sarmiento. Towards an Architecture for Emotional BDI Agents. *2005 Portuguese Conference on Artificial Intelligence*, pages 40–46, 2005.
- [29] B. Shiv and A. Fedorikhin. Hear and Mind in Conflict: The Interplay of Affect and Cognition in Consumer Decision Making. *Journal of Consumer Research*, 26(3):278–292, 1999.
- [30] P. Slovic, M. Finucane, E. Peters, and D. G. Macgregor. The Affect Heuristic. In T. Gilovich, D. Griffin, and D. Kahneman, editors, *Heuristics and Biases, The Psychology of Intuitive Judgment*, pages 397–420. Cambridge University Press, 2002.
- [31] B. Steunebrink, M. Dastani, and J.-J. Meyer. A formal model of emotions: Integrating qualitative and quantitative aspects. In *ECAI'08*, pages 256–260. IOS Press, 2008.
- [32] P. Taillandier, M. Bourgais, P. Caillou, C. Adam, and B. Gaudou. A situated bdi agent architecture for the gama modelling and simulation platform. In *Multi-Agent Based Simulation (MABS) workshop @ AAMAS*. MABS, 2016.
- [33] R. Teague. Final report - vol. iv : the statements of lay witness. Technical report, 2009 Victorian Bushfires Royal Commission, 2009. Accessed 2016-12-20.
- [34] M. Weber. The nature of social action. In W. G. Runciman, editor, *Selections in translation*. Cambridge University Press, 1991.
- [35] T. D. Wilson. *Strangers to ourselves: discovering the adaptive unconscious*. Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Mass. [u.a.], 2002.

Gérer les premières impressions de compétence et de chaleur à travers des indices non verbaux.

B. Biancardi¹

A. Cafaro¹

C. Pelachaud¹

¹ CNRS ISIR, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France

4, Place Jussieu, 75005 Paris, France

biancardi@isir.upmc.fr, cafaro@isir.upmc.fr, pelachaud@isir.upmc.fr

Résumé

Dans le contexte du projet IMPRESSIONS, nous avons analysé un corpus d'interactions humain-humain avec des annotations discrètes et continues, pour étudier les indices non verbaux associés aux impressions de chaleur et compétence. Les résultats préliminaires montrent l'association entre les variations de la compétence perçue (augmentation ou diminution) et le sourire, les types de gestes et certaines positions de repos des bras.

Mots Clef

Premières Impressions, Chaleur, Compétence, Indices non-verbaux.

Abstract

In the context of IMPRESSIONS project, we analyzed a corpus of human-human interactions with both discrete and continuous annotations, in order to investigate non-verbal cues associated to warmth and competence impressions. Preliminary results show an association between perceived competence variations (increase or decrease) and smile, type of gestures and some arms rest poses.

Keywords

First Impressions, Warmth, Competence, Nonverbal Cues.

1 Introduction

Dans toute rencontre, les premiers moments sont critiques et les impressions que nous formons sur les autres comptent. Goffman et al. [12], parlent de *gestion des impressions* (c'est-à-dire, le processus par lequel les individus tentent de contrôler les impressions que les autres forment sur eux) et de *formation des impressions* (c'est-à-dire, le processus par lequel les individus perçoivent, organisent et finalement intègrent l'information pour former des impressions cohérentes sur les autres). Au cours d'une première rencontre, les individus peuvent planifier soigneusement comment se présenter visuellement (par exemple, en choisissant quels vêtements porter, ou quand sourire), mais

il peut être difficile d'avoir un contrôle total sur tous les éléments non-verbaux lors de l'interaction [10].

En observant ces derniers indices, après seulement quelques secondes, nous pouvons recueillir avec une précision remarquable une variété d'information, y compris, par exemple, l'orientation sexuelle [2], la personnalité et les attitudes interpersonnelles [20]. Au-delà de ces caractéristiques, un rôle important est joué par les deux dimensions fondamentales de la cognition sociale, la chaleur et la compétence (C&C) [11].

Un agent conversationnel animé (ACA) est un personnage anthropomorphe virtuel capable d'interagir avec l'utilisateur à travers des gestes, des expressions faciales et de la parole [7]. Les mêmes processus décrits ci-dessus surviennent aussi lors des premières interactions entre les humains et les ACAs, avec un impact sur l'expérience globale de l'utilisateur et la crédibilité de l'agent lors d'une interaction suivante. Par exemple, les premières impressions ont un impact sur la volonté de l'utilisateur de continuer l'interaction [6].

Dans cet article, nous présentons notre travail dans le cadre du projet IMPRESSIONS, un projet ANR en collaboration avec l'Université de Genève. L'objectif du projet est de construire un ACA capable de générer la meilleure première impression possible auprès de l'utilisateur, afin de l'engager de manière efficace dans une interaction. Notre hypothèse est que ce but sera réalisé en construisant une boucle affective qui relie le comportement de l'ACA aux réactions émotionnelles ressenties de l'utilisateur (détectées en analysant ses signaux physiologiques), en temps réel. Construire une telle boucle d'interaction permet d'entraîner un ACA pour qu'il puisse gérer ses premières impressions sur les utilisateurs. Le cas d'utilisation du projet étant un guide virtuel dans un musée, ce rôle exige une bonne gestion des impressions de C&C.

Dans cet article, nous décrivons nos premières étapes dans la construction d'un agent capable de gérer la première impression que l'utilisateur peut avoir sur lui. Nous nous concentrons sur l'analyse du comportement non-verbal humain à partir d'un corpus d'interaction humain-humain

médiée, en regardant les indices suscitant des impressions de différents degrés de C&C (ces dimensions sont décrites dans la Section 2). Nous avons annoté un corpus existant en 2 étapes : des annotations continues de la compétence perçue (nous prévoyons faire la même chose pour la chaleur dans un avenir très proche) et des annotations discrètes des comportements non verbaux, tels que les gestes, les positions de repos des bras et le sourire. Nous avons effectué une analyse préliminaire sur ces données et nous avons trouvé une association entre la compétence perçue et des indices non verbaux (section 4.2). Les résultats encouragent d'autres recherches et seront utilisés pour établir un modèle de comportement pour l'ACA.

2 Contexte

Au cours des dernières décennies, de nombreux auteurs ont étudié les dimensions fondamentales de la cognition sociale, au niveau soit de la perception de la personne [20] soit des stéréotypes de groupe [11]. Selon Abele et Wojciszke [1], les différentes étiquettes utilisées par des chercheurs se recoupent sur deux types de contenu de base : ce qu'ils appellent *communalité* se réfère aux compétences sociales [20], intentions perçues [11] et caractéristiques altruistes, alors que l'*agentisme* se réfère aux compétences intellectuelles [20], la capacité perçue de promulguer les intentions [11] et des caractéristiques égocentrées. Ici nous choisissons la terminologie de chaleur et compétence ; le premier terme incluant des traits comme la convivialité, la fiabilité, la sociabilité ; le dernier terme comprenant des traits comme l'intelligence, l'agentivité et l'efficacité.

Il existe deux principaux types de relation affectant la façon dont C&C sont mutuellement perçues. Rosenberg et al. [20] ont trouvé une corrélation positive entre C&C, appelée l'*effet d'halo* : lorsqu'une personne est décrite par des informations sur une seule dimension (chaleur ou compétence), les jugements à propos de l'autre dimension (non manipulée) tendent à aller dans la même direction que la variable manipulée.

Cependant, d'autres études (e.g., [13]) ont trouvé une relation négative entre C&C, appelée l'*effet de compensation*. Dans ce cas, dans le contexte d'une comparaison impliquant deux groupes, quand l'un des deux groupes est jugé comme plus élevé sur l'une des deux dimensions fondamentales (par exemple, la compétence) l'autre groupe est perçu comme supérieur à l'autre dimension (par exemple, la chaleur).

Plus récemment, l'*effet de compensation* a été démontré également en l'absence d'un contexte comparatif explicite, c'est-à-dire sans évoquer une comparaison explicite avec une autre cible ([14] l'appellent l'*effet d'amplification*). Dans toutes ces études, les impressions de chaleur et/ou compétence ont été induites en utilisant des descriptions de traits ou de comportements, toujours dans un format écrit. Nous visons à déterminer si ces relations entre C&C s'appliquent également lorsque les impressions sont induites par des comportements non verbaux.

Récemment, certaines études ont analysé le rôle de C&C dans l'interaction humain-ACA ; nous en décrivons brièvement les résultats les plus pertinents. Niewiadomski et al. [19] ont constaté que les jugements sur la crédibilité et l'efficacité d'un agent sont plus positifs lors de l'utilisation de comportements multimodaux par rapport à une seule modalité (verbale ou non verbale). De plus, les jugements de crédibilité sont corrélés positivement à C&C, avec la plus grande taille d'effet pour les jugements de chaleur (ce qui correspond à l'idée d'une primauté des jugements de la chaleur sur la compétence).

Ces résultats soulignent l'influence de C&C sur la crédibilité de l'agent et supportent l'hypothèse selon laquelle, en ce qui concerne la cognition sociale, les gens utilisent le même modèle pour juger les agents virtuels et les humains. Bergmann et al. [4] ont étudié la perception de C&C dans des conditions différentes en manipulant l'apparence de l'agent et la présence ou l'absence de gestes coverbaux ; ils ont également étudié si les premières impressions peuvent changer après une deuxième expérience plus longue. Ils ont découvert que l'aspect humanoïde (par rapport à un robot) donne des impressions de chaleur plus stables, alors que les gestes renforcent les jugements de compétence.

Nguyen et al. [18] ont été les premiers à développer un modèle de calcul pour C&C, en utilisant une méthodologie itérative en utilisant la théorie du théâtre, de l'animation et de la psychologie, des avis d'experts, des tests d'utilisateurs et des commentaires. Plusieurs vidéos d'acteurs jouant des combinaisons de différents degrés de C&C ont été analysées par des experts en termes de gestes, d'utilisation de l'espace et de regard, afin d'extraire un ensemble de règles à encoder dans un agent virtuel. Ce processus a été répété jusqu'à atteindre une satisfaction unanime ; un test d'évaluation a montré que les utilisateurs ont exactement reconnu les dimensions représentées.

Dans le travail décrit dans cet article, nous considérons plus d'indices que seulement les gestes coverbaux, comme par exemple les positions de repos et le sourire, et nous proposons une méthodologie qui utilise des vidéos d'interactions naturelles et des annotations à la fois discrètes et continues.

3 Le Corpus

Nous avons exploité une partie de la base de données NoXi¹, un corpus d'interactions naturelles entre dyades de personnes dans un contexte de conversation entre un expert et un débutant. Le participant expert est censé connaître un ou plusieurs sujets d'intérêt pour les deux participants, alors que le débutant est censé être prêt à discuter et à récupérer des informations à propos de ce sujet spécifique. Étant donné que notre but est d'étudier les premières impressions et, à l'étape actuelle, les indices comportementaux de la compétence, nous avons concentré nos analyses sur les vidéos de l'«expert», considérant seulement les 5 premières minutes de l'interaction. Nous nous sommes concentrés uniquement sur la modalité visuelle, laissant de

1. NoXi website : <http://nox.aria-agent.eu/>



FIGURE 1 – Exemples de types de gestes : (a) iconique, (b) déictique, (c) métaphorique, (d) bâton, (e) objet-adaptateur, (f) auto-adaptateur.

côté l’audio, y compris le contenu du discours et la prosodie. Pour chaque annotateur, nous avons rejeté la première vidéo annotée afin d’éviter tout biais en raison du manque d’expérience des annotateurs avec l’outil d’annotation. Au total, 14 vidéos ont été annotées avec des experts discutant de différents sujets (par exemple les voyages, les jeux-vidéos et les recettes de cuisine).

Pour annoter les vidéos, nous avons utilisé l’outil d’annotation NOVA ((Non)Verbal behaviour Annotation), développé par l’Université d’Augsbourg [3], qui permet de gérer des annotations de type discrète et continue.

3.1 Annotations Discrètes

Les annotations discrètes ont été collectées à deux moments différents, à une distance de quelques mois, par un même annotateur. Un niveau élevé d’accord entre les deux sessions a été trouvé (Cohen’s Kappa >0.6 pour chaque vidéo, dont le 29% >0.8 , indiquant un accord presque parfait). Les annotations discrètes sont les types de gestes, la position de repos des bras et le sourire.

Typologie des gestes. En combinant les taxonomies proposées par [17] et [5], nous avons divisé les gestes en 3 groupes principaux. Le Tableau 1 résume la classification. Les deux premières catégories incluent des gestes exécutés lors de l’expression verbale. Ils sont émis uniquement pendant le discours, et par le locuteur. Les gestes idéationnels, en plus d’être liés au contenu sémantique du discours, ne sont pas répétitifs; ils sont plus complexes ayant des formes variables. Les bâtons ne sont pas liés au contenu sémantique; leur forme est plus simple; leur fonction est essentiellement rythmique. La dernière catégorie, les adaptateurs, peut se produire à tout moment de la conversation et peut être effectuée à la fois par l’auditeur et l’orateur, mais elle n’est pas connectée au discours.

Selon McNeill [17], les idéologiques incluent :

Iconiques : ils montrent, sous leur forme et modalité d’exécution, des aspects concrets de la même scène que ce que le discours présente. Ils sont perceptivement semblables au phénomène dont on parle.

Métaphoriques : ils sont similaires aux gestes iconiques dans la mesure où ils font référence à une image visuelle; cependant, les images auxquelles ils se rapportent concernent des concepts abstraits.

Déictiques : ils sont des gestes de pointage.

Des exemples de différents types de gestes sont présentés dans la Figure 1.

TABLEAU 1 – Typologies de gestes avec leurs définitions.

Bâtons	des mouvements simples, répétitifs et rythmés qui ne présentent aucune relation évidente avec le contenu sémantique du discours.
Idéationnels	des gestes complexes non répétitifs liés au contenu sémantique du discours.
Adaptateurs	manipulations soit de soi-même, soit d’objets; souvent, ils peuvent révéler des informations (par exemple, que le locuteur est nerveux, mal à l’aise).

TABLEAU 2 – Positions de repos avec leurs définitions.

bras_derrière	les bras sont derrière le dos
bras_bas	les bras sont étendus le long du corps
bras_croisés	un bras est placé sur l’autre en face du corps, de sorte que chaque main est sur le coude opposé
main_poche	une main est placée dans la poche du pantalon, l’autre ne faisant aucun geste
main_hanche	une main est placée sur la hanche correspondante, l’autre ne faisant aucun geste
mains_croiséesbas	les bras sont étendus, les mains croisées au niveau centre-bas
mains_croiséesmilieu	semblable aux bras_croisés, mais seulement les mains sont croisées, au niveau centre-centre

Positions de repos des bras. Lorsque l’expert ne faisait pas de gestes (soit en parlant soit en écoutant le débutant), ses positions de repos ont été annotées. Nous avons tenu compte seulement des positions de repos trouvées dans au moins 2 vidéos, comme reportées dans le Tableau 2 (un exemple de chaque pose est montré dans la Figure 2).

3.2 Annotations Continues

Dans la littérature citée dans la section 2, la compétence a été décrite en utilisant une liste de traits, plutôt qu’en donnant une définition unique. En effet, la compétence est un concept difficile à définir, car sa signification varie selon le contexte d’application. Par exemple, nous pouvons considérer la compétence cognitive (connaissance, intelligence abstraite et expérience), la compétence fonctionnelle (compétences, précision et rapidité dans l’exécution d’une tâche) et la compétence sociale. Par rapport à notre cadre d’application, nous avons choisi de considérer la compétence cognitive.

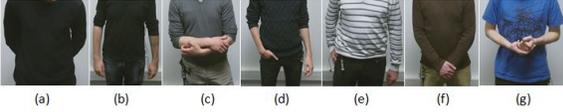


FIGURE 2 – Exemples de positions de repos : (a) bras_derrière, (b) bras_bas, (c) bras_croisés, (d) main_poche, (e) main_hanche, (f) mains_croiséesbas, (g) mains_croiséesmilieu.

Par conséquent, pendant les 5 premières minutes de chaque vidéo, on a demandé à deux annotateurs d’annoter le niveau de compétence de l’expert, défini comme «combien il semble compétent et expert sur le sujet dont il parle», en utilisant un outil dans NOVA similaire à GTrace [9] (voir un exemple de l’interface dans la Figure 3).

L’audio des vidéos a été désactivé, afin de prévenir tout biais du fait du contenu verbal de l’expert, et parce que pour l’instant nous nous concentrons sur les indices non verbaux.

14 vidéos ont été considérées pour les analyses, pour un total de 4200 secondes d’annotations, 100 par seconde, dans une fourchette entre 0 et 1.

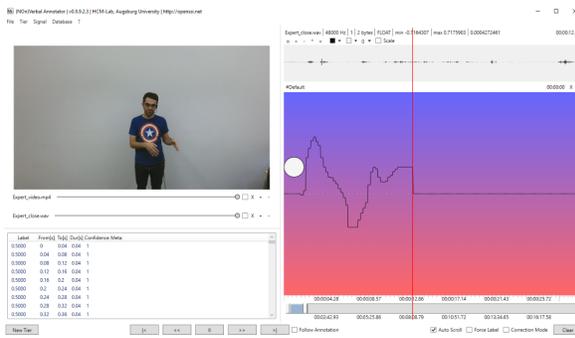


FIGURE 3 – Une capture d’écran de la tâche d’annotation continue en utilisant NOVA. Grâce au mode d’annotation en temps réel, un bouton blanc est affiché à gauche de la piste et seule la valeur correspondant à la position de la reproduction (marqueur rouge) suit le mouvement vertical de la souris (la position horizontale de la souris est ignorée). La tâche est simple car elle ne nécessite pas de maintenir appuyé le bouton droit de la souris.

4 Analyse des Données

4.1 Prétraitement

Les annotations continues ont été filtrées en utilisant la technique de moyenne glissante. Pour faire face au *décalage de réaction*, c’est-à-dire le délai entre le moment où l’impression est formée et l’action de l’annotation [16], les annotations continues ont été décalées de 2s, à décalage raisonnable selon Marioory et al. [16]. Par conséquent, nous

avons suivi l’approche proposée par [9] et appliquée par [8], c’est-à-dire que nous nous sommes concentrés sur l’accord relatif sur les variations de compétences : plateau, augmentation et diminution. Les plateaux ont ensuite été transformés en type de variation juste avant eux, de sorte que chaque variation se termine lorsque la variation inverse commence. La Figure 4 montre un exemple de variation de compétence.

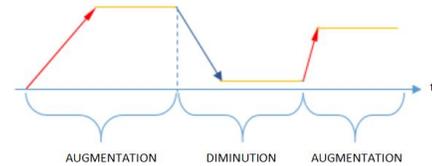


FIGURE 4 – Exemple de variation de compétence. En rouge l’augmentation, en jaune le plateau et en bleu la diminution. Après la conversion des plateaux, la fenêtre d’augmentation (ou diminution) commence par une augmentation (diminution), ne change pas en présence de plateaux et se termine quand une diminution (augmentation) apparaît.

Pour les analyses suivantes, nous avons pris en compte les fenêtres temporelles où les deux annotateurs sont d’accord sur le type de variation de compétence exprimé par l’«expert». Ce prétraitement a donné un total de 2202s de vidéos (220214 annotations).

4.2 Analyses Préliminaires et Résultats

Nous avons calculé les fréquences des types de gestes, des positions de repos et des sourires, dans toutes les vidéos. Nous avons d’abord analysé la présence d’une association entre les variations de compétence et chaque catégorie séparément, puis nous avons examiné les interactions entre le sourire et les gestes, et entre le sourire et les positions de repos (les gestes et les positions de repos s’excluent mutuellement).

Afin d’étudier la présence d’associations parmi les variables, nous avons calculé les *Odds Ratios* (ORs), qui représentent les chances qu’un résultat se produira compte tenu d’une exposition particulière, par rapport à la probabilité que le résultat se produise en l’absence de cette exposition. Dans notre cas, ils représentent les chances qu’une augmentation (ou une diminution) de la compétence se produira en raison d’un stimulus (type de geste, position de repos, sourire ou interaction de ceux-ci) par rapport à la probabilité de la diminution (ou augmentation) de la compétence se produisant en l’absence de ce stimulus. Un résumé de tous les *Odds Ratios* calculés se trouve dans les Tableaux 3 and 4.

Association entre les variations de compétence et les types de gestes. Comparée à l’absence de gestes (c’est-à-dire en position de repos), la présence de gestes est associée

GESTE	OR aug/dim	OR dim/aug
Idéationnels	2 [1.93,2.08]	0.5 [0.48,0.52]
Bâtons	0.65 [0.61,0.69]	1.53 [1.44,1.62]
Adaptateurs	0.55 [0.53,0.57]	1.82 [1.75,1.9]

TABLEAU 3 – Odds Ratios pour les gestes, avec leurs intervalles de confiance entre parenthèses. En bleu sont les gestes associés à une diminution de compétence, en rouge ceux associés à une augmentation de compétence.

Rest pose	OR inc/dec	OR dec/inc
bras_derrière	0.58 [0.51,0.66]	1.71 [1.51,1.94]
bras_bas	1.18 [1.15,1.21]	0.84 [0.82,0.87]
bras_croisés	0.17 [0.16,0.18]	5.87 [5.41,6.37]
main_poche	2.07 [1.99,2.16]	0.48 [0.46,0.50]
main_hanche	0.57 [0.55,0.59]	1.76 [1.7,1.82]
mains_croiséesbas	2.81 [2.7,2.94]	0.36 [0.34,0.37]
mains_croiséesmilieu	0.68 [0.66,0.7]	1.47 [1.43,1.51]

TABLEAU 4 – Odds Ratios pour les positions de repos, avec leurs intervalles de confiance entre parenthèses. En bleu sont les positions associées à une diminution de compétence, en rouge sont celles associées à une augmentation de compétence.

à une augmentation de compétence (OR= 1.77 (1.73,1.81)). Le Tableau 3 montre les ORs pour les types de gestes, avec leurs intervalles de confiance. Les résultats suggèrent que les gestes idéationnels sont plus susceptibles d'entraîner une augmentation de compétence qu'une diminution par rapport aux autres gestes, alors que les bâtons et les adaptateurs sont plus susceptibles d'entraîner une diminution de compétence.

Association entre les variations de compétence et le positions de repos. Le Tableau 4 montre les ORs pour les positions de repos, avec leurs intervalles de confiance. Bras_derrière, bras_croisés et main_hanche sont plus susceptibles d'entraîner une diminution de la compétence que les autres positions de repos.

Main_poche et mains_croiséesbas sont plus susceptibles d'entraîner une augmentation de compétence que les autres positions de repos.

ORs de bras_bas et mains_croiséesmilieu sont proches de 1, nous considérons donc qu'ils ont une très faible association avec la variation de compétence perçue.

Association entre les variations de compétence et le sourire. Le sourire est plus associé à une diminution de la compétence perçue qu'une augmentation (OR dim/aug = 1.54[1.49,1.59]).

Interaction entre sourire et types de gestes. Des résultats plus intéressants sont obtenus grâce à l'analyse de gestes réalisés avec ou sans un sourire. Nous résumons ici les résultats les plus pertinents.

Les gestes idéationnels sont souvent réalisés sans sourire, mais, lorsqu'ils le sont avec, le sourire a un effet sur leur as-

sociation avec les variations de compétence. Pour les gestes idéationnels, en présence d'un sourire, la probabilité de diminution de la compétence est presque 3 fois supérieure à celle de l'augmentation. Viceversa, lorsque les gestes idéologiques sont réalisés sans sourire, ils sont associés 2,26 fois plus à une augmentation de compétence qu'à une diminution.

Pour les bâtons, les sourires amplifient l'association de ce geste avec une diminution de compétence, alors qu'en l'absence de sourire, l'effet est opposé.

Pour les adaptateurs, le sourire est associé à une augmentation de compétence.

Interaction entre sourire et positions de repos.

Comme pour les gestes, le sourire a des effets sur certaines positions de repos, alors que pour certaines positions de repos, leur association avec la variation de compétence n'est pas affectée par la présence de sourires. C'est le cas des bras_derrière et main_hanche, qui restent toujours associés à une diminution de la compétence, qu'elles soient ou non faites avec un sourire.

5 Discussion et Perspectives

Les résultats préliminaires sont intéressants bien qu'ils nécessitent une enquête plus approfondie. Nous avons trouvé une association entre les gestes et la compétence perçue ; l'association des gestes idéationnels avec une augmentation de compétence, et des adaptateurs avec une diminution de compétence. Ces résultats sont conformes à ceux trouvés dans la littérature [15]. Les résultats sur les positions de repos sont également intéressants car, dans la littérature, nous n'avons pas trouvé d'informations sur leur rôle dans la formation d'impressions de compétences.

Un autre indice important est le sourire. En général, on a constaté qu'il est associée à une diminution de la compétence perçue. Cela pourrait refléter un *effet de compensation*, car le sourire est un indice de chaleur. En outre, on a constaté que le sourire affecte l'association entre les gestes, certaines positions de repos et une variation de compétence. L'association entre les adaptateurs et le sourire avec l'augmentation de la compétence perçue semble être en contraste avec ce qui a été trouvé dans la littérature jusqu'à présent, qui associe habituellement les adaptateurs au stress (donc à un faible niveau de compétence), mais cela s'explique par le fait que le sourire pourrait lisser le lien du geste avec le stress, car habituellement nous ne sourions pas lorsque nous sommes stressés.

Nous sommes conscients de certaines limites de ce travail, liées aux problèmes et aux défis qui peuvent résulter du type d'approche que nous avons suivie. Tout d'abord, les annotations continues de la compétence perçue sont subjectives, susceptibles d'être sujettes à la fatigue de l'annotateur ou à un biais de désirabilité sociale. Deuxièmement, la difficulté de trouver l'accord entre les annotateurs a entraîné une réduction énorme de nos données, car nous avons considéré uniquement les données pour lesquelles les annotateurs étaient d'accord. Pour augmenter la quan-

tité de données, nous devrions envisager plus de vidéos et utiliser également des outils d'annotation automatiques fiables pour permettre d'autres annotations discrètes, telles que les mouvements de la tête, le regard et les expressions faciales. Dans un avenir proche, nous prévoyons d'annoter les mouvements de la tête et des impressions continues de la chaleur; ce dernier pourrait être utile pour voir si les signaux non verbaux associés aux variations de chaleur montrent une relation avec celles trouvées pour la compétence. Enfin, le comportement verbal n'a pas été considéré. Dans une future étape, les caractéristiques prosodiques vocales ainsi que le contenu de la parole pourraient être collectés pour examiner le rôle des indices verbaux et non verbaux dans la formation d'impression de C&C.

Après cette étude préliminaire, nous mettrons en œuvre nos résultats dans un ACA. De cette façon, nous pourrions étudier si la cognition sociale fonctionne de la même manière dans l'interaction humain-humain et humain-agent.

En outre, nous pourrions étudier les types d'émotions suscitées par les impressions. Cette information pourrait être très utile pour notre projet car, grâce à la contribution des données physiologiques qui seront recueillies lors du projet IMPRESSIONS, nous pourrions retracer les impressions de l'utilisateur en examinant ses réactions émotionnelles détectées par les signaux physiologiques.

Rémerciements

Ces travaux de recherche sont possibles grâce au financement de l'ANR dans le cadre du projet IMPRESSIONS (ANR-15-CE23-0023). Nous voudrions aussi remercier les relecteurs pour leurs remarques et conseils.

Références

- [1] A. E. Abele and B. Wojciszke. *The Big Two in social judgment and behavior*. Hogrefe Publishing, 2013.
- [2] N. Ambady and J. J. Skowronski. *First impressions*. Guilford Press, 2008.
- [3] T. Baur, G. Mehlmann, I. Damian, F. Lingensfeld, J. Wagner, B. Lugin, E. André, and P. Gebhard. Context-aware automated analysis and annotation of social human-agent interactions. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiiS)*, 5(2), 2015.
- [4] K. Bergmann, F. Eyssel, and S. Kopp. A second chance to make a first impression? how appearance and nonverbal behavior affect perceived warmth and competence of virtual agents over time. In *IVA*. Springer, 2012.
- [5] M. Bonaiuto, A. Gnisci, and F. Maricchiolo. Proposta e verifica empirica di una tassonomia dei gesti delle mani nell'interazione di piccolo gruppo. *Giornale italiano di psicologia*, 29(4), 2002.
- [6] A. Cafaro, H. H. Vilhjálmsson, and T. Bickmore. First impressions in human-agent virtual encounters. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 23(4), 2016.
- [7] J. Cassell. *Embodied conversational agents*. MIT press, 2000.
- [8] M. Chollet, M. Ochs, and C. Pelachaud. Mining a multimodal corpus for non-verbal signals sequences conveying attitudes. In *International Conference on Language Resources and Evaluation*, 2014.
- [9] R. Cowie and G. McKeown. Statistical analysis of data from initial labelled database and recommendations for an economical coding scheme. *SEMAINE Report D6b*, 2010.
- [10] B. M. DePaulo. Nonverbal behavior and self-presentation. *Psychological bulletin*, 111(2), 1992.
- [11] S. T. Fiske, A. J. Cuddy, and P. Glick. Universal dimensions of social cognition : Warmth and competence. *Trends in cognitive sciences*, 11(2), 2007.
- [12] E. Goffman et al. *The presentation of self in everyday life*. Harmondsworth, 1978.
- [13] C. M. Judd, L. James-Hawkins, V. Yzerbyt, and Y. Kashima. Fundamental dimensions of social judgment : understanding the relations between judgments of competence and warmth. *Journal of personality and social psychology*, 89(6), 2005.
- [14] N. Kervyn, H. B. Bergsieker, F. Grignard, and V. Y. Yzerbyt. An advantage of appearing mean or lazy : Amplified impressions of competence or warmth after mixed descriptions. *Journal of Experimental Social Psychology*, 62, 2016.
- [15] F. Maricchiolo, A. Gnisci, M. Bonaiuto, and G. Ficca. Effects of different types of hand gestures in persuasive speech on receivers' evaluations. *Language and Cognitive Processes*, 24(2), 2009.
- [16] S. Mariooryad and C. Busso. Analysis and compensation of the reaction lag of evaluators in continuous emotional annotations. In *Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)*. IEEE, 2013.
- [17] D. McNeill. *Hand and mind : What gestures reveal about thought*. University of Chicago press, 1992.
- [18] T.-H. D. Nguyen, E. Carstendottir, N. Ngo, M. S. El-Nasr, M. Gray, D. Isaacowitz, and D. Desteno. Modeling warmth and competence in virtual characters. In *International Conference on Intelligent Virtual Agents*. Springer, 2015.
- [19] R. Niewiadomski, V. Demeure, and C. Pelachaud. Warmth, competence, believability and virtual agents. In *International Conference on Intelligent Virtual Agents*. Springer, 2010.
- [20] S. Rosenberg, C. Nelson, and P. Vivekananthan. A multidimensional approach to the structure of personality impressions. *Journal of personality and social psychology*, 9(4), 1968.

Représentations et modèles en extraction d'événements supervisée

D. Kodelja

R. Besançon

O. Ferret

CEA, LIST, Laboratoire Vision et Ingénierie des Contenus,
Gif-sur-Yvette, F-91191, France.
{dorian.kodelja,romaric.besancon,olivier.ferret}@cea.fr

Résumé

Cet article de synthèse retrace l'histoire des techniques d'extraction d'événement à partir de textes. Cette tâche a d'abord été traitée par des règles lexico-syntaxiques puis des classifieurs supervisés utilisant tous deux des représentations complexes, fortement dépendantes du domaine et sujettes à la propagation d'erreurs. Récemment, plusieurs approches neuronales ont amélioré l'état de l'art en mettant en avant la réduction des prétraitements nécessaires et donc des possibilités d'erreur. Finalement, nous nuancions ce postulat en présentant de nouvelles méthodes réintroduisant ces informations linguistiques.

Mots Clef

Extraction d'information, apprentissage supervisé, réseaux de neurones, représentations distribuées.

Abstract

We present in this survey the successive approaches to supervised event extraction from texts. The first rule-based systems and the classical statistical methods use complex and domain-dependent representations that are prone to error propagation. In response to these problems, recent neural network systems using embeddings have linked their success to the absence of the preprocessing steps producing these errors. We nuance this viewpoint by presenting recent methods reintroducing these linguistics features.

Keywords

Information Extraction, supervised learning, neural networks, distributed representations.

1 Introduction

L'extraction d'information est un champ de recherche dont l'objectif consiste à extraire automatiquement des informations factuelles structurées dans un domaine donné à partir de données textuelles peu ou pas structurées. Les premiers systèmes d'extraction d'informations, développés manuellement pour un besoin précis dans un domaine spécifique, n'étaient cependant absolument pas réutilisables. Que ces

documents émanent du domaine biomédical (articles), industriel (rapports trimestriels), de la Presse ou du Gouvernement, la tendance actuelle est à une explosion tant du volume d'information disponible que de sa variété. C'est pourquoi les approches successives de l'extraction d'information ont créé des systèmes de plus en plus modulaires et universels. Par ailleurs, en fonction de la disponibilité de documents annotés, l'extraction peut être supervisée ou non supervisée. À mi-chemin entre ces deux familles d'approches, des approches semi-supervisées peuvent utiliser un nombre réduit d'exemples annotés, un modèle incomplet ou des exemples privés de contextes pour amorcer un système supervisé. Nous nous placerons ici dans le cadre de l'extraction supervisée, présentée à la section 2. Différentes campagnes d'évaluation ont fortement guidé le développement de cette tâche et font l'objet de la section 3. L'extraction supervisée d'informations textuelles faisant appel à des ressources linguistiques et des connaissances fortement dépendantes du domaine, nous analyserons à la section 4 les différentes approches possibles en nous concentrant sur la transition vers les approches neuronales et les représentations distribuées et leur utilité pour le développement de systèmes génériques, donc plus robustes et facilement adaptables à de nouveaux domaines.

2 Présentation des tâches

Ainsi que l'illustre la Figure 1, l'extraction d'information supervisée au sein de sources bruitées et non structurées est une tâche complexe, décomposable en plusieurs sous-tâches généralement traitées séquentiellement. L'extraction d'événements est envisagée comme une tâche de remplissage de formulaire : le type de formulaire correspond à un type d'événement et impose le remplissage d'un nombre variable de champs identifiant les rôles associés à ce type d'événement. Le système extrait alors deux types d'informations : des mentions et des liens entre ces mentions, notamment leur rôle. Cette tâche est donc relativement proche de l'extraction de relations binaires, non présentée ici.

2.1 Extraction de mentions

Reconnaissance d'entités nommées La première étape d'un système d'extraction d'information consiste à identifier dans le texte l'ensemble des entités pouvant remplir un rôle vis-à-vis d'un événement. Une même entité pou-

Ce travail a été partiellement financé par l'ANR dans le cadre du projet ASRAEL (ANR-15-CE23-0018).

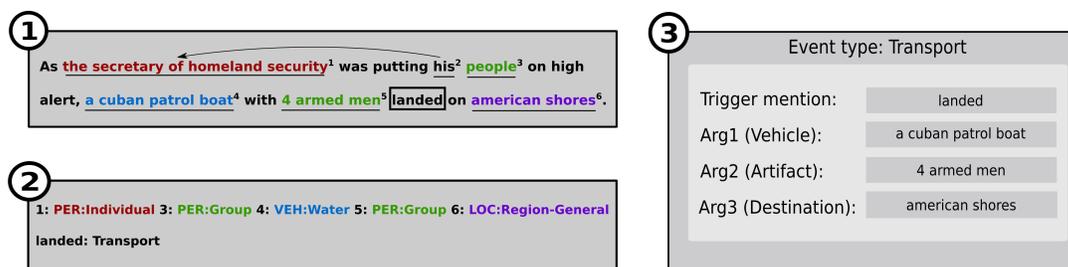


FIGURE 1 – La reconnaissance d’entités nommées identifie les différentes mentions d’entités (soulignées dans le cadre (1)) de la phrase et leur type d’entité (cadre (2)). La résolution de coréférences permet d’identifier (ici par une flèche) lorsqu’un pronom ou une mention font référence à une même entité. La détection d’événement identifie les triggers de la phrase et leur associe un type. Le type du trigger indique le type du formulaire du cadre (3). Les arguments de ce formulaire sont ensuite sélectionnés parmi les entités identifiées précédemment.

vant apparaître plusieurs fois dans un texte (notamment via des pronoms), il s’agit en fait d’extraire des *mentions d’entités* au sein du texte. Trois types d’entités généralement déclinés en sous-types sont généralement distingués : les entités réellement nommées, telles que les noms propres et acronymes de personnes, de lieux ou d’organisations (EN-AMEX), les références temporelles telles que les durées ou les dates (TIMEX) et les valeurs numériques telles que les prix ou les pourcentages (NUMEX).

Détection d’événement La majorité des systèmes font l’hypothèse simplificatrice qu’un événement est intégralement défini dans une seule phrase. Ce parti pris est critiquable [28] mais motivé par la plus grande richesse des informations exploitables à l’échelle phrastique. La détection d’événement revient alors à classer des phrases selon un type d’événement prédéfini. La classification d’événement est alors généralement assimilée à la détection de déclencheurs (ou *triggers*) au sein de la phrase. Cette modélisation, introduite par la campagne d’évaluation ACE, est prédominante parmi les approches récentes. Cette simplification n’est pas intrinsèquement nécessaire mais facilite le développement, et notamment l’identification d’événements multiples au sein d’une phrase.

2.2 Extraction de liens entre mentions

Résolution de coréférence La résolution de coréférence, introduite lors de la campagne MUC-6, vise à identifier au sein du texte des mentions faisant référence à une même entité. Cette étape s’appuie principalement sur l’identification de mentions similaires malgré les possibles variations et sur la résolution d’anaphores pronominales pour identifier les correspondances entre mentions d’entité et entre mentions d’entité et pronoms y faisant référence. Elle permet en particulier d’éviter les redondances et de désambiguïser les pronoms pour l’extraction d’événements et de relations. Bien que cette tâche ait initialement été définie pour les entités, la résolution de coréférences entre événements est également courante et permet notamment la consolidation des extractions.

Extraction d’événement Une fois la phrase associée à un type d’événement donné via l’extraction d’un *trigger*, il reste à identifier les entités jouant un rôle dans celle-ci. Cette tâche consiste à prédire, pour chaque entité nommée, son rôle dans l’événement considéré. Dans un cadre supervisé, il est possible de définir un schéma indiquant les types d’entités autorisés pour les différents rôles, ce qui permet de restreindre les possibilités.

2.3 Approches séquentielles et approches jointes

Nous avons présenté séparément les différentes tâches car elles sont généralement traitées de manière séquentielle. Cependant, des interdépendances existent entre ces différentes étapes et peuvent être exploitées. Les approches jointes concernent généralement la prédiction conjointe de triggers et d’arguments. Les phrases suivantes explicitent l’interdépendance de ces tâches :

1. A cameraman died when an American tank **fired** on the Palestine Hotel.
2. He has **fired** his air defense chief.

Ici, le mot "fired" est ambigu mais la présence du mot "tank" correspond probablement au rôle *instrument*, ce qui permet de déduire qu’il s’agit d’un événement de type *Attack*. Dans la deuxième phrase, puisque "Air Defense chief" est un intitulé de poste, l’interprétation de "fired" en tant que trigger de type *End-Position* est évidente.

3 Campagnes d’évaluation

Nous présentons ici plusieurs campagnes d’évaluations qui ont motivé l’apparition et le développement des tâches présentées précédemment.

3.1 Message Understanding Conferences

Les campagnes d’évaluations MUC¹ sont une série de conférences organisées par le DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) afin de stimuler la recherche

1. http://itl.nist.gov/iaui/894.02/related_projects/muc/proceedings/proceedings_index.html

en extraction d'information, initialement pour l'analyse de documents militaires. La première campagne d'évaluation MUC (1987) était relativement peu contrainte, sans critères d'évaluation formels. Elle portait sur des documents traitant de repérages et d'interventions en mer. À partir de la deuxième édition (1989), la tâche fut précisément définie comme le remplissage d'un formulaire. Cette tâche s'est complexifiée au fil des éditions pour atteindre 47 champs différents au sein de 11 formulaires (types d'événements) différents pour la cinquième édition. Le principal tournant dans ce programme fut l'introduction de la précision et du rappel comme métriques d'évaluations lors de MUC-3.

Les résultats obtenus lors de la cinquième édition (1993) furent plutôt satisfaisants mais les systèmes étaient fortement spécialisés. Cette spécialisation implique un lourd travail d'adaptation pour chaque nouveau domaine, loin de l'objectif de conception d'un système générique et universel. Pour répondre à ces attentes, les deux dernières éditions de MUC ont identifié des sous-tâches considérées comme fondamentales et pouvant faire l'objet d'évaluations spécifiques : la reconnaissance d'entités nommées et la résolution de coréférences.

3.2 Automatic Content Extraction

Dans la continuité de MUC, les campagnes ACE² présentent une tâche de détection et de suivi d'entités incluant la reconnaissance d'entités nommées et la résolution de coréférences. L'édition 2004 introduit la tâche de détection et de caractérisation de relations, qui consiste à extraire des relations étiquetées selon 24 types. ACE présente également une tâche de détection et de caractérisation d'événements couvrant 6 types d'événements et 33 sous-types.

Les documents annotés proviennent de différentes sources : des dépêches d'agence de presse, des bulletins et débats télévisés, des blogs et groupes de discussion en ligne et enfin des échanges téléphoniques. Cette pluralité de sources permit à ACE 2005 de s'imposer comme un cadre de référence pour l'extraction d'événements, et notamment l'étude de l'adaptation au domaine dans ce contexte. ACE 2008 propose deux versions pour les tâches d'extraction d'entités et de relations. La première, à l'échelle locale, correspond aux tâches d'ACE 2004. La seconde version, à l'échelle du corpus, impose donc la résolution de coréférence multi-document, aussi bien pour les entités que pour les relations.

3.3 Autres campagnes

Il existe plusieurs autres campagnes d'évaluation en extraction d'événements ou sur des tâches similaires. La campagne TAC³ (*Text Analysis Conference*) propose une tâche de peuplement de base de connaissances comprenant plusieurs sous-tâches d'extraction d'événement, d'*entity linking* (identifier et faire correspondre les entités d'un texte à celles d'une base de connaissances existante et ajouter les entités manquantes à la base), *slot-filling* (compléter cer-

tains champs des formulaires de la base à partir des textes). Il existe également plusieurs campagnes d'évaluation en domaine spécialisé, et plus particulièrement dans le domaine biomédical pour permettre d'exploiter les milliers d'articles publiés chaque jour. Les différentes campagnes BioCreatives⁴ et I2B2⁵ fournissent ainsi des jeux de données annotés sur l'identification de relations entre traitements et maladies ou entre protéines et gènes par exemple.

4 Méthodes

Bien que les différentes approches d'extraction d'événement présentent des variations importantes, il est possible de les comparer selon plusieurs axes :

- les systèmes ou les différents modules d'un système peuvent être plus ou moins dépendants du domaine concerné ;
- les modèles peuvent s'appuyer sur un degré variable de connaissances linguistiques ;
- la conception des modèles peut nécessiter plus ou moins de données annotées.

Les premiers systèmes [11] d'extraction d'information à partir d'un texte se voulaient universels. Ils ne faisaient pas l'hypothèse de l'existence d'un domaine particulier ou d'un type d'information spécifique à extraire. Ces systèmes visaient à réaliser une analyse complète du document (syntaxique, sémantique et pragmatique) afin de comprendre le texte dans son ensemble. Bien que cette approche soit théoriquement pertinente pour "résoudre" l'extraction d'information indépendamment du domaine ou de la tâche cible, ces systèmes étaient trop complexes à développer et nécessitaient trop de ressources (les développeurs de TACITUS rapportent 36h de calculs pour les 100 messages du jeu de test MUC-3 [12]) et de connaissances à modéliser. De manière générale, la compréhension de texte suppose une analyse en profondeur de l'intégralité des documents. L'implémentation et l'application de ces traitements s'avèrent impossibles, même à l'heure actuelle. En se fixant une tâche moins ambitieuse par l'introduction de la dimension de domaine et d'information structurée et spécifique (entités, attributs, relations et événements), l'extraction d'information se différencie de la compréhension de texte par la profondeur et la couverture de l'analyse linguistique nécessaire au fonctionnement d'un système.

4.1 Approches à bases de connaissances

Utilisation de motifs lexico-syntaxiques Ce changement de paradigme de conception permet l'apparition, dès la fin des années 1980, des premiers systèmes d'extraction d'information. Ce changement annonce aussi la prédominance des approches intra-phrastiques. En effet, puisque l'objectif n'est plus la compréhension globale du texte mais l'extraction ponctuelle d'informations, de nombreux systèmes ne travaillent dans un premier temps qu'au niveau local. Une phase de consolidation est généralement réali-

2. <http://www.itl.nist.gov/iad/mig/tests/ace/>

3. <https://tac.nist.gov/>

4. <http://www.biocreative.org/>

5. <https://www.i2b2.org/NLP/>

sée à la fin pour fusionner les formulaires construits localement. Ces premiers systèmes (ATRANS [18], SCISOR [26]) tirent leur efficacité de règles et d'expressions régulières définies manuellement. De ce fait, ils nécessitent toujours une conception complexe réalisée spécifiquement par un expert et propre au domaine cible. Ils se caractérisaient par un aspect rigide et monolithique et étaient difficilement adaptables à d'autres langues ou objectifs.

Le système FASTUS [12] popularise sur la campagne MUC-3 l'utilisation d'automates à états finis en cascade et plus généralement l'approche séquentielle. Ce système réalise ainsi séquentiellement 5 étapes de reconnaissance de motifs et de *chunking*, la sortie de chaque module étant l'entrée du module suivant. L'intérêt de cette décomposition est l'apparition de la modularité au sein du système. Celle-ci permet une modification plus aisée qui facilite le développement et l'adaptation du système. De plus, les trois premières étapes opèrent au niveau linguistique et sont très peu dépendantes du domaine. De ce fait, l'adaptation au domaine ne concerne que les 2 dernières étapes.

Extraction de motifs lexico-syntaxiques Si les systèmes à base d'automates en cascade marquent un tournant au regard de la lourdeur de la tâche de conception d'un système, cette conception est toujours manuelle et nécessite l'intervention de connaissances expertes à la fois sur le système et sur le domaine. Un nouveau changement de paradigme intervient avec l'utilisation de méthodes d'extraction de motifs. Le travail nécessaire pour l'adaptation à un nouveau domaine est ainsi passé de la conception des règles à l'annotation d'un corpus.

Ces méthodes (RAPIER [21], Autoslog [27]) utilisent différentes représentations des exemples telles que des sacs de mots, l'étiquetage en parties du discours ou des arbres syntaxiques. [10] propose une approche séquentielle d'identification des mentions d'événements puis des arguments pour finir par la classification du type d'événements. Ce système s'appuie sur l'utilisation de structures syntaxiques et de classifieurs séquentiels et constitue donc aussi un pré-curseur des approches à base de classifieurs.

4.2 Apprentissage de classifieurs

À la différence des systèmes précédents, les systèmes utilisant des classifieurs considèrent la tâche d'extraction d'événement comme une tâche de classification de séquence. Un texte est un ensemble de phrases traitées comme des séquences de *tokens*. La détection d'événement consiste alors à appliquer à chaque élément de la séquence un classifieur entraîné à détecter les *triggers* et leur type, séquentiellement ou de manière jointe. Il en va de même pour les arguments, généralement prédits parmi les entités nommées détectées en amont.

On dénote au sein de cette famille d'approches deux tendances. La majorité des études utilisent des approches séquentielles en traitant d'abord l'identification puis la classification des *triggers* puis des arguments ([1, 6, 10]). Mais certaines études utilisent également des approches jointes

[4, 15]. Ces méthodes tentent de réduire le problème de propagation des erreurs symptomatique des approches séquentielles. De plus, elles peuvent ainsi tenir compte de l'interdépendance entre arguments et *triggers* ou entre détection et caractérisation des *triggers* ou des arguments. Néanmoins, ces approches se rejoignent sur les types de classifieurs et de représentations choisis. Ces approches ont évolué parallèlement à celles concernant l'extraction de relations. C'est pourquoi nous citerons ici indifféremment des études portant sur les deux tâches. Les classifieurs sont le plus souvent des machines à vecteurs de support [33, 17, 13] ou des classifieurs de type maximum d'entropie [29, 23]. L'efficacité de ces approches étant particulièrement dépendante de la qualité des représentations choisies, la création de représentations adaptées est essentielle. Les approches à bases de classifieurs n'ont ainsi supprimé l'effort d'élaboration de règles que pour le remplacer par un effort d'ingénierie des représentations aussi conséquent.

Il apparaît cependant qu'une fois des représentations efficaces obtenues, celles-ci s'avèrent assez génériques pour être transposées dans des domaines proches. [33] introduit pour l'extraction de relations la plupart des traits (*features*) utilisés dans l'état de l'art. Ces représentations sont produites à plusieurs niveaux : au niveau lexical (sac de mots et tête de mention pour chaque mention, premiers et deuxièmes mots des contextes gauche, milieu, et droit), syntaxique (chemins dans l'arbre syntaxique complet entre les deux mentions, *chunking* puis extraction des têtes des groupes nominaux) et sémantique (utilisation des types d'entités ACE et de WordNet [20]). [29] reprend ces représentations et complète la représentation lexicale par l'utilisation de bigrammes des mots du contexte central. D'autres informations sémantiques sont proposées, telles que l'utilisation de synonymes de WordNet [15] ou d'hyperonymes de Framenet [16]. Il est à noter que le niveau de granularité maximum de ces représentations est généralement le mot bien que des approches descendent au niveau des morphèmes pour l'extraction d'information en chinois [6]. La représentation des mots est généralement de type local ou *one-hot*, c'est-à-dire par un vecteur binaire de taille N où N est la taille du vocabulaire et dont seule la dimension correspondant au mot est active. Cette représentation symbolique pose deux problèmes [30] : d'une part elle ne permet pas de capturer convenablement la sémantique du mot (ce à quoi tentent de pallier les approches par morphèmes) ; d'autre part, elle est particulièrement parcimonieuse et sujette au fléau de la dimension. Enfin, si les vocabulaires cible et source sont différents, le système n'aura aucune information sur les mots nouveaux.

4.3 Plongement lexical

Le plongement lexical (ou *word embeddings*) est une représentation distribuée des mots permettant de répondre aux deux problèmes soulevés à la section précédente. Dans une représentation locale (ou symbolique), un élément est associé à une représentation unique (un indice). Au contraire,

dans une représentation distribuée, un élément est décrit par plusieurs indices et un indice est utilisé pour décrire plusieurs éléments. Si la représentation locale est plus facile à comprendre et à produire par un humain, elle ne permet pas de capturer la proximité sémantique entre les éléments ou d'isoler différentes propriétés sous-jacentes.

Pour le plongement lexical, l'hypothèse distributionnelle ("You shall know a word by the company it keeps!" [9]) postule que des mots apparaissant dans des contextes similaires ont des sens similaires. On peut apprendre ces représentations sur de grands corpus de textes non annotés. Ceci confère un autre avantage à ces représentations : elles permettent d'assurer une meilleure robustesse aux systèmes d'extraction d'information, même pour des mots non présents dans le jeu d'apprentissage. Plusieurs approches successives ont proposé des représentations distribuées, notamment l'analyse sémantique latente [8] et le clustering de brown [3]. Il apparaît ensuite une série de représentations [2, 7, 19] extraites de réseaux de neurones entraînés à prédire un mot à partir de son contexte ou inversement. Leur utilisation en extraction de relations commence avec [29] qui exploite des *clusters* de Brown pour augmenter les descripteurs des têtes de mentions.

4.4 Architectures neuronales

Peu après l'introduction de ces représentations distribuées et en réponse aux propagations d'erreurs et aux difficultés d'adaptation inhérentes aux systèmes séquentiels, de nombreuses études ont commencé à appliquer des approches neuronales à différentes tâches de l'extraction d'information. Elles mettent en avant la suppression des prétraitements à l'origine de ces problèmes. Ces approches neuronales utilisent différentes architectures de réseaux de neurones popularisées dans les communautés de reconnaissance de la parole et de vision par ordinateur. Plusieurs systèmes d'extraction de relations [14, 32] proposent des systèmes extrayant une représentation de la phrase à l'aide d'un réseau convolutif (CNN). Ces systèmes ne fournissent en entrée que les *word embeddings* des *tokens* de la phrase, généralement ceux de [19]. Ces *word embeddings* sont modifiés durant l'apprentissage, ce qui permet de les adapter au domaine cible. L'opération de *pooling* du réseau convolutif ne conservant que l'information prédominante d'une phrase, [5] propose une variante du CNN utilisant le *dynamic multipooling* (ou *piece-wise CNN* [31]), c'est-à-dire l'extraction de représentations pour plusieurs parties de la phrase, ce qui permet notamment de mieux gérer les phrases contenant de multiples événements. Par ailleurs, l'application de convolutions est surtout adaptée à la détection de motifs locaux et consécutifs. Des systèmes utilisent au contraire des réseaux récurrents pour construire des représentations pouvant tirer profit de motifs non consécutifs à l'échelle de la phrase. De manière générale, un des intérêts de ces méthodes neuronales est d'obtenir une abstraction de la représentation d'entrée, de telle sorte que la représentation en sortie soit relativement invariante à de

TABLE 1 – Résultats de différents systèmes de détection d'événements (F1-mesure pour développement et test)

Méthodes	dév.	test
Meilleure méthode non neuronale : prédiction structurée [15] avec descripteurs locaux et globaux	67,9	67,5
CNN avec <i>embeddings</i> (mots) [24]	14,0	–
CNN avec <i>embeddings</i> (mots + positions) [24]	68,5	67,6
CNN avec <i>embeddings</i> (mots + positions + entités) [24]	70,7	69,0

faibles changements locaux, augmentant ainsi la robustesse de la représentation finale.

4.5 Généralisation des représentations distribuées

Les différents systèmes ayant redéfini l'état de l'art à l'aide des approches neuronales ont tous mis en avant l'objectif de réduction des prétraitements nécessaires, notamment syntaxiques et sémantiques, pour se concentrer sur les représentations lexicales distribuées. On peut cependant rapidement voir la réintroduction d'informations syntaxiques puis sémantiques. Dans un premier temps, pour l'extraction de relations, la représentation en entrée du réseau est augmentée d'un vecteur codant la distance aux deux entités concernées (*position feature*) et qui permet, à titre indicatif, de gagner dans [32] plus de 9 points en F1-mesure pour l'extraction de relations et jusqu'à 54 points en extraction d'événements dans [24] (cf. Table 1). La majorité des systèmes augmente également la représentation de chaque *token* par un *embedding* de son type d'entité (*entity feature*, +2 points) [24], ou d'informations syntaxiques extraites d'arbres syntaxiques ou d'un *chunker* [22, 25]. Ces systèmes montrent bien que ces différentes informations linguistiques initialement supprimées des approches neuronales sont importantes pour le développement de systèmes performants. L'utilisation de représentations distribuées pour représenter ces informations confère plusieurs avantages déjà identifiés pour les représentations distribuées de mots. D'une part, ces représentations sont plus à même d'isoler les facteurs sous-jacents à ces différentes informations. D'autre part, ces représentations dans un espace dense sont plus expressives et permettent au réseau de tenir compte de la similarité entre différentes modalités. Enfin, puisque ces représentations sont apprises et transférables, elles permettent une meilleure adaptation à de nouveaux domaines et offrent la possibilité d'un apprentissage semi-supervisé. Ainsi, de la même manière que le pré-entraînement de *word embeddings* sur une base annexe offre une meilleure généralisation, cet apprentissage semi-supervisé est possible pour les autres types de représentations distribuées.

Conclusion et perspectives

Les premiers systèmes d'extraction d'information nécessitaient l'élaboration manuelle de motifs lexico-syntaxiques finement adaptés à une tâche et un domaine donnés. Ceci

les rendaient coûteux et complexes à développer et particulièrement sensibles à un changement de domaine ou un décalage entre les jeux d'apprentissage et les jeux de test. Les approches suivantes utilisant des documents annotés nécessitaient toujours un temps de développement long, tout en étant plus génériques et modulables. L'introduction des représentations distribuées et des réseaux de neurones a ensuite grandement amélioré l'état de l'art. La synergie de ces différentes représentations permet de combler les faiblesses des précédents algorithmes sur plusieurs points. D'une part, elles permettent de réaliser un apprentissage semi-supervisé grâce à des bases annexes, notamment pour les *word embeddings* et d'autre part, elles offrent une meilleure expressivité et une meilleure interprétabilité par les classifieurs que les représentations symboliques. Cependant, l'abandon de ces dernières se fait au détriment de l'interprétabilité humaine du système, constat déjà réalisé pour la reconnaissance d'objets en vision. À l'avenir, ces représentations distribuées pourraient notamment être appliquées à l'extraction d'information ouverte en transférant des représentations apprises de manière semi-supervisée à cette tâche d'extraction peu ou pas supervisée.

Références

- [1] David AHN. « The Stages of Event Extraction ». *Workshop on Annotating and Reasoning about Time and Events*.
- [2] Yoshua BENGIO et al. « A Neural Probabilistic Language Model ». *Journal of Machine Learning Research* 3 (2003).
- [3] Peter F. BROWN et al. « Class-Based n-Gram Models of Natural Language ». *Computational linguistics* 18.4 (1992).
- [4] Chen CHEN et Vincent NG. « Joint Modeling for Chinese Event Extraction with Rich Linguistic Features ». *COLING*. 2012.
- [5] Yubo CHEN et al. « Event Extraction via Dynamic Multi-Pooling Convolutional Neural Networks ». *ACL-IJCNLP*. 2015.
- [6] Zheng CHEN et Heng JI. « Language Specific Issue and Feature Exploration in Chinese Event Extraction ». *NAACL-HLT*. 2009.
- [7] Ronan COLLOBERT et Jason WESTON. « A Unified Architecture for Natural Language Processing : Deep Neural Networks with Multitask Learning ». *ICML*. 2008.
- [8] S. T. DUMAIS et al. « Using latent semantic analysis to improve access to textual information ». *SIGCHI*. 1988.
- [9] John R FIRTH. « A Synopsis of Linguistic Theory, 1930-1955 ». *Studies in Linguistic Analysis* (1957).
- [10] Ralph GRISHMAN, David WESTBROOK et Adam MEYERS. « NYU's English ACE 2005 System Description ». *ACE*. 2005.
- [11] Jerry R. HOBBS. « Overview of the TACITUS project ». *The finite string newsletter* (1986).
- [12] Jerry R. HOBBS et al. « FASTUS : A Cascaded Finite-State Transducer for Extracting Information from Natural-Language Text ». *Finite-state language processing* (1997).
- [13] Yu HONG et al. « Using Cross-Entity Inference to Improve Event Extraction ». *ACL-HLT*. 2011.
- [14] Yoon KIM. « Convolutional Neural Networks for Sentence Classification ». *EMNLP*. 2014.
- [15] Qi LI, Heng JI et Liang HUANG. « Joint Event Extraction via Structured Prediction with Global Features. » *ACL*. 2013.
- [16] Qi LI et al. « Constructing Information Networks Using One Single Model. » *EMNLP*. 2014.
- [17] Shasha LIAO et Ralph GRISHMAN. « Using Document Level Cross-Event Inference to Improve Event Extraction ». *ACL*. 2010.
- [18] Steven L. LYTINEN et Anatole GERSHMAN. « ATRANS Automatic Processing of Money Transfer Messages. » *AAAI*. 1986.
- [19] Tomas MIKOLOV et al. « Distributed Representations of Words and Phrases and Their Compositionality ». *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2013.
- [20] George A. MILLER. « WordNet : A Lexical Database for English ». *Communications of the ACM* 38.11 (1995).
- [21] Raymond J. MOONEY et Mary E. CALIFF. « Relational Learning of Pattern-Match Rules for Information Extraction ». *AAAI*. 1999.
- [22] Thien H. NGUYEN, Kyunghyun CHO et Ralph GRISHMAN. « Joint Event Extraction via Recurrent Neural Networks ». *NAACL-HLT*. 2016.
- [23] Thien H. NGUYEN et Ralph GRISHMAN. « Employing Word Representations and Regularization for Domain Adaptation of Relation Extraction. » *ACL*. 2014.
- [24] Thien H. NGUYEN et Ralph GRISHMAN. « Event Detection and Domain Adaptation with Convolutional Neural Networks ». *ACL-IJCNLP*. 2015.
- [25] Thien Huu NGUYEN et Ralph GRISHMAN. « Combining Neural Networks and Log-Linear Models to Improve Relation Extraction ». *IJCAI Workshop on Deep Learning for Artificial Intelligence*. 2016.
- [26] Lisa F. RAU. « Conceptual information extraction from financial news ». *HICSS*. 1988.
- [27] Ellen RILOFF. « Automatically Constructing a Dictionary for Information Extraction Tasks ». *AAAI*. 1993.
- [28] Mark STEVENSON. « Fact Distribution in Information Extraction ». *Language Resources and Evaluation* 40 (2006).
- [29] Ang SUN, Ralph GRISHMAN et Satoshi SEKINE. « Semi-Supervised Relation Extraction with Large-Scale Word Clustering ». *ACL-HLT*. 2011.
- [30] Joseph TURIAN, Lev RATINOV et Yoshua BENGIO. « Word Representations : A Simple and General Method for Semi-Supervised Learning ». *ACL*. 2010.
- [31] Daojian ZENG et al. « Distant Supervision for Relation Extraction via Piecewise Convolutional Neural Networks. » *EMNLP*. 2015.
- [32] Daojian ZENG et al. « Relation Classification via Convolutional Deep Neural Network. » *COLING*. 2014.
- [33] GuoDong ZHOU et al. « Exploring Various Knowledge in Relation Extraction ». *ACL*. 2005.

Planification probabiliste : une heuristique pour garantir des solutions sûres

Rémi Lacaze-Labadie¹

Domitile Lourdeaux¹

Mohamed Sallak¹

¹ Sorbonne universités, Université de technologie de Compiègne, CNRS, Heudiasyc UMR 7253, 57 avenue de Landshut – 60203 COMPIEGNE Cedex, France

{remi.lacaze-labadie - domitile.lourdeaux - mohamed.sallak}@hds.utc.fr

Résumé

Dans ce papier, nous proposons une nouvelle approche pour résoudre les problèmes de planification probabiliste en prenant en compte le risque que l'utilisateur est prêt à prendre vis à vis de la probabilité d'atteindre les buts. Notre approche garantit le fait que la probabilité d'atteindre un état satisfaisant les buts du problème sera toujours supérieure à un seuil de probabilité donné. Toutefois, un tel seuil ne permet pas toujours de tous les atteindre. C'est pourquoi, notre heuristique estime la probabilité d'atteignabilité de chaque but via une version relaxée du problème, puis sélectionne le sous-ensemble de buts atteignables avec une probabilité supérieure à ce seuil. Nous illustrons nos travaux par un problème d'exploration planétaire couramment utilisé dans ce contexte. Nos résultats de simulation montrent que l'heuristique proposée sélectionne les meilleurs buts et que le seuil de probabilité de les atteindre est toujours respecté.

Mots Clef

Planification dans l'incertain, heuristique, théorie de la décision.

Abstract

In this work, we propose a novel approach to solve probabilistic planning problems taking into account the risk that the decision maker is ready to accept regarding the probabilities of reaching the goals. Our approach guarantees that the probability to reach a state satisfying selected goals is above a certain limit threshold. Indeed, we relax the constraints that all goals must be satisfied, and select the most valuable set of goals whose reachability probability is above the threshold. To this end, we propose a goal selection heuristic based on the reachability probability and the cost between goals that are estimated using an abstracted version of the problem. Finally, a planetary exploration problem will be used for illustrating the effectiveness of the proposed approach. Our results show that the obtained selections cover the most valuable possible goals and respect the reachability probability threshold.

Keywords

Planning under uncertainty, heuristic search, decision theory.

1 Introduction

La planification est une branche de l'intelligence artificielle qui consiste à sélectionner et à ordonnancer des actions afin d'atteindre un objectif [6], c'est à dire un état satisfaisant tous les buts du problème. En particulier, nous nous intéresserons à la planification probabiliste, dont les effets des actions peuvent être non déterministes. Dans ce papier, nous définirons un objectif comme l'ensemble des buts d'un problème, c'est à dire l'ensemble des prédicats devant être satisfait par la solution. Nous formaliserons ces problèmes avec des processus de décision markovien (ou Markov Decision Process en anglais, MDP). Les MDPs peuvent être efficacement résolus à l'aide de la solution unique de l'équation de Bellman sous deux hypothèses : il existe au moins une politique qui atteint tous les buts avec une probabilité de 1 et tous les coûts des actions sont strictement positifs de sorte que toutes les politiques contenant une boucle infinie accumulent un coût infini. Les MDPs formulés sous ces hypothèses sont plus connus sous le nom de problèmes de Plus Court Chemin Stochastique (SSP en anglais). Ces hypothèses garantissent d'avoir toujours une solution à l'équation de Bellman. Cependant, elles sont contraignantes et ne permettent pas de modéliser tous les types de problèmes. C'est par exemple le cas pour les problèmes qui n'ont pas de politique permettant d'atteindre avec une probabilité de 1 tous les buts. Dans ce cas, nous allons chercher à maximiser cette probabilité. Des travaux ont déjà été menés sur le sujet, comme par exemple Teichteil-Königsburg [18] qui propose une méthode efficace pour trouver le chemin le plus probable pour atteindre les buts. Cette méthode est connue dans la littérature sous le nom de Stochastic Safest and Shortest Path (S^3P) et résout les problèmes en recherchant d'abord tous les chemins optimisant la probabilité d'atteindre les buts, puis en sélectionnant celui minimisant le coût. Cependant cette méthode ne garantit pas une probabilité minimale d'atteindre les buts. L'objectif de ce papier est de proposer une heuristique sélectionnant un sous-ensemble de buts atteignable

avec un seuil de probabilité minimal choisi par le décideur. Nous positionnons nos travaux dans la catégorie des problèmes sur-contraints (*over-constrained problems* en anglais), dans lesquels les contraintes sont le manque de ressource (essence, énergie,...) empêchant tous les buts d'être atteints. En effet, nous considérons le risque, soit la probabilité de ne pas atteindre un but, comme une ressource limitant le nombre de buts atteignables. Dans cet article, nous ferons l'hypothèse que le décideur, en cas de situations à risque, préfère satisfaire moins de buts, avec cependant de meilleures chances qu'ils soient atteints. Pour ce faire, nous proposons de définir un seuil de probabilité d'atteindre les buts, que nous définirons dans le reste de l'article comme le *seuil de sûreté*. Nous proposons alors une méthode qui sélectionne ce que nous appellerons une *solution sûre* du point de vue du décideur, c'est-à-dire toutes solutions satisfaisant ce *seuil de sûreté*.

Les problèmes sur-contraints ont été étudiés dans le domaine de la planification sous le nom anglais de *Partial Satisfaction Planning problems (PSP)* [19] et *Over-Subscription Planning problems (OSP)* [14]. Le challenge de ce type de problèmes est la sélection du sous-ensemble de buts satisfaisant les contraintes. En effet, une recherche complète dans l'ensemble de l'espace d'état (pour trouver les meilleurs ensembles de buts) est impossible en pratique. De bonnes heuristiques ont alors été proposées pour sélectionner les buts [2, 10], cependant elles sont toutes basées sur des contraintes relatives aux limites de ressources. À notre connaissance, aucune heuristique ne propose une sélection des buts garantissant une probabilité de les atteindre au-dessus d'un seuil donné. L'idée de base de notre algorithme est de construire une version relaxée du problème afin d'estimer le coût entre les buts ainsi que la probabilité d'atteindre un but depuis un autre but. Puis, à partir de cette version relaxée du problème, un graphe est créé dont les nœuds représentent les buts et les arcs les coûts et probabilités. Enfin, la sélection des meilleurs buts se fait par un algorithme de recherche dans ce graphe.

Ce papier est organisé de la manière suivante. Dans la section 2, nous présentons nos motivations ainsi qu'un état de l'art sur les problèmes sur-contraints en planification. Puis nous formalisons notre problème et proposons notre heuristique dans les sections 3 et 4. La section 5 décrit nos résultats empiriques sur un cas d'étude, avant de conclure par nos perspectives à la section 6.

2 Motivation et contexte

Nos travaux s'inscrivent dans une catégorie de problèmes dans laquelle le décideur préfère satisfaire moins de buts si cela augmente la probabilité qu'ils se produisent. Dans cette section, nous donnons nos motivations à travers un exemple, discutons des problèmes de satisfaction de contraintes en planification puis concluons avec nos contributions dans ce domaine.

2.1 Motivation

Nous illustrons notre méthode tout au long de ce papier par un problème d'exploration planétaire (plus connu sous le nom de *mars rover*), dans lequel un robot doit naviguer sur mars, visiter différents points d'intérêts et effectuer des opérations telles que la collecte d'échantillons. Bien que ce problème ait été étudié dans le cas de ressources limitées (e.g. énergie) [14, 11], nous constatons que dans le cadre de missions qui peuvent s'avérer coûteuses, il est également important de considérer la notion de risque. En effet, le robot pourrait par exemple rester bloqué par un cratère, ce qui causerait sa perte. Pour mettre en évidence ces aspects, nous modifions légèrement ce problème en restreignant les buts à l'exploration de différents points d'intérêts, et en ajoutant la notion de risque sur les déplacements du robot. C'est à dire qu'à chaque déplacement, en fonction de la présence de dangers sur le sol, le robot a une probabilité de rester bloqué (ce qui provoque un échec de la mission). L'objectif de notre méthode sur ce problème est de trouver les meilleurs points d'intérêts à visiter, tout en garantissant que le robot ne prendra pas trop de risques et ne restera pas bloqué.

2.2 Problème de satisfaction de contraintes en planification

L'objectif de la planification classique est d'atteindre un état satisfaisant tous les buts du problème. Cependant, il n'est pas toujours possible de tous les atteindre, soit pour des raisons de conflits logiques entre les buts, soit par manque de ressources. On dit alors que le problème est sur-contraint. Dans ce cas, une solution peut seulement satisfaire un sous-ensemble de buts. On se retrouve alors dans un problème de planification sous contraintes dans lequel on cherche le meilleur sous-ensemble de buts satisfaisant les contraintes. Ces problèmes sont connus sous les noms de OSP, premièrement introduit par *Smith* [14] et de PSP introduit plus tard par *Briel et al.* [19]. Bien que ces deux types de problème ont les mêmes définitions et contraintes (l'ensemble des buts n'est pas atteignable), ils ont des perspectives différentes.

Partial satisfaction planning (PSP). Le *PSP Net Benefit* [13] est un problème dans lequel des scores (préférences) sont attribués aux différents buts, et des coûts aux actions. La solution recherchée est un plan avec le meilleur bénéfice net, c'est-à-dire le cumul des scores moins le coût pour atteindre les buts. L'inconvénient de cette approche est de supposer que les scores et les coûts sont comparables et donc du même ordre. Cependant, dans notre approche la probabilité d'atteindre un but n'est pas comparable avec un score, c'est pourquoi nous nous sommes tournés vers les OSPs.

Over-subscription planning (OSP). Dans les problèmes OSPs, l'objectif est de maximiser le score des buts atteints tout en respectant la limite imposée sur les ressources/coûts disponibles. Les méthodes utilisées pour ce

type de problèmes s'appuient souvent sur une approche en deux étapes [14, 4]. La première est de sélectionner, via une heuristique, un sous-ensemble de buts satisfaisant les contraintes du problème. La seconde étape est d'utiliser cette sélection pour guider le planificateur. Les buts sont donnés un par un au planificateur, qui planifie chaque but et s'arrête quand ils sont tous atteints ou que les ressources sont épuisées. La difficulté de cette approche est la sélection des meilleurs buts, car il n'est pas possible de faire une recherche complète dans tout l'espace d'état. Pour simplifier ce processus, nous réalisons une estimation des ressources utilisées pour atteindre les buts à l'aide d'une version relaxée du problème. Par exemple, Smith [14] propose une abstraction du problème sous la forme d'un Orienteering Problem (OP), qui est un graphe orienté dans lequel chaque nœud est un but (associé d'un score), et chaque arc l'estimation du coût entre les deux buts qu'il relie. L'OP est ensuite résolu par la recherche d'un chemin maximisant les scores sans dépasser la limite imposée sur les coûts. Similairement, *García et al.* [4] construisent une matrice de distance depuis une version relaxée du problème, et applique ensuite un algorithme de recherche en faisceau. Ces méthodes ont été appliquées sur des domaines déterministes, mais ne sont pas adaptées aux domaines probabilistes.

Dans les travaux de *Meuleau et al.* [11], le cas probabiliste a été étudié sous le nom de *Stochastic Over-Subscription Planning* (SOSP). La première étape de leur méthode est la résolution d'un MDP pour chaque but du problème (également appelé sous-tâche). Ces MDPs sont beaucoup plus petits et donc plus simple à résoudre que le problème initial. La seconde étape consiste à planifier ces sous-tâches une par une pour former la solution complète du problème. Bien que cette approche est adaptée aux domaines probabilistes, elle adopte une attitude neutre (*risk-neutral attitude*). À l'inverse, mais sur le même principe que *Geibel* [5], qui définit le risque d'une solution comme la probabilité d'entrer dans un état fatal ou non désiré, nous définissons le degré de sûreté d'une solution par sa probabilité d'entrer dans un état satisfaisant les buts sélectionnés par l'heuristique. Dans l'objectif de garantir une *solution sûre*, notre méthode de sélection des buts repose sur la construction d'un graphe dont chaque arc représente la probabilité d'atteindre un but depuis un autre. À l'aide de ce graphe, les buts sont sélectionnés un par un en respectant que la multiplication des probabilités reste au-dessus du *seuil de sûreté*.

2.3 Contribution

Comme vu dans la section précédente, ce sont les OSPs qui sont les plus proches de notre problématique, et c'est sur ces modèles que nous nous appuyerons. Nous proposons une approche pour limiter les risques liés aux problèmes de planification probabiliste, en réduisant le nombre de buts à atteindre afin de garantir une *solution sûre* du point de vue du décideur. Voici les points essentiels de notre contribution :

1. Une méthode pour estimer la probabilité de but

(*RP*), soit la probabilité d'atteindre un but depuis un autre but.

2. Un algorithme garantissant une *solution sûre*, définie avec un *seuil de sûreté* configurable.

3 Heuristique pour la sélection des buts

Chaque but a un score, qui représente son intérêt par rapport aux autres buts. L'heuristique pour la sélection des buts est en charge de choisir les meilleurs buts (avec la meilleure somme des scores) atteignables avec une probabilité supérieure au seuil de sûreté. Cette sélection est ensuite utilisée pour guider le planificateur. Notre heuristique se décompose en trois étapes :

1. Création d'une version relaxée du problème, réduisant l'espace d'état et permettant l'identification d'*états but* (état satisfaisant au moins un but du problème).
2. Une estimation au travers du problème relaxé, de la probabilité de but et du coût entre tous les états but identifiés.
3. La recherche dans un graphe (construit à l'aide des états but et estimations précédemment calculés) des meilleurs buts à atteindre.

Avant de détailler ces trois étapes, nous donnons la forme du problème relaxé utilisée pour formaliser l'heuristique.

Formalisation. Le problème relaxé est formalisé sous la forme d'un MDP [12]. L'ensemble des buts de ce MDP, que nous notons S_G , correspond aux états but identifiés lors de la phase de relaxation. Nous faisons le choix d'utiliser les MDPs car ils formalisent très bien les problèmes probabilistes. Le formalisme utilisé est donc un MDP sans facteur d'actualisation (*undiscounted MDP*) sous la forme $\langle S, A, S_G, p, c, u, \alpha, s_0 \rangle$ tel que :

- S est un ensemble fini d'états ($s_0 \in S$ étant l'état initial).
- A est un ensemble fini d'actions. Nous notons $A(s)$ le sous-ensemble des actions applicables dans un état s .
- $S_G \subseteq S$ est une liste d'états but ($s_g \in S_G$ désignant un état but).
- $u(s_g) > 0$ est le score de l'état but s_g .
- $p(s, a, s') \in [0, 1]$ est une fonction de transition qui donne la probabilité d'aller d'un état s à un état s' en appliquant l'action a .
- $c(s, a) > 0$ est le coût de l'action a dans l'état s .
- $\alpha \in [0, 1]$ est le *seuil de sûreté* et $\beta = 1 - \alpha$ est le *seuil de risque*.

3.1 Relaxation du problème

Chercher la meilleure sélection des buts, via une recherche complète dans l'espace d'état, est en pratique impossible. En effet, le nombre d'états but peut vite devenir très grand. C'est pourquoi des méthodes d'abstraction de l'espace

d'état ont été utilisées pour résoudre ce type de problème [9, 8]. La plupart de ces méthodes appliquées aux OSPs créent une version relaxée du problème sous forme de graphe, dont les nœuds représentent les états but étiquetés de leurs scores et les arcs les ressources nécessaires pour aller d'un état but à un autre [14, 4]. La sélection des buts se fait alors à l'aide d'algorithmes de recherche dans un graphe, dont le chemin recherché doit maximiser la somme des nœuds tout en respectant une limite de capacité sur les arcs. La méthode de relaxation que nous utilisons dans notre heuristique est très proche de celles proposées par *Smith* ou *Benton et al.* [14, 2]. Pour être efficace, cette méthode suppose que les différents buts sont suffisamment indépendants entre eux, hypothèse que nous pouvons faire dans le cadre de notre cas d'application où les buts sont des sous-tâches indépendantes que le robot doit réaliser (visiter différents points d'intérêts). Nous ne rentrons pas dans les détails de la relaxation car ce n'est pas l'objectif de cet article, nous donnons cependant l'idée générale. Cela consiste à identifier les interactions et variables partagées entre les buts, ce qui permet ensuite de former un espace d'état restreint et donc l'identification des états but. Chaque état but identifié sur le problème relaxé correspond à un but du problème initial. Le plan relaxé ainsi formé, est une version simplifiée du problème, contenant suffisamment d'informations pour estimer les coûts et probabilités entre les buts.

3.2 Fonction probabilité de but et coût de but

S'inspirant de Teichteil-Königsbuch [17], et pour des raisons d'uniformisation, nous appellerons la fonction estimant la probabilité d'atteindre un but, la fonction probabilité de but (noté RP). Quant à la fonction coût de but (noté V), elle estime les coûts entre les états but. Ces deux fonctions sont des *fonctions de valeur*, qui associent une valeur pour chaque état. Nous les approximations via une méthode de *programmation dynamique* [16, 3] avec un algorithme *Value Iteration* appliqué au problème relaxé. L'algorithme *Value Iteration* s'appuie sur la résolution de l'équation de Bellman [1], qui approche la valeur exacte par raffinement itératif. Cette équation est définie comme suit :

$$V(s) = \min_{a \in A(s)} Q(s, a) \quad (1)$$

$$Q(s, a) = c(a, s) + \sum_{s'} p(s, a, s')V(s')$$

En général, une fonction de valeur est une estimation de l'intérêt d'être dans un état s , par rapport à l'ensemble des buts du problème. Dans le cas sur-contraint, nous estimons les fonctions de valeur, par rapport à chaque état but du problème relaxé. C'est donc un vecteur de fonctions de valeur, de la taille du nombre d'états but.

Approximation des fonctions de valeur. Tandis que l'approximation de la fonction coût de but est une application directe de l'équation de Bellman, la fonction probabilité de but en est une variante où les valeurs initiales sont

égales à 1 quand on entre dans un état but et 0 sinon. Sur le même principe que la formulation proposée par *Steinmetz et al.* [15], nous définissons $RP(s, s_g)$, la probabilité d'entrer dans un état but s_g depuis un état s et $\sigma(s, a, s_g)$ la probabilité d'entrer dans un état but s_g depuis un état s en appliquant l'action a :

$$RP(s, s_g) = \max_{a \in A(s)} \sigma(s, a, s_g) \quad (2)$$

$$\sigma(s, a, s_g) = \sum_{s'} p(s, a, s')RP(s', s_g) \quad (3)$$

La fonction coût de but $V(s, s_g)$ est défini sous la forme de l'équation de Bellman (cf. Eq.1), non pas en sélectionnant l'action qui minimise le coût mais l'action qui maximise la probabilité de but. De la sorte, les deux fonctions de valeur sont mise à jour avec la même action (i.e. qui minimise σ) et donc les mêmes décisions de l'agent. La fonction coût de but est alors une estimation des futurs coûts quand l'agent agit en maximisant sa probabilité de but.

$$V(s, s_g) = Q(s, a, s_g) \text{ s.t. } a = \operatorname{argmax}_{a \in A(s)} \sigma(s, a, s_g) \quad (4)$$

$$Q(s, a, s_g) = c(a, s) + \sum_{s'} p(s, a, s')V(s', s_g) \quad (5)$$

Dans ce papier, nous faisons l'hypothèse qu'il existe au moins une politique avec une probabilité de succès non nulle et que tous les coûts sont strictement positifs. Ainsi toutes les politiques non-propres (*improper policies* en anglais) accumulent un coût infini, ce qui permet à l'équation de Bellman de toujours avoir une solution. Une fois que nous avons estimé la probabilité de but et le coût, on peut en déduire comme un cas particulier, la probabilité et le coût pour aller d'un état but s_{g1} à un autre état but s_{g2} , soit $RP(s_{g1}, s_{g2})$ et $V(s_{g1}, s_{g2})$.

3.3 Sélection des buts

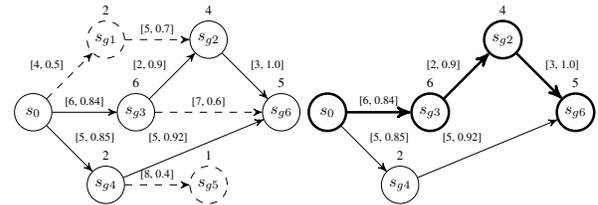


FIGURE 1 – Exemple d'un *SGGraph* avec $\alpha = 0.75$ et des arcs étiquetés avec $[V, RP]$. Le meilleur chemin est $(s_0, s_{g3}, s_{g2}, s_{g6})$ et les meilleurs buts $\{s_{g3}, s_{g2}, s_{g6}\}$.

Le processus de sélection des buts est chargé de choisir et d'ordonner le meilleur sous-ensemble de buts pouvant être satisfait par une solution sûre. Dans la plupart des travaux similaires [14, 11, 4], la sélection se fait par la résolution d'un *orienteeing problem* (OP). Un OP [7, 20] est un problème de graphe dans lequel chaque nœud a un score, et dont l'objectif est de trouver un chemin Hamiltonien maximisant la somme des scores sans dépasser une

certaine limite. Pour les problèmes OSPs, un graphe est construit depuis la version relaxée, ce qui permet ensuite de trouver les meilleurs buts via un algorithme de résolution d'OP. Dans notre cas, nous appelons *SGGraph*, le graphe orienté dont les nœuds sont l'état initial et les états but identifiés lors de la phase de relaxation. Les arcs du graphe représentent les dépendances entre états but (probabilité de but et coût de but). Le *SGGraph* est ensuite résolu comme un OP, en cherchant un chemin dont le produit des probabilités de but est supérieur au seuil de sûreté α . Un exemple de *SGGraph* est donné dans la Figure 1. Plus formellement, nous définissons $SGGraph = (S, E)$ avec S l'ensemble des nœuds tel que $S = S_g \cup \{s_0\}$ et E les arcs avec pour étiquette la probabilité de but et le coût pour aller d'un nœud s_1 à un autre nœud s_2 sous la forme : $[V(s_1, s_2), RP(s_1, s_2)]$. Nous définissons également $RP(path)$, la probabilité d'atteindre tous les états but d'un chemin. C'est le produit des RP pour aller de l'état initial au premier état but du chemin, puis d'état but en état but dans l'ordre donné par le chemin. A noter que tout chemin valide doit commencer par l'état initial.

$$path = (s_0, s_{g0}, s_{g1}, \dots, s_{gn}) \text{ s.t. } s_{gi} \in S_g$$

$$RP(path) = RP(s_0, s_{g0}) \times \prod_{i=0}^{n-1} RP(s_{gi}, s_{gi+1}) \quad (6)$$

Un chemin est sûr, si sa probabilité de but $RP(path)$ est au-dessus du seuil de sûreté α .

$$RP(path) \geq \alpha \quad (7)$$

Nous définissons aussi l'utilité d'un chemin $U(path)$ comme étant la somme des utilités des états but du chemin et le coût d'un chemin $C(path)$ comme le coût total pour atteindre tous les états but du chemin.

$$U(path) = \sum_{i=0}^n u(s_{gi}) \quad (8)$$

$$C(path) = V(s_0, s_{g0}) + \sum_{i=0}^{n-1} V(s_{gi}, s_{gi+1}) \quad (9)$$

Le chemin optimal recherché, est un chemin sûr, maximisant U en premier critère et minimisant C en second. Ce second critère est utilisé lorsque plusieurs chemins sont sûrs et d'utilités équivalentes. Ce qui est fréquemment le cas quand plusieurs chemins sont composés des mêmes états but dans un ordre différent. Dans cette situation, le critère de coût permet de choisir l'ordre le moins coûteux. Enfin, nous appelons la sélection des buts $list_g$, qui est le chemin optimal moins l'état initial. L'algorithme de recherche du chemin optimal est donnée dans la partie 4.

$$list_g = (s_{g0}, s_{g1}, \dots, s_{gn}) \text{ s.t. } s_{gi} \in S_g$$

$$list_g = SGGraph(s_0) \quad (10)$$

3.4 Un petit exemple

Nous illustrons l'utilisation de notre heuristique de sélection des meilleurs buts via la version modifiée du problème d'exploration, que nous avons présenté à la section 2.1.

Relaxation du problème. L'espace d'état est réduit à la position du robot et les actions à ses déplacements possibles dans les 4 directions cardinales (i.e. problème de type *grid world*).

Probabilité de but et coût de but. Dans la Figure 1, s_0 est la position initiale du robot, s_{gi} ($i \in 1, 2, \dots, 6$) sont les points d'intérêts à visiter (buts) étiquetés de leurs scores. Les étiquettes des arcs correspondent respectivement, à la distance pour aller d'un point à un autre (coût) et à la probabilité d'atteindre un point depuis un autre.

Sélection des buts. Dans la Figure 1, il y a 2 chemins possibles : $path_a = (s_{g3}, s_{g2}, s_{g6})$ et $path_b = (s_{g4}, s_{g6})$. En utilisant l'Eq.6 et l'Eq.8, nous obtenons :

$$- RP(path_a) = 0.84 \times 0.9 \times 1 = 0.756 \text{ et } U(path_a) = 6 + 4 + 5 = 15.$$

$$- RP(path_b) = 0.85 \times 0.92 = 0.782 \text{ et } U(path_b) = 2 + 5 = 7.$$

En fixant $\alpha = 0.75$, les deux chemins $path_a$ et $path_b$ sont sûrs ($RP(path_a) \geq \alpha$ et $RP(path_b) \geq \alpha$). Cependant, le meilleur chemin est $path_a$ car de qualité supérieure ($U(path_a) > U(path_b)$). Notons que le coût n'intervient pas dans cet exemple pour des raisons de simplicité, mais aurait été utilisé si les deux chemins étaient de même qualité. Enfin, nous extrayons depuis le $path_a$, la sélection des buts, soit $list_g = (s_{g3}, s_{g2}, s_{g6})$.

4 Algorithmes

Dans cette partie, nous commençons par présenter l'algorithme *Value Iteration* (VI) utilisé pour approximer nos deux fonctions de valeur (probabilité de but et coût de but). Nous détaillons ensuite notre méthode pour résoudre le *SGGraph* et finissons par présenter la solution globale du problème.

4.1 Algorithme VI

Algorithm 1 Relaxed Plan Value Iteration

```

1: function RPVALUEITERATION
2:   InitializeStates() ▷ see Eq.11
3:   repeat
4:      $\Delta_{RP} = 0, \Delta_V = 0$ 
5:     for each  $s \in S$  do
6:       for each  $s_g \in S_G$  do ▷ for all goal states
7:          $safe_a = \operatorname{argmax}_{a \in A(s)} \sigma(s, a, s_g)$ 
8:          $V(s, s_g) = Q(s, safe_a, s_g)$ 
9:          $RP(s, s_g) = \sigma(s, safe_a, s_g)$ 
10:         $\Delta_V = \max(\Delta_V, R_V(s, s_g))$ 
11:         $\Delta_{RP} = \max(\Delta_{RP}, R_{RP}(s, s_g))$ 
12:   until  $\Delta_V < \epsilon$  &  $\Delta_{RP} < \delta$  ▷ see Eq.12

```

Initialisation. La fonction coût de but V est initialisée pour chaque état arbitrairement avec une valeur positive. La fonction probabilité de but RP est initialisée à 1 pour chaque état but et 0 sinon. Plus formellement :

$$\begin{aligned} \forall s_i, s_j \in S \text{ and } \forall s_g \in S_G, \\ V(s_i, s_j) \geq 0, RP(s_i, s_g) = 1 \text{ else } RP(s_i, s_j) = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

Condition d'arrêt. L'algorithme VI s'arrête quand le résidu sur l'équation de Bellman entre deux itérations est suffisamment petit pour tous les états. Soit, quand le résidu sur Eq.2 et Eq.4 est suffisamment petit pour tous s et s_g .

$$\begin{aligned} R_V(s, s_g) &= |V(s, s_g) - V'(s, s_g)| \\ R_{RP}(s, s_g) &= |RP(s, s_g) - RP'(s, s_g)| \\ \forall s \in S, \forall s_g \in S_G, R_V(s, s_g) &< \epsilon, R_{RP}(s, s_g) < \delta \end{aligned} \quad (12)$$

Calcul des fonctions de valeur. Dans l'algorithme 1, les fonctions de valeur sont approximées en calculant itérativement Eq.2 et Eq.4 jusqu'à la condition d'arrêt définie plus haut. Pour trouver des solutions sûres, ces deux fonctions sont calculées en choisissant à chaque fois l'action la plus sûre, soit l'action maximisant la probabilité de but (ligne 7). Lignes 8 et 9, V et RP sont calculées avec cette action, puis le résidu maximal est stocké lignes 10 et 11. L'algorithme s'arrête quand Δ_V et Δ_{RP} sont suffisamment petits (nous discutons dans nos tests des valeurs de ϵ et δ). La notation σ et Q est utilisée par souci d'espace, mais σ est à remplacer par la partie droite de Eq.3 et Q par celle de Eq.5.

4.2 Résoudre SGGraph

Sur le graphe $SGGraph$, le processus de sélection des buts consiste à trouver un chemin sans boucle et optimal (voir partie 3.3 pour la définition d'un chemin optimal). Dans un premier temps, nous simplifions le graphe en retirant tout élément ne pouvant pas faire partie d'une solution valide. C'est à dire tous les arcs dont la probabilité de but est inférieure au seuil α , ainsi que tous les nœuds non reliés à l'état initial s_0 (voir éléments en pointillés sur la Figure 1). Une fois le graphe réduit, l'étape suivante est la recherche du chemin optimal. La complexité en temps de la recherche d'un chemin dans un graphe orienté avec cycle est exponentielle. Par conséquent, des méthodes de recherche heuristique doivent être utilisées. Nous faisons le choix d'une recherche en faisceau, qui permet d'obtenir une bonne solution en un temps raisonnable (c'est cette même méthode qui a été utilisée dans d'autres travaux similaires [14, 4]). Ce type de recherche n'explore qu'un ensemble limité de fils à chaque niveau, réduisant ainsi la mémoire et le temps d'exécution nécessaire. Le nombre de fils exploré à chaque étape est paramétrable et correspond à la largeur du faisceau, que nous dénotons k . L'utilisation d'une heuristique permet de choisir quels sont potentiellement les meilleurs

fils à explorer. Dans notre cas, nous avons choisi une heuristique sélectionnant les fils ayant la meilleure probabilité de but direct, c'est à dire la probabilité de but entre l'état courant et le fil en question. Bien que la solution optimale ne soit pas garantie, car la recherche n'est pas complète, une bonne heuristique permet de trouver rapidement une bonne solution. Nous appliquons cet algorithme sur une recherche en profondeur, et évitons les cycles en marquant chaque nœud quand on rentre dans la récursion et en retirant la marque quand on en sort. Pour chaque chemin sûr rencontré, nous comparons l'utilité U (Eq.8) et si besoin le coût C (Eq.9) avec l'actuel meilleur chemin, puis conservons le meilleur des deux.

4.3 Planifier les buts sélectionnés

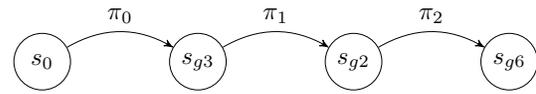


FIGURE 2 – La politique finale $\pi = (\pi_0, \pi_1, \pi_2)$ est l'agrégation des politiques trouvées pour résoudre chaque but de la sélection.

Étant dans un contexte de planification probabiliste, nous ne pouvons pas simplement atteindre un par un les buts de la sélection, nous devons donc définir une politique pour chaque état but. L'idée est de planifier tous les états but s_{gi} de la sélection, comme des sous-problèmes indépendants, puis d'agréger les sous-solutions pour former la solution finale (cf. Figure 2). La définition de chaque sous-problème est la même que le problème initial en terme d'actions, états, fonction de transitions et coûts des actions. Elle diffère par contre pour l'état initial ainsi que les buts. L'état initial d'un sous-problème et l'état final du sous-problème précédent. Les buts G_i du sous-problème i sont l'ensemble des prédicats de l'état but s_{gi} correspondant à ce sous-problème. Nous résolvons chaque sous-problème avec un algorithme VI, qui estime $V_i(s)$ et $RP_i(s)$, respectivement le coût et la probabilité d'atteindre un état satisfaisant G_i , avec la même approche que celle présentée précédemment sur le problème relaxé. Nous déterminons ensuite la politique π_i choisissant les actions qui maximisent d'abord la probabilité de but, puis le coût en cas d'égalité. Pour cela, nous définissons $SA(s)$ l'ensemble des actions maximisant la probabilité d'atteindre G_i et π_i tel que :

$$SA(s) = \operatorname{argmax}_{a \in A(s)} \left\{ \sum_{s'} p(s, a, s') RP_i(s') \right\}$$

$$\pi_i(s) = \operatorname{argmin}_{a \in SA(s)} \left\{ c(a, s) + \sum_{s'} p(s, a, s') V_i(s') \right\} \quad (13)$$

La solution du problème s'exprime sous la forme $\pi(s) = (\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_n)$. Chaque politique est utilisée l'une après l'autre pour atteindre chaque but dans l'ordre de la sélection. Techniquement, les buts déjà atteints sont stockés en mémoire pour connaître à chaque moment la prochaine politique à utiliser.

5 Résultats numériques

5.1 Cas d'étude

Dans cette partie, nous présentons les résultats numériques que nous avons obtenus en appliquant notre heuristique sur la version simplifiée du problème d'exploration planétaire présentée précédemment. Ce problème, proche d'un problème de type *grid world*, permet d'illustrer nos travaux. Il est composé d'une grille pour modéliser la planète, dont chaque case est une position possible du robot. Les buts du problème sont des cases représentant les sites d'intérêts que le robot doit atteindre. Comme présenté dans la section 2.1, nous ajoutons la notion de risque à ce problème en distinguant deux types de case : les cases sûres et les cases risquées. L'idée est qu'à chaque fois que le robot part d'une case risquée, il a une certaine probabilité de rester bloqué. Le robot peut effectuer quatre actions : aller vers le nord, l'est, le sud ou l'ouest. Sur une case sûre, une action $a \in A$ déplacera le robot sur la case désirée avec une probabilité p , ou sur l'une des trois autres directions avec une probabilité $(1-p)/3$ si l'action échoue (définition classique d'un problème de type *grid world* en environnement probabiliste). Sur une case risquée, le robot a une probabilité q de rester bloqué, et donc $1-q$ de se déplacer. L'objectif pour le robot est de visiter les sites avec les scores les plus élevés, tout en garantissant une probabilité de succès supérieur au seuil de sûreté. Une simulation est réussie si le robot atteint tous les sites sélectionnés sans rester bloqué. Dans un premier temps, nous évaluons pour différents seuils, la qualité des sélections des buts obtenue par l'heuristique, puis nous effectuons quelques tests de performance.

Sélection des paramètres de condition d'arrêt. Nous rappelons que ϵ et δ , sont les paramètres utilisés pour contrôler le résidu sur l'équation de Bellman, et donc la précision des estimations sur les fonctions de valeur. Pour choisir les valeurs les plus appropriées, nous avons mesuré la sensibilité de nos résultats pour des valeurs allant de 0.1 à 0.0001. En effectuant des tests sur des cas nominaux et extrêmes, nos résultats convergeaient vers les mêmes estimations à partir de 0.01 pour les deux paramètres, c'est donc la valeur que nous avons choisi.

5.2 Résultats

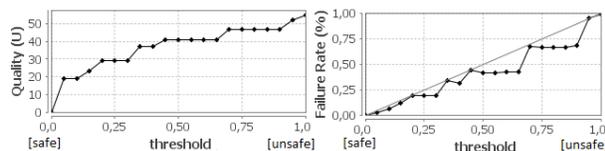


FIGURE 3 – Test sur la sélection des buts. La qualité (U) est la somme des scores des buts. Le taux d'échec, et le pourcentage de simulations terminant sans avoir atteint les buts prévus par la sélection.

Dans nos tests présentés dans la Figure 3, nous avons utilisé une grille de 25×25 , et différents seuils de risque β

entre 0 et 1. Nous utilisons β au lieu de α pour des raisons de simplicité de raisonnement, ce qui représente ainsi une limite de risque à ne pas dépasser. Nous avons défini dix buts générés de manière aléatoire, et 50% de cases risquées avec une probabilité $q = 0.1$ de rester bloqué. Nous avons d'abord testé la sélection des buts pour différents seuils puis nous avons simulé chaque sélection pour vérifier le bon respect du seuil. Sur le graphe de gauche de la Figure 3, l'axe x représente le seuil de risque et l'axe y la qualité U obtenue en sommant les scores des buts de la sélection. On peut voir que la qualité croît de façon monotone quand le risque croît. Dans certains cas (par exemple pour $\beta \in [0.45, 0.65]$), la qualité reste constante, signifiant qu'aucune autre meilleure sélection des buts est possible jusqu'à un certain seuil. Dans le deuxième graphe, nous testons via des simulations que chaque sélection des buts générée respecte bien le seuil de risque imposé. Pour ce faire, nous simulons chaque planification de la sélection 1000 fois (nous avons obtenu la même précision en testant avec 2000 simulations), et calculons le taux moyen d'échec, soit le taux de simulation n'ayant pu atteindre tous les buts prévu par la sélection. Comme prévu, le taux d'échec n'excède jamais le seuil β (la ligne diagonale). Toutefois, on repère parfois des intervalles relativement importants entre cette ligne et le taux d'échec. Ceci est dû au fait que le planificateur détecte qu'il ne peut ni augmenter la qualité, ni baisser le coût, avec le risque supplémentaire qui lui est alloué. Il maintient donc la probabilité de but aussi haute que possible.

5.3 Performances

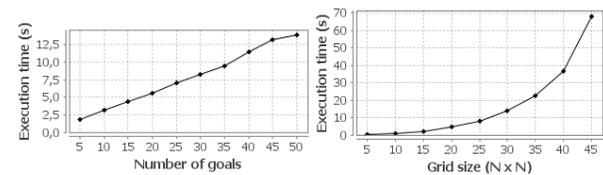


FIGURE 4 – Test de performances : sur la gauche, nous faisons varier le nombre de buts sur un espace d'état constant (grille : 25×25). A l'inverse, sur la droite, c'est l'espace d'état qui varie et le nombre de buts qui est fixe (8).

Dans la Figure 4, nous traçons le temps d'exécution en seconde du processus de sélection des buts en fonction du nombre de buts total. Nous avons remarqué que ce temps d'exécution est en réalité très proche du temps d'exécution de l'algorithme 1 qui estime les fonctions de valeur. En effet, construire le graphe *SGGraph* et rechercher le meilleur chemin ne prend pas plus de 2% du temps total d'exécution de l'heuristique. Ceci à condition d'avoir une recherche en faisceau efficace. Dans notre cas nous avons testé plusieurs largeurs de faisceau et conclu qu'en moyenne, l'heuristique converge vers une solution unique avec une largeur de faisceau de $0.25 \times$ le nombre total de buts. Avec cette largeur de faisceau, nous avons obtenu une recherche toujours inférieure à 250 ms pour une grille al-

lant jusque 45×45 états et 50 buts.

6 Conclusion

Beaucoup de problèmes de planification probabilistes en condition réelle produisent des solutions non sûres, ce qui peut être critiques dans certains domaines tels que le domaine spatial (un robot explorateur peut coûter très cher, etc.). Dans ce papier, nous avons décrit une heuristique pour trouver des solutions satisfaisant les meilleurs buts possibles, tout en limitant la prise de risque. Notre méthode sélectionne les meilleurs buts qui pourront être atteints avec une probabilité de succès supérieure à un seuil donné. Cette sélection s'appuie sur un algorithme de type *Value Iteration* qui estime la probabilité de but ainsi que le coût entre chaque but à l'aide d'une version relaxée du problème.

Nous travaux ont soulevé de nouveaux problèmes : une prochaine étape serait de travailler sur un choix autonome du seuil par le planificateur. Une solution envisagée serait d'avoir un seuil qui repose sur le critère de Hurwitz, permettant ainsi d'avoir un compromis variable entre une attitude sûre et une attitude risquée. De plus, l'algorithme VI, qui explore tout l'espace d'état, prend beaucoup de temps. Nous prévoyons donc d'appliquer notre méthode de sélection sur des algorithmes dit *Anytime* tels que RTDP ou L-RTDP qui peuvent converger beaucoup plus rapidement vers des solutions presque optimales. Et enfin, nous prévoyons d'appliquer notre heuristique sur des domaines plus complexes et larges, tels que la planification de situations critiques en environnement virtuel pour la formation de médecins.

Références

- [1] R. Bellman. *Dynamic Programming*. Princeton University Press, 1957.
- [2] J. Benton, Minh Do, and S. Kambhampati. Anytime heuristic search for partial satisfaction planning. *Artificial Intelligence*, 173 :562–592, 2009.
- [3] DP. Bertsekas. *Dynamic Programming and Optimal Control 3rd Edition, Volume II Chapter 6 Approximate Dynamic Programming 6 Approximate Dynamic Programming*. 2011.
- [4] A. García-Olaya, T. De La Rosa, and D. Borrajo. Using the relaxed plan heuristic to select goals in oversubscription planning problems. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, volume 7023 LNAI, pages 183–192, 2011.
- [5] P. Geibel. Reinforcement learning with bounded risk. *Proceedings of the Eighteenth International Conference on Machine Learning*, 9(D) :162–169, 2001.
- [6] M. Ghallab, DS. Nau, and P. Traverso. *Automated planning and acting*. Cambridge University Press, 2016.
- [7] BL. Golden, L. Levy, and R. Vohra. The Orienteering Problem. 1987.
- [8] M. Helmert, P. Haslum, J. Hoffmann, and R. Nissim. Merge-and-Shrink Abstraction : A Method for Generating Lower Bounds in Factored State Spaces. *Journal of ACM*, 61(3) :63, 2014.
- [9] M. Katz and D. Carmel. Implicit abstraction heuristics. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 39 :51–126, 2010.
- [10] LA. Kramer and SF. Smith. Maximizing Flexibility : A Retraction Heuristic for Oversubscribed Scheduling Problems. *International Conference on Automated Planning and Scheduling*, 2005.
- [11] N. Meuleau, R. Brafman, and E. Benazera. Stochastic Over-Subscription Planning Using Hierarchies of MDPs. *International Conference on Automated Planning and Scheduling*, pages 121–130, 2006.
- [12] Groupe PDMIA. *Processus décisionnels de Markov en intelligence artificielle. Edité par Olivier Bu et Olivier Sigaud*, 1, 2008.
- [13] R. Sanchez-Nigenda and S. Kambhampati. Planning Graph Heuristics for Selecting Objectives in Over-subscription Planning Problems. In *Proceedings of the 15th International Conference on Automated Planning and Scheduling*, pages 192–201, 2005.
- [14] D. Smith. Choosing Objectives in Over-Subscription Planning. *International Conference on Automated Planning and Scheduling*, pages 393–401, 2004.
- [15] M. Steinmetz, J. Hoffmann, and O. Buffet. Revisiting Goal Probability Analysis in Probabilistic Planning. *International Conference on Automated Planning and Scheduling*, (0) :299–307, 2016.
- [16] RS. Sutton and AG Barto. Reinforcement learning. *Learning*, 3(9) :322, 2012.
- [17] F. Teichteil-Königsbuch. *Problèmes de Plus Sûr et Plus Court Chemin Stochastique*.
- [18] F. Teichteil-Königsbuch. Stochastic Safest and Shortest Path Problems. *Association for the Advancement of Artificial Intelligence*, pages 1825–1831, 2012.
- [19] M. van den Briel, R. Sanchez, and S. Kambhampati. Over-subscription in Planning : A Partial Satisfaction Problem. *ICAPS 2004 Workshop on Integrating Planning into Scheduling*, 2004.
- [20] P. Vansteenwegen, W. Souffriau, and DV. Oudheusden. The orienteering problem : A survey. *European Journal of Operational Research*, 209 :1–10, 2011.

Représentation de termes complexes dans un espace vectoriel relié à une ontologie pour une tâche de catégorisation.

A. Ferré^{1,2}

1 MaIAGE, INRA, Université Paris-Saclay, 78350 Jouy-en-Josas, France

2 LIMSI, CNRS, Université Paris-Saclay, 91405 Orsay, France

INRA de Jouy en Josas, Domaine de Vilvert, 78352 Jouy-en-Josas

arnaud.ferre@universite-paris-saclay.fr

Résumé

Nous proposons dans cet article une méthode semi-supervisée pour étiqueter des termes de textes par les concepts d'une ontologie. La méthode génère des représentations vectorielles continues des termes complexes dans un espace sémantiquement structuré par l'ontologie du domaine. La méthode proposée s'appuie sur une approche de sémantique distributionnelle, qui génère des vecteurs initiaux pour chacun des termes extraits. Ces vecteurs sont alors plongés dans l'espace vectoriel construit à partir de la structure de l'ontologie. Ce plongement s'effectue par entraînement d'un modèle linéaire. Un calcul de distance est enfin effectué pour déterminer la proximité entre vecteurs de termes et vecteurs de concepts pour déterminer l'étiquetage ontologique des termes. Nous avons évalué la qualité de ces représentations pour une tâche de catégorisation en utilisant les concepts d'une ontologie comme étiquettes sémantiques. La performance de cette méthode atteint l'état de l'art pour cette tâche de catégorisation ouvrant d'encourageantes perspectives.

Mots Clef

TAL, extraction d'information, étiquetage de texte par une ontologie, espace vectoriel, sémantique distributionnelle, modèle linéaire

Abstract

We propose in this paper a semi-supervised method for labeling terms of texts by concepts of an ontology. The method generates continuous vector representations of complex terms in a semantically space structured by the ontology of the domain. The proposed method relies on a distributional semantics approach, which generates initial vectors for each of the extracted terms. Then these vectors are embedded in the vector space constructed from the structure of the ontology. This embedding is carried out by training a linear model. Finally, we apply a distance calculation to determine the proximity between vector of terms and vector of concepts and thus to determine the ontological tags of terms. We have evaluated the quality of these representations for a categorization task by using the concepts of an ontology as semantic labels. The performance of this method for the state of the art for this task of standardization opening up encouraging prospects.

Keywords

NLP, information extraction, ontology-based text tagging, vector space, distributional semantics, multivariate linear regression

1 Introduction

Beaucoup des connaissances du domaine biomédical ou biologique sont sous une forme non-structurée, comme celle exprimée dans les articles scientifiques [1]. Pour les experts de ces domaines, l'augmentation conséquente de la littérature spécialisée a créé un besoin important en méthodes automatiques d'extraction d'information [2]. La tâche de catégorisation est une des tâches principales pour répondre à ce besoin.

La catégorisation consiste à annoter des termes (mono- ou multi-mots) des textes avec une ou plusieurs catégories sémantiques (e.g. un terme extrait d'un corpus tel que « *children greater than 9 years of age who had lower respiratory illness* » pourrait être catégorisé par une catégorie sémantique ayant pour label « *pediatric patient* » et/ou « *patient with disease* »). Les concepts d'une ontologie peuvent être utilisés pour représenter ces catégories sémantiques de façon formelle et structurée. La catégorisation rencontre plusieurs difficultés, comme la variabilité importante de la morphologie des termes, qu'ils soient représentés par un mot ou par plusieurs [3]. Les termes multi-mots qui présentent des structures morphosyntaxiques variées et des imbrications complexes, tels que les groupes nominaux complexes (*complex noun phrases*) sont particulièrement difficiles à étiqueter par des catégories. Or, dans les textes de la littérature spécialisée, tels que les articles scientifiques en science du vivant, les groupes nominaux complexes sont abondant [4]. Une approche basée sur la similarité morphologique entre terme et étiquette sémantique apparaît limitée pour effectuer cette tâche [5], parce que la morphologie des labels des concepts n'est pas nécessairement proche de la morphologie des termes à annoter. Une autre difficulté vient du nombre important de catégories sémantiques utilisées, rendant une approche par classification supervisée coûteuse en annotation manuelle (plus de 2000 catégories par exemple dans l'ontologie des habitats bactériens OntoBiotop [6]). Une alternative consiste à calculer la proximité sémantique entre des termes par sémantique distributionnelle. C'est une approche fondée sur la corrélation entre la similarité de

sens et la similarité de distribution des unités sémantiques (mot, combinaison de mots, phrase, documents, ...) [7], [8]. Une unité sémantique peut être représentée par un vecteur construit à partir de la distribution des informations de contexte dans lesquels elle est trouvée. La proximité des vecteurs dans cet espace est alors transposable à une proximité sémantique [9]. Il existe aujourd'hui de nombreuses méthodes de génération de tels espaces vectoriels, tel que Word2Vec [10], mais celles-ci se concentrent habituellement sur les jeux de données massifs [11] dans lesquels l'information est relativement répétée. La question qui nous intéresse ici est : comment utiliser la sémantique distributionnelle pour catégoriser les termes par une ontologie, autrement dit comment relier l'information distributionnelle aux catégories d'une ontologie. Dans le cadre de la littérature spécialisée qui nous intéresse ici, la question se focalise sur des relativement petits corpus et un grand nombre de catégories sémantiques.

Nous proposons une méthode originale dans laquelle nous représentons des termes complexes basés sur un « plongement de mots » (*word embedding*), en représentant une ontologie sous forme d'espace vectoriel et en entraînant une transformation de vecteurs de termes en vecteurs de concepts. Ensuite, cette transformation est utilisée pour déterminer le concept le plus approprié pour chaque terme extrait.

2 Matériel

Les données utilisées sont celles de la tâche de catégorisation Bacteria Biotope (tâche 3) de BioNLP Shared Task en 2016 [12]. Les documents sont des références de la MEDLINE [13], composées de titres et de résumés d'articles scientifiques dans le domaine de la biologie. La tâche consiste, étant donné les entités du corpus dénotant les habitats bactériens, à leur assigner une catégorie de l'ontologie OntoBiotope. Le corpus (noté BB dans la suite) est divisé en trois : le corpus d'entraînement, le corpus de développement et le corpus de test. Dans les corpus d'entraînement et de développement les catégories des termes sont données : elles nous ont servi à entraîner notre méthode. Le corpus de test est celui pour lequel les catégories sont à prédire : il nous sert à évaluer notre méthode pour la tâche de catégorisation. Les entités de chacun de ces corpus ont été annotées manuellement. Voici un résumé de leurs caractéristiques :

	Entraîn.	Dév.	Test	Total
Documents	71	36	54	161
Mots	16 295	8 890	13 797	38 982
Entités	747	454	720	1 921
Entités distinctes	476	267	478	1 125
Cat. sémantiques	825	535	861	2 221
Cat. distinctes	210	122	177	329

TABLE 1 : Statistiques descriptives du corpus BB

En plus de ce corpus, nous avons utilisé un corpus élargi du même domaine pour générer des représentations

vectorielles de chaque mot. Il est composé de 100 000 phrases venant de titres et de résumés d'articles scientifiques dans le domaine de la biologie disponibles sur PubMed. Cela représente un corpus de taille relativement petit, qui contient une majorité de mots non-outils avec une faible fréquence d'apparition (cf. TABLE 2).

Répétés >2	72 412	35%
Répétés 2 fois	31 569	15%
Non répétés	105 364	50%
Total mots non-outils	209 345	100%

TABLE 2 : Statistiques descriptives du corpus élargi

3 Méthode

3.1 Génération de vecteurs de mots

L'espace vectoriel des termes (EVT) est obtenu en générant un vecteur pour chacun des mots du corpus élargi qui comprend également les corpus d'entraînement et de développement, mais pas le corpus test. Pour cela, nous avons utilisé l'outil Word2Vec [10] en prenant pour contexte d'un mot, tous les mots contenus dans la phrase. Pour avoir suffisamment de données d'entraînement pour la génération de vecteurs de mots, et aussi pour éviter de prendre en compte des fautes de frapes ou des erreurs, il est habituellement conseillé d'utiliser Word2Vec sans les mots peu fréquents, n'apparaissant qu'une ou deux fois dans tout le corpus. Notre corpus contenant beaucoup de mots d'intérêt à faible fréquence, nous avons fait le choix de ne pas appliquer de seuil de fréquence. Après quelques tests de performance, la dimension 200 a été choisie pour les vecteurs de sorties (cf. FIGURE 1A), ce qui est du même ordre de grandeur que ce qui est conseillé habituellement [10].

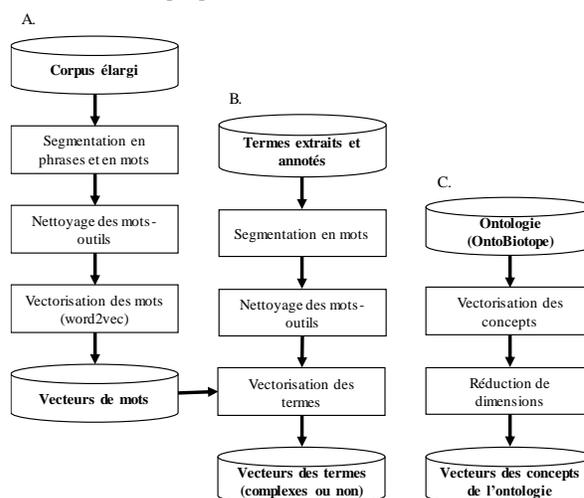


FIGURE 1 : A. Processus de création de vecteurs de mots. B. Processus de création des vecteurs de termes complexes. C. Processus de création de vecteurs de concepts

3.2 Génération de vecteurs de termes complexes

Pour calculer les représentations vectorielles des termes composés extraits des corpus (cf. FIGURE 1B), on

commence par les segmenter en mots. Pour chaque mot non-outil, on utilise le vecteur calculé par Word2Vec. Le vecteur du terme composé est obtenu par la moyenne des vecteurs des mots qui le composent :

$$v_{t_k} = \sum_{i=1}^{n_k} v_{m_i^k} / n_k \quad (1)$$

Où v_{t_k} est le vecteur associé au terme t_k , n_k est le nombre de mots non-outils du terme t_k , $v_{m_i^k}$ est le vecteur du mot m_i^k issu de Word2Vec, et le terme t_k est tel que :

$$\forall i \in [1, n_k], m_i^k \in t_k \quad (2)$$

3.3 Génération de vecteurs de concepts

Pour construire les vecteurs de concepts et donc un espace vectoriel ontologique (EVO), on initialise des vecteurs nuls possédant autant de dimension que de concepts dans l'ontologie. Chaque valeur du vecteur correspond donc à un des concepts de l'ontologie. La valeur est à 1 si le concept est un ancêtre du concept considéré, à 0 sinon :

$$v_{c_k} = (w_{c_k}^0, \dots, w_{c_k}^i, \dots, w_{c_k}^n) \quad (3)$$

Où v_{c_k} est le vecteur associé au concept c_k , c_k est relié à la $k^{\text{ème}}$ dimension des vecteurs (i.e. $w_{c_k}^k$), n est le nombre de concepts dans l'ontologie et $w_{c_k}^i$ est la valeur du vecteur v_{c_k} pour la dimension i , tel que :

$$w_{c_k}^i = \begin{cases} 1 & \text{si } i = k \\ 1 & \text{si } c_i \text{ parent (direct ou non) de } c_k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (4)$$

Cette représentation a comme intérêt de conserver les distances (distance cosinus) attendues entre les concepts (cf. FIGURE 2 et TABLE 3) : un concept est plus proche de ses fils, puis de ses parents.

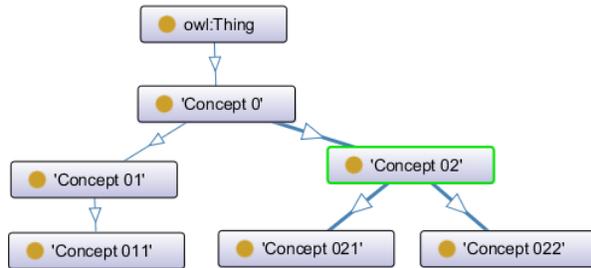


FIGURE 2 : Représentation conceptuelle d'une ontologie

Concept 02	Similarité
Concept 02	1,00
Concept 021	0,82
Concept 022	0,82
Concept 0	0,71
Concept 01	0,50
Concept 011	0,41

TABLE 3: Similarité cosinus du concept 02 avec ses concepts voisins

On remarque que la dimension de l'EVO généré a alors pour taille le nombre de concepts de l'ontologie (soit plus de 2000 pour l'ontologie OntoBiotope). Pour décomposer la transformation EVT->EVO recherchée, on peut commencer par réduire le nombre de dimension de l'EVO

pour atteindre le même nombre de dimensions que l'EVT généré précédemment (cf. FIGURE 1C). Une analyse en composantes principales (ACP) et un positionnement multidimensionnel (MDS) ont été testés.

3.4 Entraînement (modèle linéaire)

L'objectif de la phase d'entraînement est de déterminer une transformation de l'EVT vers l'EVO qui minimise la distance entre les vecteurs de termes issus de cette transformation et les vecteurs des concepts associés. Nous avons choisi de nous limiter à une transformation linéaire et avons entraîné un algorithme de type modèle linéaire avec les corpus annotés d'entraînement et de développement (cf. FIGURE 3).

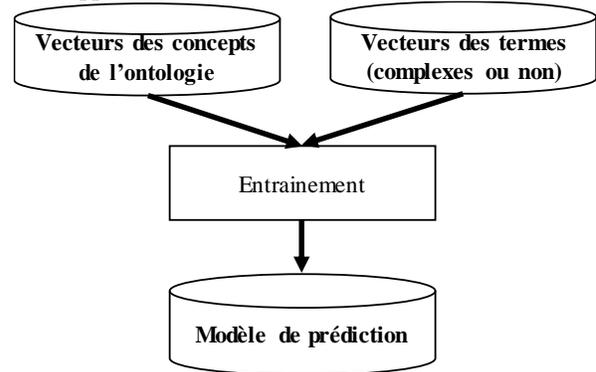


FIGURE 3 : Processus d'entraînement pour déterminer une transformation de l'EVT vers l'EVO

Les matrices de transformations obtenues permettent alors de prédire de nouveaux vecteurs associés aux termes du corpus de test exprimés dans l'EVO. Pour répondre à la tâche d'évaluation, on recherche le vecteur de concept le plus proche en terme de distance cosinus. Le concept ainsi trouvé est celui qui est assigné au terme (cf. FIGURE 4).

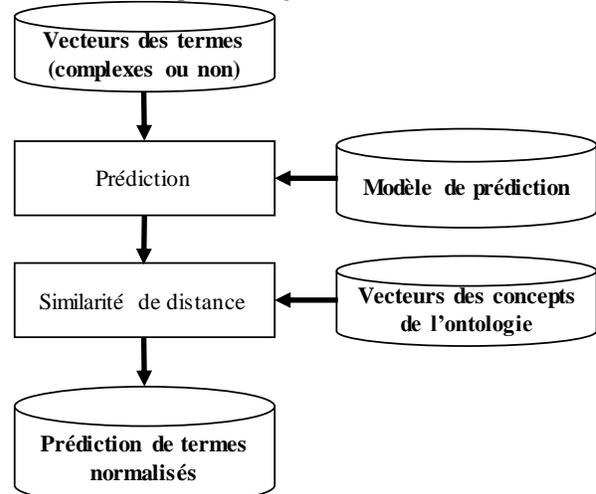


FIGURE 4 : Processus de prédiction des catégories sémantiques associées aux termes extraits

L'objectif de la phase d'entraînement est de déterminer une transformation de l'EVT vers l'EVO qui minimise toutes les distances entre les vecteurs des termes résultants dans

l'EVO et les vecteurs des concepts associés. Dans cet article, une transformation linéaire est étudiée car nous faisons l'hypothèse qu'il y a une certaine similitude de répartition entre les vecteurs de termes dans l'EVT et les vecteurs de concepts associés dans l'EVO. Autrement dit, une transformation non-linéaire pourrait fortement déformer la répartition des vecteurs de termes dans l'EVO pour s'adapter aux données d'entraînement peu nombreuses et ne recouvrant qu'une faible partie des annotations pouvant être détectées dans les textes ciblés. Cet entraînement vise à obtenir les meilleurs paramètres pour approximer l'équation matricielle suivante :

$$Y = X.B + U \quad (5)$$

Où Y est une matrice formée d'une série de vecteurs de concepts, X est une matrice formée d'une série de vecteurs de termes (où la $i^{\text{ème}}$ ligne de X représente le vecteur d'un terme qui est annoté par un concept qui a pour vecteur la $i^{\text{ème}}$ ligne de Y), B est la matrice contenant les paramètres qui sont à estimer, et U est une matrice contenant une distribution gaussienne multivariée. Cet entraînement est réalisé sur les corpus d'entraînement et de développement (cf. FIGURE 3).

La matrice obtenue nous permet de concevoir une fonction de transformation linéaire, afin de permettre de prédire de nouveaux vecteurs associés aux termes du corpus d'essai exprimé dans l'EVO :

$$f: \left(\begin{array}{c} EVT \rightarrow EVO \\ v_{\text{term}} \rightarrow v'_{\text{term}} = f(v_{\text{term}}) \end{array} \right) \quad (6)$$

Où v_{term} est un vecteur de terme dans l'EVT et v'_{term} est le vecteur résultant du même terme projeté dans l'EVO. Pour satisfaire aux exigences de la tâche d'évaluation, le vecteur de concept le plus proche (en terme de distance cosinus) de v'_{term} est choisi pour le terme annoté (cf. la FIGURE 4).

4 Résultats

4.1 Catégorisation

Pour évaluer la performance des systèmes participants à la tâche 3 de BB, une mesure de similarité sémantique est implémentée sur le site du challenge BioNLP-ST 2016. La mesure utilisée est celle définie par Wang et al. en 2007 [14], avec le paramètre de poids à 0.65. Avec cette mesure, nous pouvons calculer une *baseline* en attribuant à tous les termes le concept « bacteria habitat », qui est la racine de la hiérarchie de l'ontologie OntoBiotope. La mesure trouvée est alors de 32.17%.

Catégorisation	Score final de similarité
BOUN	0.62
CONTES	0.60
LIMSI	0.44

TABLE 4 : Résultats de la tâche de catégorisation de BioNLP-ST 2016

Deux équipes avaient participé à cette tâche de BioNLP-ST 2016 et avaient obtenu les résultats rapportés dans la TABLE 4. Notre méthode (CONTES - *CONcept-TErm System*) a obtenu un résultat de 60%, tout à fait comparable à celui de la première équipe et significativement au-dessus

de la méthode du LIMSI qui s'appuyait sur une approche morphologique.

4.1 Vecteurs de termes extraits

En dépit de la faible fréquence d'apparition des mots du corpus élargi (cf. TABLE 2), les vecteurs de mots obtenus présentent des proximités relativement satisfaisantes du point de vue de la similarité sémantique des termes associés. De plus, la méthode utilisée pour former des vecteurs pour les termes complexes semblent elle aussi satisfaisante comme le montre l'exemple suivant :

cell	Similarité
<i>HCE cell</i>	0,99
<i>13C-labeled cell</i>	0,99
<i>parietal cell</i>	0,99
<i>Schwann cell</i>	0,99
<i>CD8+ T cell</i>	0,98
<i>PMN cell</i>	0,97
<i>macrophage cell</i>	0,95

TABLE 5 : Termes à proximité du terme "cell"

Il semble également que des différences morphologiques n'empêchent pas l'agglomération de vecteurs de termes proches (cf. TABLE 6 et TABLE 7), ce qui était une des propriétés recherchées.

younger ones	Similarité
<i>children less than five years of age</i>	0,81
<i>children less than 2 years of age</i>	0,81
<i>children less than two years of age</i>	0,80

TABLE 6 : Termes à proximité du terme "younger ones"

seawater	Similarité
<i>sediments</i>	0,77
<i>sediment sample from a disease-free fish farm</i>	0,75
<i>fish farm sediments</i>	0,73
<i>subterranean brine</i>	0,73
<i>lagoon on the outskirts of the city of Cagliari</i>	0,71
<i>petroleum reservoir</i>	0,71
<i>marine environments</i>	0,71
<i>marine bivalves</i>	0,69
<i>sediment samples from diseased farms</i>	0,69
<i>urine sediments</i>	0,68
<i>petroleum</i>	0,66
<i>subterranean environment</i>	0,65
<i>fresh water</i>	0,65
<i>fresh water supply</i>	0,64
<i>Seafood</i>	0,64
<i>marine</i>	0,64

TABLE 7 : Termes à proximité du terme "seawater"

Néanmoins, la cooccurrence de certains mots semble agglomérer certains termes de catégorie différente. 2 mots apparaissant fréquemment dans des contextes communs se

retrouvent alors avec des vecteurs similaires. Cette similarité persiste alors également lors du calcul des vecteurs de termes. C'est par exemple le cas pour les termes relatifs au poisson et ceux relatifs aux fermes d'élevage de poissons (cf. TABLE 8). Ces représentations sont moins satisfaisantes car elles ne permettent pas de différencier les catégories sémantiques sous-jacentes.

<i>fish</i>	Similarité
<i>fish farming</i>	0,98
<i>fish farm</i>	0,92
<i>disease-free fish farm</i>	0,91
<i>fish farm sediments</i>	0,87
<i>healthy fish</i>	0,81

TABLE 8 : Termes les plus proches du terme "fish"

4.2 Vecteurs de concepts de l'ontologie

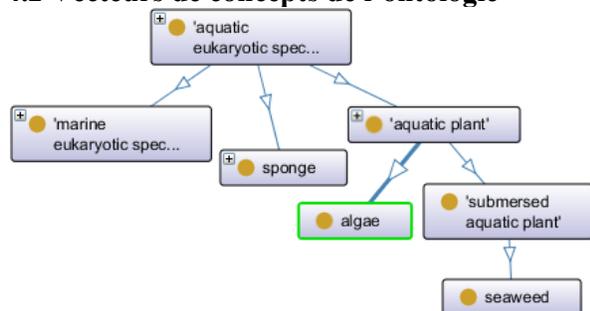


FIGURE 5 : Taxonomie des concepts autour du concept "algae" (visualisé avec le logiciel Protégé)

On peut estimer la qualité des vecteurs de concepts créés en observant la cohérence entre la proximité vecteur/vecteur et leur sens (cf. FIGURE 5 et TABLE 9). Une réduction de dimension semble détériorer progressivement l'EVO et impacte parfois ces distances de manière suffisante pour empêcher la distinction entre concepts parents, concepts fils et concepts frères (cf. FIGURE 5 et TABLE 10). Comme conséquence, à partir de l'EVO réduit, il semble difficile de restituer parfaitement la structure de l'ontologie. Prenons l'exemple du concept 'algae' :

<OBT:001922: algae> sans ACP	Similarité
<OBT:001777: aquatic plant>	0,93
<OBT:001895: submersed aquatic plant>	0,86
<OBT:001967: seaweed>	0,80

TABLE 9 : Similarité pour le concept algue de l'ontologie (sans ACP)

<OBT:001922: algae> avec ACP	Similarité
<OBT:001777: aquatic plant>	0,99
<OBT:001895: submersed aquatic plant>	0,99
<OBT:001967: seaweed>	0,99
<OBT:000372: sponge>	0,93
<OBT:000269: marine eukaryotic species>	0,93

TABLE 10 : Similarité pour le concept algue de l'ontologie (avec ACP de dimension finale 300)

En comparant plusieurs exemples, il semble que l'ACP ne modifie pas l'ordre de proximité des concepts, mais on peut observer des augmentations de densité de ces vecteurs (cf. comparaison entre le TABLE 9 et TABLE 10). Cela semble cohérent du fait de la diminution de l'espace concerné. En effet, l'ordre des plus proches voisins d'un vecteur de concept ne semble pas modifié.

4.3 Influence de la dimension de l'EVT

Word2Vec permet l'utilisation de 2 architectures différentes pour générer des vecteurs associés à des mots d'un corpus : Continuous Bag Of Words (CBOW) et Skip-Gram. L'architecture CBOW peut être défini par l'objectif de prédire un mot en fonction de son contexte, alors que le Skip-Gram est de prédire le contexte en fonction d'un mot en entrée. Quelque soit l'architecture utilisée, Word2Vec permet de générer des vecteurs associés à chaque mot du corpus. Nous avons testé les 2 architectures sur des dimensions de vecteurs de sortie différentes (cf. FIGURE 6). Pour des espaces vectoriels générés avec une dimension entre 100 et 250, les scores finaux semblent relativement stables, particulièrement pour le CBOW. De même, l'écart de score entre les 2 architectures restent en dessous des 3%. Au dessus d'une dimension de 250, on assiste à une diminution du score pour les 2 architectures, avec une pente plus importante avec le CBOW.

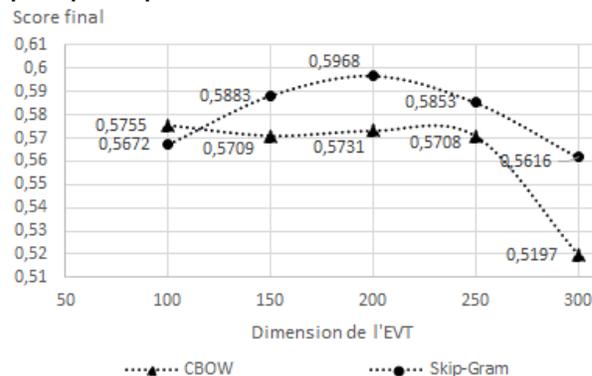


FIGURE 6 : Comparaison des architectures CBOW et Skip-Gram sur différentes dimensions d'EVT

4.4 Influence d'une réduction de dimension de l'EVO sur la catégorisation

L'EVO possède une dimension importante par rapport à l'information spécifique qui y est codée (i.e. la structure de l'ontologie). Cela peut poser des difficultés d'ordre combinatoire mais aussi théorique : une projection linéaire de l'EVT sur l'EVO (de dimension plus grande que l'EVT) ne devrait alors se faire que sur un sous-espace de l'EVO, limitant ainsi les résultats. Il était donc intéressant d'étudier l'impact d'une réduction de dimension de l'EVO sur le score final. On peut alors observer qu'une réduction par analyse en composantes principales - ACP (avec des résultats similaires avec un positionnement multidimensionnel - MDS) diminue systématiquement le score obtenu par rapport à l'utilisation de l'EVO non-réduit (cf. FIGURE 7). Néanmoins, on observe également un

palier d'une certaine performance (moins de 3% en dessous du score sans réduction) jusqu'à un certain point où le score diminue drastiquement.

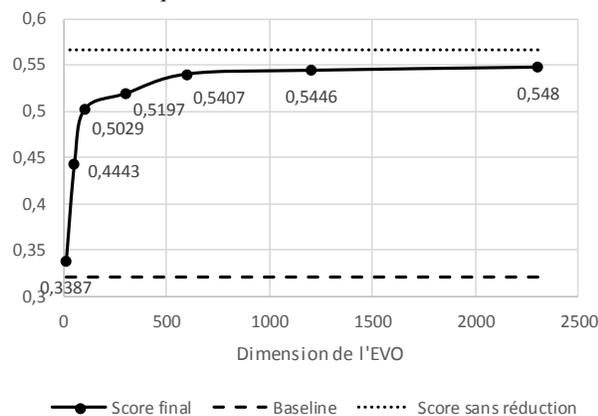


FIGURE 7 : Impact de la réduction de l'EVO (pour un EVT généré de dimension 100 avec Skip-Gram)

5 Discussions

Pour étendre les interprétations issues d'exemples, il serait intéressant d'évaluer la qualité globale des espaces vectoriels générés : espace vectoriel des mots, des termes, des concepts ainsi que l'espace finale contenant les transformations des vecteurs des termes.

Un des plafonds de la méthode présentée dans cet article est dû au fait que, pour cette tâche de catégorisation, un terme peut être catégorisé par plusieurs concepts de l'ontologie (ex : le terme « school age children with wheezing illness » devrait être catégorisé par le concept <OBT:002307: pediatric patient> ainsi que le concept <OBT:002187: patient with disease>), mais c'est également le cas des autres systèmes participants.

6 Perspectives

Pour de futurs travaux, il serait pertinent d'appliquer des méthodes d'évaluation globale de la qualité des espaces vectoriels générés. En particulier, cela permettrait d'évaluer plus exhaustivement les processus intermédiaires et d'observer avec plus de précision l'impact des modifications sur leurs paramètres internes. De nouvelles méthodes plus élaborées pourraient alors être envisagées pour améliorer les résultats. Par exemple, il serait certainement positif d'utiliser une méthode de représentation vectorielle d'une ontologie qui générerait un espace possédant une dimension plus faible tout en conservant la possibilité de discerner la structure initiale de l'ontologie. De même, la méthode utilisée ici pour générer les vecteurs de l'EVT pourrait être améliorée pour prendre en compte le contexte syntaxique des termes. Cela pourrait résoudre les problèmes de similarité sémantique entre 'fish' et 'fish farm' (cf. TABLE 8).

Il arrive fréquemment que des termes doivent être annotés par plusieurs concepts de l'ontologie cible (par exemple : 'children greater than 9 years of age who had lower respiratory illness' devait ici être annoté par le concept <OBT:002307: pediatric patient> et par le concept

<OBT:002187: patient with disease>). Avoir à disposition une ontologie complètement définie possédant explicitement tous les concepts résultant de l'intersection possible de ses autres concepts (par exemple : un concept 'pediatric patient with disease' qui est un sous-ensemble de <OBT:002307: pediatric patient> et de <OBT:002187: patient with disease>) devrait améliorer les résultats. Si de telles ontologies semblent relativement rares dans le domaine biologique, il pourrait être intéressant de commencer par générer automatiquement tous les concepts équivalents à l'intersection des concepts non-disjoints pour répondre à ce problème. Néanmoins, si les concepts partagent de nombreuses intersections entre eux ou que le caractère disjoint n'a pas été formalisé, la taille de l'ontologie générée risque de poser des difficultés combinatoires.

Il est relativement peu commun d'avoir pour données initiales les termes extraits (ainsi que leur appartenance à des entités nommées d'intérêt). Les méthodes d'extraction terminologique possédant des performances relativement acceptables, il serait intéressant d'en utiliser en amont de la tâche actuelle.

Enfin, malgré la limitation inhérente des méthodes de catégorisation basées sur la morphologie des mots, celles-ci pourraient néanmoins être utilisées pour effectuer une pré-catégorisation du corpus. En conséquence, on pourrait envisager d'utiliser ces annotations pour entraîner la méthode au lieu d'utiliser une annotation manuelle. Ainsi, cela transformerait cette méthode en une méthode non-supervisée.

7 Conclusion

L'objectif de cet article était de proposer une approche pour la création de représentations vectorielles pour des termes (complexes ou non) dans un espace sémantique. De plus, il visait à proposer une méthode capable de s'adapter à un corpus spécialisé de petite taille où les termes d'intérêts apparaissent avec une fréquence relativement faible. Les méthodes les plus utilisées actuellement génèrent des espaces vectoriels dont il est difficile d'interpréter le sens autrement qu'en terme de proximité spatiale/similarité sémantique. Notre méthode semble montrer qu'en combinant des approches relativement classiques, il est possible d'utiliser une ontologie pour générer des vecteurs dans un espace vectoriel plus interprétable. Les résultats comparables à ceux de l'état de l'art, semble ouvrir d'encourageantes perspectives. Au-delà de la tâche de catégorisation, de nouvelles méthodes performantes de génération d'espace vectoriel interprétables pourraient également répondre à de nombreuses problématiques.

Remerciements

This work is supported by the "IDI 2015" project funded by the IDEX Paris-Saclay, ANR-11-IDEX-0003-02.

Bibliographie

- [1] N. Kang, B. Singh, Z. Afzal, E. M. van Mulligen, et J. A. Kors, « Using rule-based natural language processing to improve disease normalization in biomedical text », *J. Am. Med. Inform. Assoc.*, vol. 20, n° 5, p. 876-881, sept. 2013.
- [2] S. Ananiadou et J. McNaught, Éd., *Text mining for biology and biomedicine*. Boston: Artech House, 2006.
- [3] A. Nazarenko, C. Nédellec, E. Alphonse, S. Aubin, T. Hamon, et A.-P. Manine, « Semantic annotation in the alvis project », in *International Workshop on Intelligent Information Access (IIIA)*, 2006, p. 5–pages.
- [4] F. Maniez, « Prémodification et coordination : quelques problèmes de traduction des groupes nominaux complexes en anglais médical », *ASp*, n° 51-52, p. 71-94, déc. 2007.
- [5] W. Golik, P. Warnier, et C. Nédellec, « Corpus-based extension of termino-ontology by linguistic analysis: a use case in biomedical event extraction », in *WS 2 Workshop Extended Abstracts, 9th International Conference on Terminology and Artificial Intelligence*, 2011, p. 37–39.
- [6] R. Bossy, W. Golik, Z. Ratkovic, D. Valsamou, P. Bessières, et C. Nédellec, « Overview of the gene regulation network and the bacteria biotope tasks in BioNLP'13 shared task », *BMC Bioinformatics*, vol. 16, n° 10, p. S1, 2015.
- [7] J. R. Firth, « The technique of semantics », 1957.
- [8] Z. S. Harris, « Distributional Structure », *WORD*, vol. 10, n° 2-3, p. 146-162, août 1954.
- [9] C. Fabre et A. Lenci, « Distributional Semantics Today Introduction to the special issue », *Trait. Autom. Lang.*, vol. 56, n° 2, p. 7–20, 2015.
- [10] T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado, et J. Dean, « Efficient estimation of word representations in vector space », *ArXiv Prepr. ArXiv13013781*, 2013.
- [11] C. Fabre, N. Hathout, F. Sajous, et L. Tanguy, « Ajuster l'analyse distributionnelle à un corpus spécialisé de petite taille », in *21e Conférence sur le Traitement Automatique des Langues Naturelles (TALN 2014)*, 2014, p. 266–279.
- [12] L. Deléger, E. Chaix, M. Ba, A. Ferré, P. Bessières, et C. Nédellec, « Overview of the Bacteria Biotope Task at BioNLP Shared Task 2016 », 2016. [En ligne]. Disponible sur: <https://aclweb.org/anthology/W/W16/W16-3002.pdf>. [Consulté le: 30-mars-2017].
- [13] MEDLINE, « Base de données bibliographique MEDLINE : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed> ». .
- [14] J. Z. Wang, Z. Du, R. Payattakool, P. S. Yu, et C.-F. Chen, « A new method to measure the semantic similarity of GO terms », *Bioinformatics*, vol. 23, n° 10, p. 1274-1281, mai 2007.

Extraction de connaissances à partir de l'usage des outils professionnels de communication et de collaboration

Antoine Flepp^{1,2}

Fabrice Bourge¹

Julie Dugdale^{2,3}

Tiphaine Marie¹

¹Orange Labs – France

²Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP*, LIG, F-38000 Grenoble France

³Université de Adger – Norvège

Orange Labs P&S

42 rue des Coutures – BP 6243

14066 Caen Cedex 4

antoine.flepp@orange.com

Résumé

La multiplication des outils de communication et de collaboration (média sociaux, e-mail, conférence à distance, etc.) a entraîné ces dernières années une explosion du volume de données non-structurées. Or, ces données (contenus et usages des outils) recèlent une connaissance explicite et tacite de valeur, souvent inexploitée. Cette connaissance apporte un contexte essentiel pour comprendre les documents de référence existants – plus structurés – qui ont été produits de manière collaborative, permettant à tout employé de donner un sens à leur contenu et favoriser ainsi la collaboration. Après avoir décrit différentes classifications de connaissances, les outils de communication et de collaboration sont catégorisés sur la base de travaux précédents dans le domaine du travail collaboratif, puis au travers de théories sur les médias. Une approche bottom-up est proposée pour extraire la connaissance en utilisant des méthodes quantitatives et des méthodes qualitatives (i.e. des entretiens, questionnaires, pop-ups, fichiers de traces, etc.). Cette connaissance sera utilisée dans le but de développer un modèle qui servira de base pour des collaborations plus efficaces et plus efficaces.

Mots Clef

Outils de communication et de collaboration, connaissance explicite, connaissance tacite, connaissance contextuelle, sense-making, CSCW.

Abstract

The multiplication of communication and collaboration tools (social media, e-mail, conferencing, etc.) in recent years has led to an explosion of the quantity of unstructured data. Buried within this data – both content and the way we use these tools – lies valuable explicit and tacit knowledge, often untapped. This knowledge provides essential context for understanding the existing, more

structured reference documents that were produced in a collaborative manner, allowing people to make sense of their contents and further aiding collaboration. After discussing various classifications of knowledge, communication and collaboration tools are categorised based on previous work in the domain of collaborative work as well as media theories. A bottom-up approach is proposed to extract the knowledge using both quantitative and qualitative methods (i.e. interviews, questionnaires, pop-ups, log files, etc.). This knowledge will be used in order to develop a model that will serve as a basis for more efficient and effective collaborations.

Keywords

Communication and collaboration tools, explicit knowledge, tacit knowledge, contextual knowledge, sense-making, CSCW.

1 Introduction

Chaque jour la grande majorité des nouvelles données générées et stockées au sein des entreprises sont non-structurées, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas organisées selon des modèles prédéfinis. Comme on constate depuis de nombreuses années une croissance de la multiplicité des outils de communication et de collaboration (C&C) – e.g. les outils de messagerie, de conférence à distance, les média sociaux – il est raisonnable de penser qu'une partie significative de ces données non structurées réside dans ces outils : courriels, documents, blogs, contenus audio ou vidéo, etc. Or, ces données constituent potentiellement un gisement prodigieux d'information et de connaissance encore très peu exploité aujourd'hui. Aussi nous avons l'ambition de proposer un cadre de recherche exploratoire visant à extraire, formaliser et modéliser la connaissance non seulement à partir des contenus manipulés ou échangés via ces outils de C&C, mais aussi à partir des usages de ceux-ci. Au-delà de l'intérêt pratique au sein des entreprises, l'apport scientifique est d'extraire et de rendre exploitable des connaissances tacites et latentes.

² Institute of Engineering Univ. Grenoble Alpes

Nos travaux ayant débuté récemment, cet article se concentre principalement sur un état de l'art. Ainsi, la partie 2 présente une synthèse de plusieurs travaux sur les connaissances tacites et explicites, afin de définir un cadre d'analyse sur le type de connaissance que les données extraites pourront apporter. Ce cadre doit permettre *in fine* de modéliser et de distinguer les connaissances obtenues par les données de contenu, de celles obtenues par les données d'usage. Ensuite nous présentons diverses études sur les outils de C&C, afin d'identifier les données pertinentes qui peuvent être extraites à partir de ces outils. Il y est ainsi décrit le caractère formel ou informel des échanges que ces outils permettent, des caractéristiques importantes de classifications des outils, puis est abordé le potentiel de ces outils à pouvoir compléter ou remplacer les échanges en face-à-face. Dans la partie 3 nous proposons notre hypothèse de travail. Cette dernière stipule qu'à partir du recueil et de l'analyse des données (de contenus et d'usages) issues des outils de C&C – utilisés lors d'un travail collaboratif – nous devrions être en mesure d'en extraire de la connaissance contextuelle (i.e. relative au contexte du travail collaboratif), pour ensuite rendre cette connaissance utile et accessible pour toute personne extérieure à ce contexte. La partie 4 précisera l'approche suivie, ainsi que les éléments de méthodologie associés. Enfin, dans la conclusion, nous évoquerons brièvement le contenu de cet article ainsi que les étapes futures de ces travaux de recherches.

2 Contexte

2.1 Classifications de la connaissance

De nombreuses études se sont succédées suite aux travaux de Michael Polanyi sur les dimensions tacite et explicite de la connaissance [24]. Deux types d'approches semblent être adoptés : une approche descriptive qui tend à éclaircir les ambiguïtés entre les concepts de connaissance tacite et explicite [15,20], et une approche opérationnelle cherchant plutôt à décrire les processus par lesquels on passe de connaissances tacites à des connaissances explicites et inversement [6,7,13,23]. Ainsi, Polanyi [24] a d'abord décrit les connaissances tacites et les connaissances explicites en deux catégories distinctes. Les connaissances explicites seraient celles codifiées sous une forme structurée (e.g. graphique, tableur, base de données, rapport d'activité). Alors que les connaissances tacites seraient les connaissances non encore codifiées ni structurées que les individus possèdent dans leur cerveau et qui s'acquerraient en majeure partie par l'expérience, l'observation ou encore l'échange d'idées [20]. De fait, la connaissance explicite semble facilement – et à moindre coût – accessible à un grand nombre de personnes, mais elle ne représente probablement qu'une partie de l'ensemble de la connaissance [24]. Ensuite, ce concept de connaissance tacite et de connaissance explicite a été repris – en termes de processus – au travers du modèle SECI de Nonaka et Takeuchi [23], et plus récemment dans le modèle conceptuel de PKM 2.0 de Cheong et

Tsuis [6]. Plus précisément, le modèle SECI – qui tire son nom de : Socialisation, Externalisation, Combinaison, Internalisation – décrit l'interaction entre connaissances tacites et explicites, tant individuelles que collectives, comme un processus en spirale. Le modèle de Cheong, quant à lui, se focalise sur les connaissances individuelles uniquement, d'où le nom de PKM pour *Personal Knowledge Management* (gestion des connaissances personnelles). Globalement, l'auteur propose dans son modèle quatre composants principaux : *Personal Information Management* (gestion des informations personnelles), *Personal Knowledge Internalisation* (internalisation des connaissances personnelles), *Personal Wisdom Creation* (création d'une sagesse personnelle) et *Inter-Personal Knowledge Transferring* (transfert de connaissances interpersonnelles). De fait, ces modèles décrivent les connaissances tacites et les connaissances explicites en termes de processus individuel ou collectif, plutôt qu'en termes de catégories distinctes. C'est pourquoi des auteurs comme Jasimuddin [15] suggèrent finalement qu'il faut concevoir ce concept de connaissance comme un continuum dont la connaissance tacite et la connaissance explicite en seraient les deux extrêmes. Ceci se confirme et s'étaye par des travaux [7,13] qui se poursuivent sur l'articulation des connaissances individuelles et collectives avec les connaissances tacites et explicites. En outre, Grundstein [13] propose que les connaissances individuelles tacites (e.g. talents, habiletés, expérience) amèneraient à des connaissances collectives tacites ; comme, par exemple, des routines défensives (qui feraient obstacles au changement) et des routines offensives (qui favoriseraient l'innovation et le changement). Plus récemment, Collins [7] distingue la connaissance tacite relationnelle (les choses que l'on peut décrire en principe si on s'en donne la peine), la connaissance tacite somatique (les choses que notre corps est capable de faire mais que nous ne pouvons pas décrire) et la connaissance tacite collective (la connaissance que nous tirons du fait de faire partie de la société, comme les règles de langage). De fait, aucun consensus n'apparaît quant à ces différents types de connaissances (tacite individuelle / tacite collective / explicite individuelle / explicite collective). Cependant, il est important de soulever un point que ces deux derniers auteurs considèrent : la connaissance tacite peut être explicitable ou non (*explicable knowledge*). Et c'est en particulier Collins [7 : p.81] qui traite de ce propos, en distinguant différents processus d'explicitation de la connaissance : par élaboration, par transformation, par mécanisation ou par explication (voire par *induction*). Ainsi, même si comme Lejeune [20] l'affirme : « *Dès qu'il est formalisé, le savoir n'est plus tacite, il s'est transformé* » ; il s'avère – au vu des recherches présentées – qu'il y a des connaissances tacites plus difficiles à formaliser que d'autres (*explicable knowledge*), et qu'à en croire Collins, il existe aussi différentes manières de les formuler.

2.2 Les outils de communication et de collaboration

Au fil du temps, l'entreprise est passée d'une organisation hiérarchique à une organisation fonctionnelle caractérisée par une formalisation de ses règles de fonctionnement. Ce modèle vise une interdépendance la plus faible possible entre les entités spécialisées qui la composent afin, notamment, de limiter les flux considérés comme un mal nécessaire ; chaque entité s'inscrit dans la réalisation de processus définis [3]. Néanmoins, du fait de la complexification de l'environnement de travail et de la multiplication des rôles assumés par les individus, Bertin et Tran suggèrent que l'on vit actuellement une phase de transition vers un modèle multipolaire dans lequel l'entreprise est composée d'entités de plus en plus multifonctionnelles. Celles-ci tendent à s'auto-organiser pour réaliser des activités pour des groupes – plus ou moins temporaires – qui ne dépendent pas nécessairement des mêmes entités hiérarchiques. Une des conséquences est l'augmentation des flux transverses d'information et de connaissance, ainsi que la nécessité de collaborer davantage en dehors des processus définis, ce qui induit moins de formalisme. Le foisonnement des flux de communication et de coordination est renforcé par la multiplication des outils de C&C qui semble suivre un « effet millefeuille » [17], à savoir un empilement successif des outils les uns sur les autres, sans réorganisation des processus de gestion associés.

De nombreuses classifications des outils de C&C existent de par le monde. En 1988, dans le cadre du CSCW (Computer-Supported Cooperative Work) Johansen [16] propose de catégoriser les outils selon leur contexte d'utilisation via une matrice spatio-temporelle permettant de distinguer si un travail collectif est réalisé en un seul ou plusieurs lieux géographiques, et en même temps (synchrone) ou à des moments différents (asynchrone). Diverses extensions ont été proposées depuis, par exemple, pour prendre en compte la notion de processus : Andriessen [2] retient les processus liés aux échanges entre personnes, aux tâches et aux activités de groupe ; alors que Grudin et Poltrock [12] préfèrent distinguer les processus de communication, de partage d'information et de coordination. Plus récemment, Alimam et al. [1] proposent une typologie de divers outils de collaboration sociale utilisés en entreprise tels que les principaux outils de télécommunication, les outils de collaboration (CSCW, groupware...) et les outils sociaux (Entreprise 2.0). Après l'évaluation de ces outils au regard de treize critères, une typologie est produite en retenant trois des critères indépendants les plus significatifs : diffusion de l'information (modèle expéditeur-destinataire(s) ou modèle *publish-subscribe* – littéralement, publier-s'abonner) ; conception de l'interface utilisateur (classique – i.e. conforme à un modèle communément utilisé ce qui en facilite l'usage et l'acceptabilité – ou spécifique – dont l'usage et l'acceptabilité sont difficiles à

évaluer) ; fonction principale de l'outil (i.e. communication, partage ou recherche d'information, édition ou organisation). La première catégorie de cette typologie regroupe les outils qui permettent une interaction selon le modèle expéditeur-destinataire(s), dont la conception est classique, et qui partagent la même fonction principale de communication et de partage d'information. Ces outils, que les auteurs qualifient de canaux classiques de communication privée, sont : le téléphone, la messagerie vocale, le *chat*, le SMS et l'e-mail. La seconde catégorie de cette typologie regroupe les outils qui suivent le modèle *publish-subscribe*. On distingue alors deux sous-catégories. La première rassemble les outils de conception classique ; leur fonction principale concerne l'organisation (marque-page social) et la gestion de l'information (moteur de recherche, flux d'activité et RSS, streaming / wiki / blog / micro-blog, tableau blanc, forum / communauté / groupe de discussion). La seconde sous-catégorie regroupe les outils de conception spécifique ; leurs fonctions principales sont celles de communication et de partage d'information (conférence à distance), de gestion d'information (partage de fichier, recherche sociale, planification collaborative, banque d'idées, profil social) ou d'organisation (agenda et gestion de calendrier, suivi et localisation, gestion de contenu, application composite (*mash-up* en anglais), application métier).

Outre ces typologies, il existe aussi la théorie de la richesse des médias – proposée par Daft et Lengel [9]. Cette dernière décrit les outils de C&C selon leur potentiel à transmettre une information riche entre des interlocuteurs (e.g. le téléphone ne transmet pas les expressions du visage, au contraire de la visioconférence). Cette théorie a ensuite été approfondie à plusieurs reprises. On trouve par exemple la théorie de la naturalité des médias introduite par Kock [19], qui stipule que le potentiel d'un média à reproduire l'information transmise dépendrait de son degré de similarité avec une communication face-à-face. L'auteur en conclut qu'il y aurait cinq éléments qui décrivent la naturalité d'un média : la co-implantation (i.e. être au même endroit), la synchronicité (i.e. au même moment) et la capacité à transmettre des expressions langagières, faciales et corporelles. Ainsi, le manque de naturalité d'un média entraînerait chez les interlocuteurs plus d'ambiguïté dans leur communication, un effort cognitif supplémentaire, ainsi qu'une survenue plus rapide de l'ennui dans l'interaction. L'auteur a pu confirmer – avec des études empiriques [18] – ces effets négatifs d'un manque de naturalité d'un média. Néanmoins, cette même étude a aussi montré que la qualité de la tâche demandée n'avait pas été affectée, laissant suggérer ce que l'auteur appelle une adaptation compensatoire (*compensatory adaptation*). Cependant, on trouve aussi d'autres alternatives à la théorie de la richesse des médias, telles que la théorie de la synchronicité des médias de Dennis [10]. Cette théorie – contrairement à la *naturalité des médias* – suggère que

la communication face-à-face n'est pas toujours le médium le plus « riche », mais que le meilleur média ou ensemble de médias dépend de cinq dimensions selon une situation donnée, qui sont : l'immédiateté de la rétroaction, le parallélisme, la variété des symboles, la capacité à peaufiner un message avant de l'envoyer (*rehearsability*) et à rejouer plusieurs fois un message après réception (*reprocessability*). Concrètement, par exemple, le téléphone a un haut degré d'immédiateté de la rétroaction mais un faible degré de *reprocessability* contrairement au courriel. Outre ces théories sur différentes typologies et potentiels des outils de C&C, on trouve aussi des théories centrées *utilisateur*. Par exemple, selon Haythornthwaite [14], plus des pairs auront des liens forts (e.g. liens sociaux ou professionnels) et plus ils utiliseront de médias de communication. Au contraire, des pairs qui auraient des liens faibles, utiliseraient alors peu de médias pour communiquer entre eux. Néanmoins, cette théorie peut être nuancée selon les propos de Conein [8] qui suggèrent qu'« à partir d'un certain seuil un groupement n'est plus viable et se fragmente. Les contraintes cognitives concernant nos capacités limitées de traitement des informations qui portent sur des relations sociales ». Enfin, on peut aussi citer la théorie de l'expansion des canaux de Carlson et Zmud [5], qui aborde notre perception des canaux de communications selon l'expérience utilisateur. Les auteurs proposent quatre types d'expériences utilisateurs pertinentes : expérience du canal de transmission, expérience du sujet du message, expérience du contexte organisationnel et expérience avec les coparticipants. Ainsi, comme l'ont en partie suggéré Kock et les auteurs de cette dernière étude, les utilisateurs s'adapteraient aux médias de manière compensatoire. En d'autres termes, avec une plus grande expérience dans l'un des quatre domaines décrits par Carlson et Zmud (canal, sujet, contexte, partenaires), les utilisateurs de médias auraient une meilleure capacité de communiquer dans divers contextes situationnels et percevront ainsi le canal utilisé comme étant plus riche.

3 Propositions

Nous tenons à préciser que nous serons amenés dans le futur à distinguer plusieurs types de connaissances tacites et explicites. Pour autant, dans cette première phase de nos recherches, nous considérons uniquement l'hypothèse selon laquelle les contenus échangés avec les outils de C&C sont plutôt sources de connaissance explicite (donc plus facilement extractible) et les usages, plutôt sources de connaissance tacite (plus difficilement extractible). Les outils de C&C semblent incontournables pour échanger et collaborer au sein d'une entreprise. Ainsi, le travail individuel pour la production de données structurées (e.g. un *document de référence* : communiqué de presse, livrable) tend à faire place au travail collaboratif. En outre, comme l'illustre la figure 1 avec la zone de *Production* (en pointillé), le *travail collaboratif* qui se faisait principalement en face-à-face entre des

contributeurs peut se faire – à présent – de plus en plus au travers des outils de C&C (bulle orange). Par ailleurs, des études comme celles de Yuan [25] ont montré que souvent les *documents de référence* (correspondant à de la connaissance explicite), ne se suffisent pas à eux-mêmes pour qu'ils soient compréhensibles par le plus grand nombre. Concrètement, lors de l'exploitation de *documents de référence* par des *non-contributeurs* (N-C), ces derniers se retrouvent confrontés à un manque d'informations pour appréhender ces *documents de référence* et doivent contacter directement un *contributeur* du document, voire en discuter avec d'autres *non-contributeurs*, pour pouvoir achever leur processus de compréhension. Au sein d'Orange, par exemple, cette situation se présente à chaque fois qu'une personne intègre un projet déjà en cours, et qu'elle doit s'approprier le contexte au travers de la lecture des documents déjà produits par certains groupes de travail. De même, tout nouvel arrivant dans l'entreprise (apprenti, stagiaire...) est confronté à cette situation puisqu'il doit monter en compétence le plus rapidement possible via la lecture de multiples documents. On peut noter que ce processus de compréhension – qui sera à approfondir dans les recherches futures – est appelé *sense-making* pour des auteurs comme Maurel [21] ou *brainfiltering* par d'autres [4]. Notre hypothèse de travail est que les informations transmises via les outils de C&C – que ce soit au niveau des *contributeurs* entre eux, entre *contributeurs* et *non-contributeurs* ou *a posteriori* au niveau des *non-contributeurs* entre eux – peuvent être automatiquement détectables et exploitables pour en extraire de la connaissance qui sera utile au sein de toute l'entreprise. De plus, différentes études [11,19,22,25] démontrent l'importance du contexte dans la recherche d'informations et de connaissances. Et bien que des auteurs aient mis l'accent sur certaines propriétés contextuelles de la connaissance comme les différences culturelles [25], la complémentarité des outils (e.g. usage de la messagerie

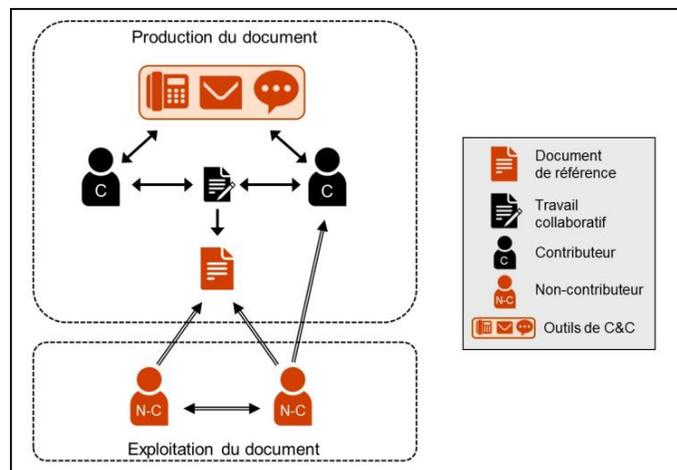


Figure 1: Modélisation d'extraction de connaissances à partir des outils de C&C

instantanée si la personne à contacter est en ligne / usage du téléphone si c'est urgent / usage du courriel si ce n'est pas urgent [22]), le contexte social [19], etc. ; il sera sans doute possible de considérer, dans nos futurs travaux, la *connaissance contextuelle* comme facteur de l'*awareness of expertise distribution* de Yuan [25], voire plus généralement de la *situation awareness* [11].

4 Méthodologie

Une approche *top-down* consisterait d'abord à modéliser toute la connaissance d'une entreprise puis à essayer de valider ce modèle sur le terrain. Cependant, il peut y avoir incompatibilité entre le modèle et les données du terrain, d'où une validation difficile. C'est pourquoi nous préférons suivre une approche *bottom-up*, plus pragmatique se décomposant en trois phases : la collecte des données, l'analyse de ces données et la transformation des résultats en connaissance (production d'un modèle de représentation de connaissance). Dans cet article, on se focalise sur la première phase.

4.1 Outils ciblés

Il est important d'étudier l'usage de plusieurs outils en parallèle car, d'une part, ceux-ci présentent différentes formes d'interaction (plus ou moins intrusive, formelle/informelle, synchrone/asynchrone, etc.). D'autre part, les personnes utilisent ces outils souvent de manière combinée pour répondre à leur besoin de partage de la connaissance. Ainsi, les outils que nous ciblons a priori pour la collecte de données sont ceux qui sont les plus utilisés au sein d'Orange. Trois de ces outils correspondent au modèle expéditeur-destinataire(s) : l'e-mail, la messagerie instantanée, la conférence à distance. Et un quatrième outil, mis en œuvre plus récemment, correspond au modèle *publish-subscribe* : le réseau social d'entreprise.

4.2 Données ciblées

Comme indiqué dans la partie 3, nous souhaitons analyser les contenus échangés et partagés lors d'un travail collaboratif, ainsi que les données d'usages de ces outils de C&C utilisés pour ce travail. Par contenus, nous entendons les contenus proprement dit (i.e. ce qui est manipulé par les utilisateurs) et les données qui les accompagnent (e.g. nom de l'émetteur, date d'envoi). Les données d'usage, quant à elles, correspondent aux informations relatives aux actions des utilisateurs sur les outils (e.g. envoyer un message, ouvrir un outil, chercher un contact). C'est la complémentarité de ces deux types de données qui devrait nous permettre d'extraire la connaissance contextuelle.

4.3 Mise en œuvre

Pour collecter des données d'usage, nous mènerons dès que possible des entretiens et soumettrons des questionnaires auprès de quelques personnes qui collaborent fréquemment (soit parce qu'elles font partie de la même équipe, soit parce qu'elles contribuent au même projet) de manière à favoriser la dimension de

partage de connaissances. Lors de cette étape, nous collecterons également auprès de ces mêmes personnes des contenus qu'ils auront générés ou manipulés. Parallèlement, nous récupérerons des fichiers de traces au niveau des serveurs internes de l'entreprise quand ce sera possible. Aussi nous devrions disposer rapidement d'un ensemble de données porteuses de valeur de par leur diversité et complémentarité. Le croisement de ces contenus avec les données d'usages devrait nous permettre d'en déduire des informations quant à l'activité des utilisateurs en fonction des contenus échangés, des personnes avec qui ils interagissent et du moment de la journée. L'objectif est de comprendre le pourquoi et le comment des actions de collaboration. En outre, ceci devrait nous permettre d'affiner la liste des outils qui avaient été ciblés a priori.

Dans un deuxième temps, il nous semble important d'automatiser la collecte des données afin de disposer de volumes significatifs. Ainsi, nous développerons un logiciel – installé sur le poste de travail – pour récupérer certains contenus échangés et leurs données associées, et pour générer des fichiers de traces en local. L'intérêt de ces derniers est de pouvoir tracer finement la cohérence des différentes actions des utilisateurs sur l'ensemble de leurs outils, ce qui est difficile à obtenir à partir des seuls fichiers de traces au niveau des serveurs. Par la suite, nous ferons évoluer ce logiciel afin de recueillir auprès des utilisateurs des données qualitatives sur leurs activités collaboratives. Le recueil de ces avis doit être fait au fil de l'eau, afin que l'utilisateur soit le plus spontané et objectif possible. Ceci de manière à éviter ainsi d'éventuels biais dus au délai et au changement d'état d'esprit entre l'action et l'avis que l'on y porte. Une étape de validation de cet outil sera mise en œuvre afin, notamment, de s'assurer qu'il ne soit pas trop intrusif.

4.4. Évaluation des travaux

Il nous semble difficile de pouvoir évaluer nos travaux à l'issue de cette première phase de collecte des données dans la mesure où celles-ci seront porteuses de valeur latente uniquement. Néanmoins, les différentes techniques mises en œuvre ont pour but de maximiser les chances de collecter des données porteuses de valeur pour les phases suivantes.

C'est une fois qu'on aura transformé en connaissances les résultats de l'analyse des données collectées qu'il nous sera possible d'évaluer nos travaux. Moyennant d'identifier les méthodes théoriques ou expérimentales adaptées, deux pistes s'offrent à nous : d'une part évaluer la pertinence et la complémentarité des informations venant « enrichir » un document de référence et, d'autre part, mesurer quantitativement et qualitativement le gain d'efficacité et d'efficience d'un utilisateur lorsqu'il bénéficie d'informations complémentaires pour l'aider à comprendre des documents de référence.

5 Discussions

Dans la suite de nos travaux, il sera nécessaire de comparer et d'appliquer différentes méthodes d'extraction de connaissances. Ces dernières devront répondre à différents points importants d'évaluation, tels que la valeur de la connaissance extraite, non seulement du point de vue de leur pertinence, mais aussi en termes de fidélité par rapport aux échanges lors de la collaboration via les outils de C&C. Compte tenu de l'approche bottom-up proposée, les techniques sémantiques de traitement automatiquement de la langue naturelle – et plus précisément terminologiques – nous semblent a priori plus adaptées pour répondre à notre problématique, bien qu'elles seront sans doute à combiner avec des méthodes statistiques.

6 Conclusion

Les outils de C&C font de plus en plus partie intégrante de notre activité professionnelle quotidienne. C'est pourquoi leurs contenus et leurs usages constituent – pour l'entreprise – une source d'information de grande valeur, encore peu exploitée jusqu'à présent. De fait, nous proposons d'extraire de la connaissance à partir du contenu des outils, ainsi qu'à partir des données de leurs usages. Plus précisément, notre objectif est de générer de la connaissance relative au contexte d'un travail collaboratif (*connaissance contextuelle*) – réalisé via des outils de C&C – afin d'en faire bénéficier tout collaborateur extérieur. L'état de l'art présenté permet d'obtenir un premier cadre exploratoire de recherche, que ce soit sur les connaissances, les outils de C&C ou encore la relation qu'il peut y avoir entre la connaissance et ces outils, à savoir que : les données de contenus des outils de C&C seront sources de connaissances explicites et les données d'usages de ces outils, sources de connaissances tacites. Ainsi, nos travaux se porteront dans un premier temps sur la collecte des données qui ont de la valeur a priori à travers les contenus et les usages des outils de C&C. Puis, les étapes suivantes – que nous présenterons à l'occasion d'articles futurs – porteront à la fois sur la mise en œuvre d'outils pour analyser les données collectées, ainsi que sur la formalisation et la modélisation de la connaissance ainsi générée.

Bibliographie

- [1] M. Alimam, E. Bertin et N. Crespi, "Enterprise Social Systems: The what, the why, and the how," in *17th IEEE Conf. Bus. Informatics (CBI)*, 2015, pp. 9-17.
- [2] J.H.E. Andriessen, *Working with groupware: understanding and evaluating collaboration technology*, Springer Science & Business Media, 2003.
- [3] E. Bertin et S. Tran, "La ville, le SI l'entreprise: du fonctionnel au multipolaire," *Management & Avenir*, 2014, n° 2, pp. 54-72.
- [4] E. Benitez et D. Pauleen, "Brainfiltering: The Missing Link Between PKM and PIM ?," dans *Amer. Conf. on Inform. Syst. (AMCIS) 2009 Proc.*, 13.
- [5] J. R. Carlson et R. W. Zmud, "Channel expansion theory and the experiential nature of media richness perceptions," in *Academy of management journal*, 1999, vol. 42, n° 2, pp. 153-170.
- [6] R. Cheong et E. Tsui, "From Skills and Competencies to Outcome-based Collaborative Work : Tracking a Decade's Development of Personal Knowledge Management (PKM) Models," *Knowledge and Process Management*, 2011, vol. 18, n° 3, pp. 175-193.
- [7] H. Collins, *Tacit and explicit knowledge*, University of Chicago Press, 2010.
- [8] B. Conein, "Cognition distribuée, groupe social et technologie cognitive," *Réseaux*, 2004, n° 2, pp. 53-79.
- [9] R.L. Daft et R.H. Lengel, "Organizational information requirements, media richness and structural design," *Management science*, 1986, vol. 32, n° 5, pp. 554-571.
- [10] A. R. Dennis et J. S. Valacich, "Rethinking media richness: Towards a theory of media synchronicity," in *Proc. 32nd Annu. Hawaii Int. Conf. on Syst. Sci.*, IEEE, 1999.
- [11] M. R. Endlsey, "Toward a theory of situation awareness in dynamic systems," *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 1995, vol. 37, n° 1, pp. 32-64.
- [12] J. Grudin et S. Poltrok, "Computer Supported Cooperative Work," in *The Encyclopedia of Human-Computer Interaction*, 2nd Ed., Danemark, 2013.
- [13] M. Grundstein. De la capitalisation des connaissances au management des connaissances dans l'entreprise, les fondamentaux du knowledge management. *INT-Entreprises*, 2013, vol. 3, p. 256-272.
- [14] C. Haythornthwaite, "Social networks and Internet connectivity effects," *Information, Community & Society*, 2005, vol. 8, n° 2, pp. 125-147.
- [15] S. M. Jasimuddin, J. H. Klein, et C. Connell, "The paradox of using tacit and explicit knowledge: strategies to face dilemmas," *Management decision*, 2005, vol. 43, n° 1, pp. 102-112.
- [16] R. Johansen, *Groupware: Computer support for business teams*, The Free Press, 1988.
- [17] M. Kalika, N. B. Charki et H. Isaac, "La théorie du millefeuille et l'usage des TIC dans l'entreprise," *Revue française de gestion*, 2007, n° 3, pp. 117-129.
- [18] N. Kock, "Compensatory adaptation to media obstacles: An experimental study of process redesign dyads," *Information resources management journal*, 2005, vol. 18, n° 2, p. 41.
- [19] N. Kock, "Media richness or media naturalness? The evolution of our biological communication apparatus and its influence on our behavior toward e-communication tools," *IEEE Trans. on Prof. Commun.*, 2005, vol. 48, no 2, p. 117-130.
- [20] M. Lejeune, "Transmettre l'informel en milieu de travail : proximité, posture et modalités organisationnelles," dans *Formations et professionnalisations : à l'épreuve de la complexité*, Paris, L'Harmattan, 2012, chapitre V, pp. 107-115.
- [21] D. Maurel, "Sense-making : un modèle de construction de la réalité et d'appréhension de l'information par les individus et les groupes," *Études de communication*, 2010, n° 2, pp. 31-46.
- [22] T. Niinimäki, A. Piri, C. Lassenius et al, "Reflecting the choice and usage of communication tools in GSD projects with media synchronicity theory," in : *5th IEEE Int. Conf. Global Software Eng. (ICGSE)*, 2010, pp. 3-12.
- [23] I. Nonaka et H. Takeuchi, *The knowledge creating company: how Japanese companies create the dynamics of innovation*, New York : Oxford University Press, 1995.
- [24] M. Polanyi. *The tacit dimension*. First published Doubleday & Co, 1966.
- [25] C. Yuan, X. Zhao, Q. Liao, et al, "The use of different information and communication technologies to support knowledge sharing in organizations: From e-mail to micro-blogging," *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2013, vol. 64, n° 8, p. 1659-1670.

Communication multi-niveaux pour des IoT-a. Interactions autour d'un mur d'écrans connectés.

Alexandre SCHMITT Florent CARLIER Valérie RENAULT Pascal LEROUX

Université du Maine
Laboratoire Centre de Recherche en Éducation de Nantes (CREN)
Avenue O. Messiaen, 72085 Le Mans, France
prénom.nom@univ-lemans.fr

Résumé

A l'heure où beaucoup d'objets du quotidien deviennent connectés, où des masses considérables d'information sont diffusées sur les réseaux, des questions de méthodologie, de formalisation et de normalisation se posent. Comment pouvons-nous faire cohabiter, de façon cohérente, le monde des objets connectés (Internet of Things : IoT) et du Big Data, le monde des objets réels avec les masses d'informations immatérielles ? Comment visualiser et manipuler, de façon intuitive, ces masses de données hétérogènes issues de capteurs diffus dans notre environnement ? Nous proposons d'introduire de l'intelligence au plus près des composants électroniques de ces objets connectés. L'objectif est de considérer ces objets physiques comme des "Internet of Things - Agents", que nous nommons IoT-a. La plateforme Triskell3S a ainsi été expérimentée sur un ensemble hétérogène d'objets connectés formant un mur d'écrans interactif et modulable. Ce mur d'écrans est constitué de briques autonomes, de IoT-a, pouvant être composées d'un dispositif visuel et d'une carte embarquée. L'architecture sous-jacente repose sur l'adaptation de modèles multi-agents au plus près du hardware des objets physiques réels. Dans un souci d'interopérabilité, cette architecture se focalise sur l'adéquation de protocoles de communication : le protocole MQTT, dédié aux communications inter-objets et le protocole D-Bus, dédié aux échanges intra-objets. Ces deux protocoles sont ainsi intégrés à notre architecture tout en respectant la norme FIPA-ACL, définie pour les systèmes multi-agents.

Mots Clef

Objets connectés, Internet of Things, Systèmes multi-agents embarqués, Mur d'écrans, Table surface, Systèmes embarqués.

Abstract

When several day-to-day objects become connected, or a considerable amount of information is released throughout networks, one can wonder about matters of methodologies, formalization and normalization. How can one coherently make IoT and Big Data live together, this world of ac-

tual objects and tons of immaterial information ? How can one visualize and manipulate, intuitively, this important amount of heterogenous data sent by sensors spread in our environment ? We propose the introduction of intelligence as close to those connected appliances as can be. The main goal is to consider those physical objects as Internet of Things – Agents, which we name IoT-a. The Triskell3S platform was thus tested out on a heterogenous system of connected objects composing a multi-screen wall display which is interactive and adjustable. This multi-screen wall display is composed of autonomous bricks, which are IoT-a and which can be composed of a visual device and an embedded system. The resulting architecture rests on the adaptation of multi-agents models located as close as can be to the real physical objects. As a means of allowing interoperability, this architecture focuses on matching with communication protocols : protocol MQTT, dedicated to inter-objects exchange, and protocol D-Bus, dedicated to intra-objects exchanges. These two protocols are thus integrated to our architecture in full respect of the FIPA-ACL norm, defined for multi-agents systems.

Keywords

Internet of Things, Multi-Agents Systems, Wall display, Surface table, Embedded system.

1 Introduction

Le domaine des objets connectés (Internet of Things / IoT) connaît un essor important et est de plus en plus présent dans notre environnement. De nombreuses entreprises souhaitent disposer de plus amples informations concernant leurs activités afin de chiffrer et mieux évaluer leur rendement. Les objets connectés leur apportent une solution concernant cette problématique. Les IoT sont des Systèmes Embarqués (SE) légers en interaction avec l'environnement réel. Leur nombre croît à une vitesse importante et ces objets feront partie intégrante de notre vie quotidienne dans quelques années. Les entreprises se tournent aujourd'hui vers ces solutions pour avoir un retour d'informations précis de leurs activités ou de leurs environnements de travail.

Dans ce contexte, nous pensons que l'intégration de Systèmes Multi-Agents (SMA) dans les IoT doit permettre de traiter des données hétérogènes, issues d'un environnement complexe et distribué. Nous rajoutons ainsi de l'intelligence au sein même de ces objets connectés. En intégrant l'intelligence au plus près des composants électroniques, nous nommons IoT-a les objets physiques du type "Internet of Things - agents". Ainsi l'intelligence reste distribuée dans les objets et non centralisée et déportée dans le "cloud" [5].

Dans cet article, nous introduisons le contexte industriel dans lequel est menée cette recherche afin d'aboutir au positionnement des problématiques. Nous proposons ensuite une revue détaillée des différents paradigmes développés dans le domaine des IoT et les liens établis dans la littérature entre les IoT et les systèmes multi-agents. Une présentation des applications envisagées sera détaillée dans la section 5. En particulier, nous montrerons comment les paradigmes et normes des domaines agents et des IoT peuvent cohabiter en mettant en oeuvre les protocoles MQTT et D-Bus tout en respectant les standards FIPA-ACL. Enfin, nous discuterons des différentes perspectives à envisager autour de ce travail selon qu'il est abordé d'un point de vue IoT-a, données ou usages.

2 Interactions de données hétérogènes via des supports interactifs

L'entreprise SARP souhaite bénéficier d'un nouvel outil pour ses équipes d'organisation. Chaque agence est composée d'un ou plusieurs centres opérationnels. Ces centres organisent des chantiers au quotidien. Ils sont constitués de deux à trois personnes appelées assistants d'exploitation. Un chantier nécessite la manipulation de trois types de données contraintes : les ressources humaines, matérielles et la planification de chantiers. Les ressources humaines concernent les équipes de chantiers. Elles sont composées d'opérateurs ayant des qualifications propres en rapport avec différents types de travaux (travail en hauteur, permis poids lourds, amiante, etc.). Les véhicules se composent de matériel spécifique et ne sont compatibles que pour certains chantiers et opérateurs.

Concernant la planification, des aléas à différentes échelles (la détérioration de matériel, l'absence de personnels qualifiés, l'accès impossible à un chantier dû au retard d'un autre corps de métier) perturbent les plannings établis. Un assistant d'exploitation reçoit en continue des demandes client. Il planifie avec eux les interventions puis élabore les équipes d'opérateurs et de matériels compatibles pour les chantiers tout en ayant en tête les aléas pouvant perturber l'intervention.

Lors de cette organisation, il est important que les équipes de gestion aient un oeil sur la rentabilité des activités. Un outil interne calcule des indicateurs cohérents à l'activité quotidienne. Il est donc nécessaire de bénéficier d'un affichage interactif prenant en compte toutes ces données pour un meilleur contrôle des coûts et de la rentabilité.

Une large surface d'affichage et un espace collaboratif de manipulation des données, permettra aux opérateurs du centre de contrôle de visualiser et d'interagir de façon collective avec toutes ces données. Les assistants d'exploitation pourront ainsi visualiser différentes échelles et points de vue de ces données hétérogènes et distribuées. Plusieurs possibilités d'agrégats d'informations sont envisageables. Comment visualiser simplement l'antériorité des chantiers : leurs localisation, retour d'informations antérieures, spécificités techniques et organisationnelles pour en ressortir une information utile à l'assistant d'exploitation durant une organisation de journée ? Comment connaître les ressources matérielles et humaines disponibles et en capacité d'intervenir, sur un secteur d'activité, pour répondre à une urgence client plus efficacement ?

L'ensemble du projet reposera sur l'utilisation d'une plateforme multi-agents. Cette dernière sera la clé de voûte des échanges entre les différents éléments hétérogènes portant les informations représentatives des activités de l'entreprise. Ce système se voudra inter-opérable quel que soit le type de matériel utilisé (PC, Tablette, Smartphone, Table surface, etc.)

3 Problématiques

Nos travaux reposent sur deux problématiques principales conjointes.

La première concerne les aspects matériel et logiciel dans le contexte des SMA appliqués aux objets connectés. Par exemple, comment intégrer les notions de SMA au sein d'objets connectés, pour en optimiser la communication et les échanges ?

La seconde prend en compte les contraintes de données complexes. Comment manipuler et visualiser à différentes échelles des données hétérogènes et distribuées reposant sur des IoT-a ?

Ces recherches devront être directement expérimentées et appliquées afin de réaliser un réseau de communication entre différentes données réparties sur un territoire géographique et un centre de contrôle. L'ensemble du système sera visualisé sur un mur d'écrans interactifs manipulable via une table de surface.

4 Etat de l'art

Différents travaux ont montré l'intérêt des SMA dans les systèmes embarqués [12]. Des plateformes spécifiques telles que Spade [10] ou JADE [2] permettent d'expérimenter des modèles SMA. JADE, par exemple, "permet aux développeurs d'implémenter et de déployer des systèmes multi-agents, y compris des agents tournant sur des réseaux sans-fil ou sur des dispositifs ayant des ressources limitées" [3]. Le plus souvent ces solutions adoptent l'utilisation d'une couche d'abstraction logicielle [1]. Elle permet de s'affranchir de l'aspect matériel des systèmes sur lesquels ils peuvent être exécutés. En l'occurrence JADE repose sur le langage JAVA utilisant un moteur virtuel pour le rendre interopérable.

Tableau 1 – Comparatif des protocoles de communication

	AMQP	HTTP	MQTT	CoAP
Taille de messages	Faible Flux d'octets adaptés à l'information. Type + Objet	Importante Entête volumineuse Informations sous forme de messages texte	Très faible Flux d'octets adaptés à l'information. Information brute	Moyenne Informations sous forme de messages texte
Qualité de service	Même pour tous les messages En développement	Même pour tous les messages	Trois types de qualité de service	3 types de confirmations d'envoi
Type de distribution de messages	1 vers 1 et 1 vers N	1 vers 1	1 vers 0, 1 vers 1 et 1 vers N	1 vers 1 et 1 vers N
Architecture	Publish/Subscribe and Request/Response	Request/Response	Publish/Subscribe	Request/Response and Publish/Subscribe
Bridge	non	non	oui	non
Contexte d'usage	Bancaire	Page WEB	Objets connectés	Objets connectés

Ces solutions ne sont pas optimales pour un contexte embarqué.

Notre approche repose sur l'intégration d'agents au plus près de la couche matérielle des IoT [11]. En effet, un IoT est d'abord un système embarqué intégrant du matériel et un logiciel adapté à son activité. Ce matériel dispose très souvent de ressources (CPU, mémoire, énergie) assez limitées. Ce choix permet d'avoir une consommation la plus faible possible. Le logiciel embarqué est conçu pour répondre au mieux aux exigences du matériel. Il est alors intéressant de proposer des solutions, apportant un minimum d'intelligence, adaptées à une intégration matérielle exigeante telle que celle des IoT.

Tout IoT repose sur un système embarqué plus ou moins performant en fonction de la nature des informations dont il dispose. Il devient donc possible de rendre connecté tout ce qui est mesurable et/ou interopérable. Cette diversité et hétérogénéité des objets laisse apparaître un problème de taille concernant l'analyse cohérente des informations collectées.

Notre postulat est donc d'intégrer, au sein même des IoT, une couche agent autorisant une communication entre les différents objets réseaux. Nous proposons le terme de IoT-a comme acronyme de "Internet of Things-Agents" [4], pour représenter ces entités autonomes diffusées dans l'environnement et interconnectées. Dans cette vision, chaque IoT est un agent ayant des caractéristiques communes avec tous les autres IoT. Cet IoT-a a, entre autre, la capacité d'interagir avec d'autres agents IoT-a et il peut ainsi être doté de nouveaux comportements hétérogènes en fonction de son rôle dans l'environnement. Ces comportements le différencient alors d'un simple "capteur connecté". Nos travaux vont se centrer ainsi sur la communication entre IoT-a afin de mettre en adéquation les standards agent et les standards du domaine des IoT.

De nombreux réseaux industriels permettent aujourd'hui d'interconnecter des IoT : les réseaux SigFox ou LoRa [7] sont des supports d'informations fiables à faible coût, pour des échanges légers. Afin d'organiser l'information de tous ces objets connectés différents protocoles ouverts sont disponibles [9]. Le tableau 1 dresse un comparatif non exhaustif de quatre des principaux protocoles d'échanges d'informations et notamment les protocoles MQTT et CoAP adaptés aux communications pour objets connectés. CoAP est très proche du protocole HTTP et intègre d'ailleurs de nombreuses fonctionnalités. Il a été conçu pour bénéficier d'une consommation plus faible par échange par rapport au HTML. CoAP repose néanmoins sur une logique d'échange de message texte ce qui peut s'avérer particulièrement lourd lors d'échange de données numérique et peut adapté aux contraintes de notre projet. Il est montré dans [18] que MQTT apporte moins de délais de transmission et moins de paquets perdus pour une grande quantité d'échange d'information. Le protocole MQTT ressort comme étant le plus adapté à notre contexte de recherche. Ce protocole est ouvert "Machine-to-Machine", il permet des échanges de données bas niveau portés par un réseau TCP/IP. Il est encapsulé dans des trames TCP et dispose de plusieurs types de qualité de service. Il s'avère à la fois très léger et particulièrement robuste. Ces caractéristiques sont nécessaires car la communication avec les IoT est bien souvent effectuée sur des canaux de transmission assez bruités, car éloignés des bandes de bases, et à faible bande passante pour bénéficier d'une consommation la plus faible possible.

Afin d'optimiser la communication des IoT-a, il sera aussi nécessaire de définir les messages échangés et donc l'ontologie spécifique adaptée aux interactions inter-agents et agent-humains [13].

Notre expérimentation portera sur un mur d'écrans [17] permettant la visualisation des données métiers et sur son interaction avec une table surface permettant la manipulation collaborative de ces données.

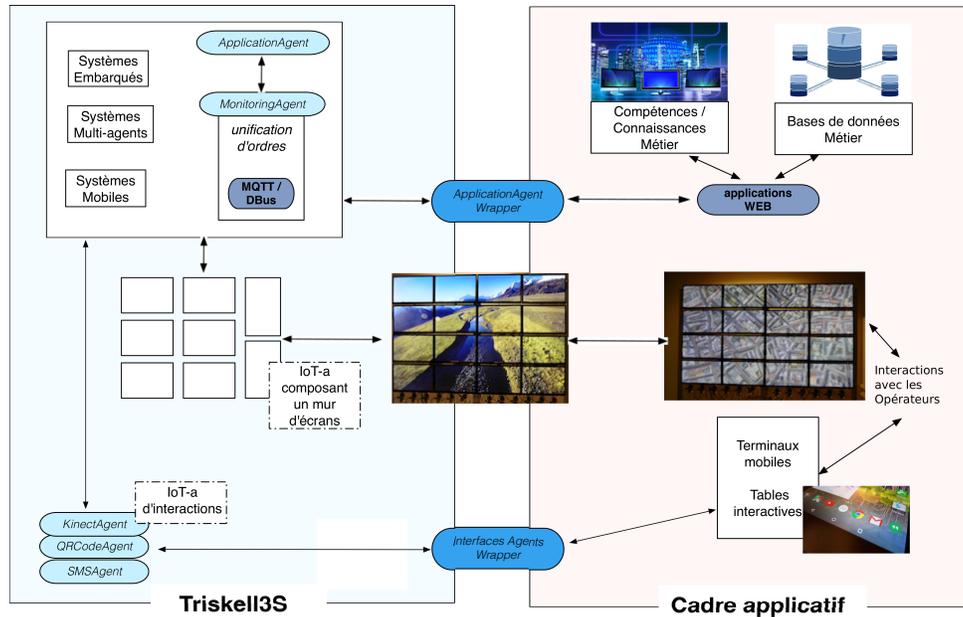


FIGURE 1 – Plateforme Triskell3S et ses interactions

Chaque brique écran du mur, ainsi que la table surface, étant considérée comme un IoT-a comme résumé sur la figure 1.

Dans notre cas l'ensemble de systèmes embarqués IoT-a est un mur écrans couplé d'une table surface tactile. Les interactions entre IoT-a sont au centre de ce sujet de recherche. Comment les optimiser pour les rendre compatible avec les interactions qu'impose la norme FIPA ? Quelles sont les redondances de communication à éviter pour un meilleur gain en performance ?

5 Communication et interactions multi-niveaux

5.1 Communication entre agents

Afin de faire évoluer l'ensemble des IoT-a de notre système dans un environnement multi-agents l'implémentation d'une plateforme dédiée aux systèmes embarqués a été nécessaire. Les développements ont été effectués de façon à respecter le standard FIPA. La plateforme Triskell3S [4] développée en C++ fait cohabiter les différents agents s'occupant de la gestion de contenus vidéo à afficher sur le mur d'écrans [5]. Les communications inter-agents/intra-carte se font via le protocole D-Bus permettant des accès bas niveau et à haute vitesse avec le système. Il est possible d'interagir entre différents agents situés à des niveaux différents (de la couche matérielle bas niveau vers la couche logicielle utilisateur). Les communications inter-carte sont effectuées via le réseau ethernet avec le protocole MQTT. Avant de spécifier l'ontologie, la première étape de nos recherches repose sur l'optimisation de l'architecture des

protocoles des messages entre IoT-a.

Le MQTT repose sur le mécanisme de *publisher/subscriber* [6]. Un client peut souscrire à un fil de messages nommé *topic* et/ou publier sur un fil particulier. Cette architecture permet des communications synchrones de 1 vers 1 ou 1 vers N clients ou encore asynchrone de 1 vers 0 hôte (il est possible de publier un message sur un topic souscrits par aucun client). Un serveur d'échange de messages MQTT est appelé *broker*. Plusieurs projets proposent des *brokers*, comme par exemple, IBM WebSphere MQ, HiveMQ, Mosquitto, etc. Nous utilisons dans le cadre de nos recherches, le projet open source Mosquitto. Il propose un *broker* et une librairie pour la création de clients légers développés en langage C. Cette solution est la plus pertinente pour notre environnement embarqué. La version actuelle du *broker* Mosquitto permet un code exécutable de 120Ko consommant 3Mo de mémoire RAM pour 1000 clients connectés [16]. Son fonctionnement sur plateformes x86 et ARM (architecture de nos systèmes embarqués) a été validé.

Le MQTT présente de nombreux avantages parmi lesquels la notion de *bridge*. Cette option permet une interconnexion privilégiée entre les *brokers*. Plusieurs systèmes disposant chacun d'un *broker*, peuvent se partager mutuellement et simultanément leurs informations via un *bridge*. Cette solution ouvre de nombreuses possibilités et nous offre principalement le moyen de communiquer de façon décentralisée sur tout élément agent de notre réseau.

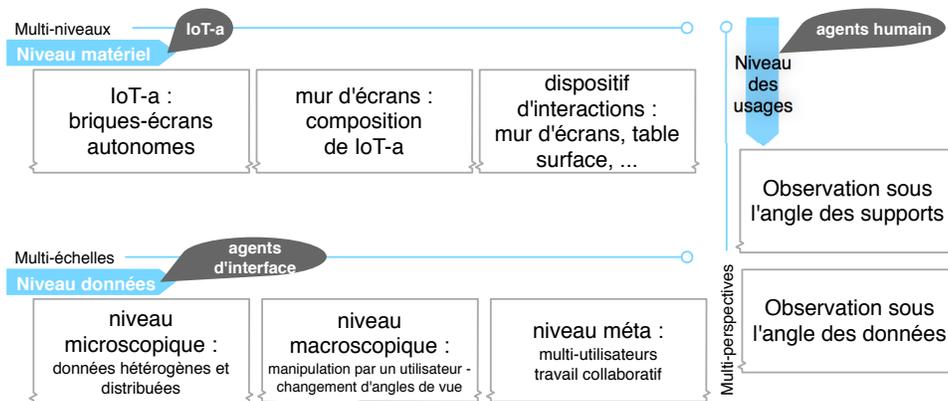


FIGURE 2 – Niveaux croisés de compétences

Différentes expérimentations devront maintenant être menées afin de mesurer les avantages et les limites de cette solution. Ces mécanismes de communication, via les bridges, permettent d’envisager des interactions multi-niveaux selon les besoins d’affichage et d’interactions des opérateurs humains.

5.2 Multi-échelles, multi-niveaux et multi-perspectives

Comme résumé dans la figure 2, ces travaux peuvent être abordés sous différentes perspectives selon que l’on s’intéresse aux aspects matériels, aux données ou aux usages. L’intégration des IoT-a au niveau des briques-écrans, du mur d’écrans et des différents outils d’interactions mis en oeuvre pour manipuler les données implique une analyse *multi-niveaux* de la plateforme Triskell3S et de la gestion de modèle agent de communication. Les agents présents au sein de la plateforme Triskell3S peuvent ainsi être appréhendés à des niveaux d’abstractions différents et regroupés en fonction de leurs capacités. Une vue microscopique de l’environnement permet ainsi de comprendre les interactions au sein d’une même carte embarquée. La vue macroscopique, quant à elle, permet d’appréhender les interactions entre des agents de plus haut niveau exécutant des services plus complexes.

Du point de vue des données, la granularité des informations métier transitant dans notre système suggère une approche *multi-échelles*. Nos travaux se rapprochent alors de ceux de C. Duchêne [8] pour son approche multi-échelles appliquée à l’agrégation d’agents dans le domaine de la cartographie. Son objectif est d’agréger un jeu de données géographiques vectorielles, dans un but de généralisation cartographique. Ces études montrent la difficulté du passage à l’échelle et le rôle organisationnel que peuvent avoir les agents dans ce contexte. Dans notre cas, la distribution des données métier et les différents niveaux de compétences des utilisateurs nous permettront de confronter cette approche multi-échelles dans un environnement embarqué

contraint en ressources de calcul. Cette approche pourra donc avoir des conséquences sur les protocoles de communication sous-jacents entre nos IoT-a.

Le troisième axe de la figure 2 concerne les usagers du dispositif, et en particulier les opérateurs qui devront manipuler de façon collaborative les données métier. Là encore, plusieurs perspectives sont à co-construire selon que les travaux se placent sur les moyens matériels d’interactions supportés par le dispositif ou sur les données à manipuler. Ces différentes granularités dans les approches seront abordées dans les travaux avec une priorité sur l’analyse multi-niveaux des agents et sur leur processus de communication. Par exemple, comment interagir de façon cohérente à des niveaux différents, pour répondre à des problèmes globaux au niveau des interfaces ? Est-il pertinent de regrouper certains domaines de compétences des agents pour faciliter la gestion de contenus hétérogènes ?

Différents travaux ont été menés mettant en perspective le rôle des systèmes multi-agents dans des environnements interactifs tels que des tables interactives [13]. Ces travaux soulignent que la conception de dispositifs interactifs complexes doivent être menés de front avec la conception de la plateforme sous-jacente.

6 Conclusion et Perspectives

L’objectif de cette recherche est d’étudier et d’optimiser ces protocoles de communication multi-niveaux dans le cadre des IoT-a, tout en tenant compte des problèmes de sécurité inhérents aux IoT. Il sera nécessaire de tester la réactivité et l’efficacité de ces protocoles lors d’interactions plus importantes avec les usagers. Cette étape devrait permettre de développer de nouveaux moyens d’interaction et d’usage du mur d’écrans en proposant de nouveaux IoT-a d’interactions complémentaires aux agents d’IHM.

Cette étape devrait aussi conduire à s’interroger sur la typologie et l’optimisation des messages à mettre en place au travers des protocoles prédéfinis MQTT et D-Bus.

Kubicki et al. [14] présentent un état des lieux des expériences utilisateurs et des critères d'évaluation des tables interactives, notamment dans des contextes de tâches collaboratives. La multi-modalité et les caractères multi-utilisateurs peuvent modifier la collaboration traditionnelle des opérateurs. Des agents d'interface devront donc être introduits progressivement dans le système afin d'aider à l'acceptation du dispositif. Des travaux complémentaires dans le domaine des Interfaces Homme-Machine seront donc nécessaires. Ils permettront aussi d'étendre et d'expérimenter le dispositif mur d'écrans et table de surface à d'autres contextes [15], tels que le contexte éducatif.

Remerciements

Les travaux menés dans cet article bénéficient d'un financement de thèse CIFRE en partenariat entre le laboratoire Centre de Recherche en Éducation de Nantes (CREN) et l'entreprise SARP - SOA Le Mans avec la collaboration de Frédéric Le Bouguenec, Directeur Technique et Innovation.

Bibliographie

- [1] Luigi Atzori, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. The internet of things : A survey. *Computer Networks*, 54(15) :2787 – 2805, 2010.
- [2] Fabio Luigi Bellifemine, Giovanni Caire, and Dominic Greenwood. *Developing Multi-Agent Systems with JADE (Wiley Series in Agent Technology)*. John Wiley & Sons, 2007.
- [3] Federico Bergenti, Giovanni Caire, and Danilo Gotta. Agents on the move : Jade for android devices. In *Proceedings of the XV Workshop "Dagli Oggetti agli Agenti" (WOA 2014)*, volume 1260 of *CEUR-WS*, pages 1613–073. Corrado Santoro (ed.), 2014.
- [4] F. Carlier and V. Renault. Iot-a, embedded agents for smart internet of things : Application on a display wall. In *2016 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence, The First International Workshop on the Internet of Agents (IoA)*, pages 80–83, Omaha, Nebraska, USA, 13-16 Oct. 2016 2016. IEEE Computer Society.
- [5] F. Carlier and V. Renault. Systeme d'affichage multi-agents et methode d'affichage associee. Brevet, Notice, 10 Mars 2017.
- [6] MQTT community. MQTT homepage. <http://mqtt.org/>. Page d'accueil organisation mqtt.
- [7] Walid Dabbous. Quels réseaux pour les Big Data ? In Mokrane Bouzeghoub and Rémy Mosseri, editors, *Les Big Data à découvert*. CNRS Editions, 2017.
- [8] Cécile Duchêne. *Automatisation de la généralisation cartographique - Relations et interactions, orchestration et approches multi-agents*. Habilitation à diriger des recherches, spécialité sciences et technologies de l'information géographique, Université Paris-Est, jun 2016.
- [9] Simon Duquennoy, Gilles Grimaud, and Jean-Jacques Vandewalle. The Web of Things : interconnecting devices with high usability and performance. In *ICESS 2009*, HangZhou, Chile, May 2009.
- [10] Miguel Escrivá Gregori, Javier Palanca Cámara, and Gustavo Aranda Bada. A jabber-based multi-agent system platform. In *Proceedings of the Fifth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS '06*, pages 1282–1284, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [11] Jean-Paul Jamont and Michel Occello. Designing embedded collective systems : The DIAMOND multiagent method. In *IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence - ICTAI 07*, pages 91–94, Patras, Greece, 2007. IEEE Computer Society.
- [12] Jean-Paul Jamont and Michel Occello. A multiagent method to design open embedded complex systems. In P. Fritzsche, editor, *Tools in Artificial Intelligence*, pages 205–222. In-Teh, 2008.
- [13] Céline Joiron, Frédéric Fürst, Gilles Kassel, Alistair Jones, Jean-Paul Barthès, Claude Moulin, and Dominique Lenne. An Ontology for Designing a Collaborative Platform Involving a Multi-touch and Multi-user Interactive Table. In Jan Dietz, editor, *KEOD*, pages 1–12, Vilamoura, Portugal, September 2013.
- [14] Sébastien Kubicki, Katarzyna Borgiel, Sophie Le-preux, Marion Wolff, and Christophe Kolski. Réflexions autour des tables interactives : expérience utilisateur, utilisabilité, évaluation. *Le travail humain*, pages 229–252, December 2012.
- [15] Sébastien Kubicki, Denis Pasco, and Ingrid Arnaud. Utilisation en classe d'un jeu sérieux sur table interactive avec objets tangibles pour favoriser l'activité des élèves : une évaluation comparative en cours préparatoire. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation (STICEF)*, 21 :1, October 2014.
- [16] Roger Light. Project mosquito. <https://www.mosquito.org>. Page d'accueil du projet Mosquito.
- [17] V. Renault, F. Carlier, and A. Schmitt. Framework sma pour visualisation multi-écrans. In *Journée Interaction Homme-Machine et Intelligence Artificielle*, Université Pierre et Marie-Curie, Paris, France, 17 Mars 2017.
- [18] D. Thangavel, X. Ma, A. Valera, H. X. Tan, and C. K. Y. Tan. Performance evaluation of MQTT and CoAP via a common middleware. In *2014 IEEE Ninth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)*, pages 1–6, April 2014.