



Actes du Congrès

INFORSID 2021

INFormatique des Organisations et Systèmes
d'Information et de Décision

39^{ème} édition

Dijon, 1er au 4 juin 2021

Organisé en distanciel

Présidente du Comité de Programme: Selmin Nurcan

Présidents du Comité d'Organisation: Thierry Grison, Marinette Savonnet

<https://inforsid2021.sciencesconf.org/>

Préface

J'ai le plaisir et l'honneur de présider le Comité de Programme d' INFORSID 2021.

J'ai participé à INFORSID comme auteur à quatre reprises en vingt-six ans. Bien que n'ayant pas été très assidue, je peux attester qu'une courte discussion avec Claude Delobel lors d'INFORSID 1995, sur les marches d'un amphithéâtre à Grenoble, a participé à l'orientation de ma vie professionnelle et m'a ramenée en 1996 dans l'équipe de recherche dont je fais partie depuis. Que les jeunes chercheurs ne négligent jamais ce qui peut arriver entre deux marches d'escaliers et l'importance des rencontres pendant les conférences scientifiques.

Depuis 1982, le congrès annuel INFORSID (INFormatique des ORganisations et Systèmes d'Information et de Décision) constitue le lieu d'échange privilégié entre chercheurs et praticiens pour identifier et explorer les problématiques, les opportunités et les solutions que les systèmes d'information apportent ou absorbent. Les systèmes d'information sont omniprésents au sens où aucun domaine d'activité n'y échappe.

En 2021, le congrès INFORSID devait se tenir à Dijon du 1er au 4 juin 2021. La pandémie, que nous subissons depuis maintenant presque 18 mois au niveau mondial, en a décidé autrement. INFORSID 2021 s'est donc tenu pour la deuxième fois entièrement à distance. Ce contexte particulier, qui nous empêche de partager nos expériences, pendant les sessions scientifiques mais aussi pendant tous les moments de socialisation qui font la vie d'une conférence scientifique, a aussi révélé -notamment à des non-initiés- toute l'importance de la discipline *Systèmes d'information* (et aussi de décision, de connaissance et de collaboration). C'est encore à nous, chercheurs, enseignants, ingénieurs, de faire en sorte que les usagers et les décideurs ne réduisent pas les systèmes d'information à leurs composants logiciels, ou pire encore à leurs supports technologiques. Lorsque j'observe aujourd'hui que n'importe quel algorithme peut être parfois être appelé 'intelligence artificielle' par des non experts, je me dis - avec une certaine frustration- que ce n'est toujours pas gagné.

Les organisations et le monde vivent de grandes transformations dues, en grande partie, aux technologies de l'information et à leurs impacts indirects. Ces transformations impactent directement les systèmes d'information (SI), qui supportent les processus métier des organisations, et par conséquent les acteurs dans la réalisation de leurs activités/missions. La rapidité des transformations organisationnelles mais aussi sociétales nécessitent de mettre en place des processus d'amélioration continue et/ou d'innovation pour lesquels la créativité et la responsabilité sont des facteurs déterminants qui requièrent une connaissance fine et multi-facettes du sujet et du contexte. L'imprévisibilité de ces mêmes transformations (notamment les effets

indirects pervers) requiert plus que jamais une *vision systémique* dans l'ingénierie et la gouvernance des systèmes d'information.

Les opportunités d'évolution et de transformation supposent une capacité à capter, stocker, organiser, rechercher et analyser de gros volumes informations, et nous mettent devant de nombreux défis inédits : satisfaire et maîtriser les exigences de volume, vitesse, variété, véricité, valeur des données, respecter les lois relatives à la protection des données, et être pleinement conscients des (et responsables face aux) composants du nouveau monde VUCA (volatilité, incertitude, complexité et ambiguïté). ***Nous en sommes responsables*** en tant qu'ingénieurs, en tant que chercheurs, en tant qu'enseignants et en tant que citoyens. Nous avons, plus que jamais, besoin de l'intelligence humaine.

Dans ce contexte de *transformation drastique* (que je ne vais volontairement pas appeler 'numérique' de crainte que les non experts ne la limitent encore à sa composante technologique, peut-être pour mieux se dédouaner de leurs propres responsabilités en tant qu'acteurs), la nouvelle thématique de cette année révèle toute son importance, ***Réflexions sur l'Interaction Homme-Homme et la RESPONSABILITE dans un environnement virtuel où TOUT devient INFORMATION : Réseaux sociaux, ingénierie sociale, discernement, réflexion vs réflexe, éthique, responsabilité, citoyenneté.*** J'ai vraiment eu le plaisir de pouvoir regrouper six articles dans cette thématique, dans le programme de cette année, preuve que notre communauté joue pleinement son rôle de *production de connaissances* autour ces défis qui sont en train de devenir de plus en plus complexes et vitaux d'un point de vue sociétal.

En 2021, le Congrès INFORSID a accueilli trois conférenciers qui nous ont fait l'honneur d'accepter notre invitation.

- Neil Maiden (Business School de la City, Université de Londres) : *Des systèmes d'information pour augmenter la créativité au quotidien*
- Serge Abiteboul (INRIA et ENS Paris) : *Modération de contenu dans les réseaux sociaux et intelligence artificielle*
- Chantal Morley (Institut Mines-Télécom Business School) : *Le genre dans la recherche en systèmes d'information*

Nous les remercions d'avoir partagé avec nous leurs expertises et expériences.

Cette année, le congrès INFORSID a reçu vingt-deux soumissions d'articles dont sept issues d'articles déjà acceptés dans des conférences ou revues internationales. L'objectif de la session internationale est de faire partager avec la communauté nationale les travaux les plus récents même si ceux-ci ont déjà été publiés.

Les auteurs sont issus de différents pays (France, Algérie, Belgique, Brésil, Tunisie). Quatorze articles ont été acceptés : neuf articles longs, un article court et quatre résumés étendus d'articles publiés dans de très bonnes conférences ou revues internationales dans l'année 2020.

Trois autres résumés étendus soumis pour la session internationale ont été retenus, par le Conseil du Comité de Programme, pour publication dans les actes des ateliers et pour présentation dans une nouvelle session d'INFORSID, le FORUM, qui j'espère sera perenne dans les prochaines éditions.

Le processus de sélection des articles s'est déroulé en plusieurs étapes et a été supporté par l'outil EasyChair. Dans un premier temps, chaque article soumis a été évalué par trois membres du Comité de Programme. Ensuite, les membres du Conseil du Comité de Programme ont réalisé une méta-évaluation sur chaque article quel que soit les avis et, en cas de besoin, ont coordonné des discussions entre les membres du Comité de Programme. Les membres du Conseil du Comité de Programme ont animé ces discussions et ont rédigé une synthèse des avis. Une réunion à distance du Conseil du Comité de Programme a permis de sélectionner les articles. Deux articles ont été retenus d'abord sous condition et finalement acceptés dans leurs versions révisées.

Les quatorze articles acceptés couvrent un large panel des problématiques autour des SI. Nous avons pu les organiser autour de trois grands thèmes :

- Réflexions sur l'Interaction Homme-Homme et la responsabilité
- 'Décision' dans toutes ses couleurs
- Données massives et connectivité

When life gives you lemons, make lemonade. Le nombre réduit de soumissions de cette année, probablement lié à l'activité intense et l'abnégation remarquable de la communauté universitaire depuis le début de la pandémie, nous a permis d'intégrer sans restriction aucune les articles acceptés pour INFORSID 2020 dans le programme de cette année.

En complément de la présentation des articles scientifiques, INFORSID 2021 a aussi accueilli le forum Jeunes Chercheuses/Jeunes Chercheurs (JCJC) de l'édition 2020. Six doctorants ont ainsi pu présenter leurs travaux de thèse. Nous leur souhaitons de la passion et de l'énergie dans leurs parcours de jeunes chercheurs et dans la suite.

INFORSID 2021 s'est également animé avec trois ateliers cette année :

- *Évolution des SI: vers des SI Pervasifs ? (2ème édition)*, porté par Carine Souveyet, Philippe Roose, Luiz Angelo Steffene et Manuele Kirsch Pinheiro
- *Systèmes d'Information et de Décision et démocratie dans les organisations (4ème édition)* porté par Raphaëlle Bour et Maryse Salles
- *SimpleText*, porté par Liana Ermakova, Josiane Mothe et Eric San-Juan,

ainsi qu'une initiative d'action commune INFORSID/GDR MACS.

Les ateliers sont les pépinières des recherches de notre communauté. Je remercie le Bureau d'INFORSID et le Comité Exécutif d'avoir pleinement soutenu ma proposition de publier les articles acceptés dans les ateliers d'INFORSID, dans un

deuxième volume, intitulé "*Actes des Ateliers d'INFORSID - Dessinons ensemble le futur des systèmes d'information*". J'espère que cela donnera plus d'élan aux bonnes volontés les prochaines années, pour organiser des ateliers et aussi pour soumettre des travaux à ces ateliers.

Je tiens à remercier tous les acteurs de cette édition d'INFORSID. Sur le plan scientifique, mes remerciements s'adressent à l'ensemble des membres du Comité de Programme international (France, Belgique, Luxembourg, Suisse) et aux membres du Conseil du Comité de Programme. Dans des conditions pas toujours faciles, ils ont donné de leur temps et ont fourni des évaluations constructives dans les meilleurs délais.

Je remercie chaleureusement

- les auteurs d'avoir partagé leur travaux avec la communauté INFORSID ;
- les porteurs des ateliers pour leur investissement dans l'organisation de ces rencontres enrichissantes et originales (nos pépinières), qui participent à la fois au dynamisme de la conférence mais également à son renouvellement ;
- les membres du Conseil du Comité de Programme, "les sages", pour leurs précieuses remarques et conseils pendant le processus sélection des articles ;
- les trois conférenciers d'avoir partagé avec nous leurs expertises et leurs expériences ;
- les présidents de session d'avoir animé les échanges et les débats ;
- les participants au Congrès de faire vivre et promouvoir notre communauté.

Je tiens à remercier les membres du bureau de l'association INFORSID, sous la présidence de Franck Ravat, de m'avoir confié l'organisation scientifique du congrès et pour leur assistance et soutien tout au long de cette année.

Last but not least, je remercie toutes les personnes impliquées dans l'organisation d'INFORSID 2021, en particulier Thierry Grison et Marinette Savonnet, qui ont réalisé un travail essentiel pour la bonne tenue du Congrès sur une plateforme collaborative, Teams.

Nous sommes impatients de vous retrouver dans notre jumeau physique dans un avenir proche.

Très bonne conférence à tous,

Selmin NURCAN
Présidente du Comité de Programme INFORSID 2021

Table of Contents

INFORSID 2021: Conférences invitées

INFORSID 2021 : Conférences invitées	1
--	---

Réflexions sur l'Interaction Homme-Homme et la responsabilité (1)

Frontières des communautés polarisées : application à l'étude des théories complotistes autour des vaccins	7
<i>Alexis Guyot, Annabelle Gillet and Eric Leclercq</i>	
Étude de l'influence des représentations textuelles sur la détection d'évènements non supervisée dans des flux de données	23
<i>Elliot Maître, Zakaria Chemli, Max Chevalier, Bernard Dousset, Jean-Philippe Gitto and Olivier Teste</i>	
Stratégies numériques de lutte contre la pandémie de la COVID-19 : quelle place pour les applications de contact tracing ?	39
<i>Robert Viseur</i>	

Réflexions sur l'Interaction Homme-Homme et la responsabilité (2)

Analyse et conception par patrons de l'équité de systèmes d'information durables	55
<i>Christophe Ponsard, Bérengère Nihoul and Mounir Touzani</i>	
Une étude systématique pour la conception d'un système d'aide à la communication pour les personnes atteintes de la Maladie de Parkinson ..	71
<i>Yohan Guerrier, Kathia Oliviera, Christophe Kolski, Sophie Lepreux, Kodzo Apedo, Veronique Delcroix and Houcine Ezzedine</i>	
Ingénierie d'une méthode pour évaluer l'impact d'un SI sur la démocratie d'une organisation	87
<i>Raphaëlle Bour and Maryse Salles</i>	

'Décision' dans toutes ses couleurs

Gestion de crise et Défiance : étude d'un accident industriel en France (session internationale)	103
<i>Elsa Negre</i>	
Je clique ou pas ? Une étude des facteurs influençant la confiance et la défiance dans les courriels de hameçonnage (session internationale)	105
<i>Pierre-Emmanuel Arduin</i>	

Comment la Conformité au RGPD est intégrée dans les Pratiques de Gestion de Processus Métier (BPM)?	107
<i>Sothiya Jeyakumaran, Rébecca Deneckere and Rychkova Irina</i>	
Une Gestion de Ressources Sensible au Contexte & Opportuniste pour les Systèmes d'Information Pervasifs	123
<i>David Beserra, Manuele Kirsch-Pinheiro and Carine Souweyet</i>	
Données massives et connectivité	
Architectures des lacs de données et gestion des métadonnées (session internationale)	139
<i>Pegdwendé N. Sawadogo and Jérôme Darmont</i>	
Génération automatique de smart contracts avec B-Merode (session internationale)	141
<i>Victor Amaral de Sousa, Coentin Burnay and Monique Snoeck</i>	
A Preliminary Study of IoT Multidisciplinary View in the Industry (papier court)	143
<i>Rebeca Motta, Kathia Oliveira and Guilherme Travassos</i>	
AI: To interpret or to explain?	149
<i>Jinfeng Zhong and Elsa Negre</i>	
Table ronde: SI & responsabilité environnementale et sociétale	
Table ronde : SI & responsabilité environnementale et sociétale	165
<i>Claudio Roncancio and Philippe Roose</i>	

Comités

Le comité de la 39ème édition d'INFORSID est composé par les responsables de l'organisation ainsi que les membres du comité de programme et les membres du conseil du comité de programme.

Comité de Programme

Présidente : Selmin Nurcan, CRI, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Conseil du Comité

Corine Cauvet, Université Aix-Marseille
Jérôme Darmont, ERIC, Université Lumière Lyon 2
Sophie Dupuy-Chessa, LIG, Université Grenoble-Alpes
Marianne Huchard, LIRMM, Université de Montpellier
Mourad Oussalah, LINA, Université de Nantes
Florence Sèdes, IRIT, Université Toulouse 3 Paul Sabatier
Samira Si-Said Cherfi, CNAM, Paris

Membres

Pierre-Emmanuel Arduin, DRM, UMR CNRS 7088, Université Paris-Dauphine
Saïd Assar, Institut Mines-Telecom, Paris
Khalid Benali, LORIA, Nancy
Reda Bendraou, LIP6, Paris
François Charoy, LORIA, Nancy
Max Chevalier, IRIT, Université de Toulouse, - IUT Toulouse 3
Eric Dubois, Luxembourg Institute of Science and Technology, Luxembourg
Cécile Favre, ERIC, Université Lyon 2
Jérôme Gensel, LIG, Université Grenoble-Alpes
Mohand-Saïd Hacid, LIRIS, Université Claude Bernard Lyon 1
Chihab Hanachi, IRIT, Université Toulouse 1 Capitole
Régine Laleau, LACL, Paris-Est Créteil
Philippe Lopisteguy, LIUPPA – IUT Bayonne
Káthia Marçal de Oliveira, LAMIH, Valenciennes
André Mirallès, UMR Tetis, Montpellier
André Peninou, IRIT, Université Toulouse Jean-Jaurès - IUT Blagnac, Toulouse
Jolita Ralyté, ISS - Institute of Information Service Science, Université de Genève,
Suisse Claudia Roncancio, LIG, Grenoble
Philippe Roose LIUPPA, Pau
Frantz Rowe, Université de Nantes

Monique Snoeck, Research Center for IS Engineering, KU Leuven, Belgique
Dalila Tamzalit, Université de Nantes
Nathalie Valles, IRIT, Toulouse
Christine Verdier, LIG, Grenoble

Comité d'organisation

Co-Présidents :

Thierry Grison, LIB - Université de Bourgogne
Marinette Savonnet, LIB - Université de Bourgogne

Membres :

Ludovic Journeaux, LIB - Agrosup - Dijon
Eric Leclercq, LIB - Université de Bourgogne

Des systèmes d'information pour augmenter la créativité au quotidien

Information Systems to Augment Everyday Creativity

Neil MAIDEN

Business School de la City, Université de Londres

Résumé

La créativité est une condition préalable importante à l'innovation. Cependant, malgré le déploiement et l'utilisation généralisés des systèmes d'information dans les entreprises, très peu d'entre eux soutiennent la pensée créative des salariés. C'est une occasion manquée d'augmenter l'innovation. La recherche et le développement ont conduit à une nouvelle génération de systèmes qui combinent des fonctionnalités interactives d'information et l'intelligence artificielle pour augmenter la créativité humaine. Ces nouveaux systèmes ont été développés pour soutenir la créativité quotidienne - pour découvrir des idées nouvelles et utiles dans le travail quotidien. Cette présentation décrira ces nouveaux systèmes, présentera des exemples dans des secteurs tels que le sport, la fabrication et le journalisme, et rendra compte des défis existants à surmonter.

Creativity is an important precondition for innovation. However, in spite of the widespread rollout and use of information systems in businesses, very few of them support the creative thinking of employees. This is a missed opportunity to increase innovation. Research and development have led to a new breed of systems that combine information interactive features, and artificial intelligence to augment human creativity. These new systems have been developed to support everyday creativity – to discover novel and useful ideas in everyday work. This keynote will describe these new systems, present examples in sectors such as sports, manufacturing and journalism, and report on existing challenges to be overcome.

Mini-biographie

Neil Maiden est professeur de créativité numérique à la Business School de la City, Université de Londres, et directeur du National Center pour Créativité rendue possible par IA (CebAI en Anglais), financé par Research England. Ses intérêts de recherche comprennent l'utilisation de l'intelligence artificielle pour augmenter la créativité humaine et l'amélioration des méthodes et des outils de conception pour générer des solutions plus créatives. Il est et a été un principal et co-chercheur sur de nombreux projets nationaux et internationaux d'une valeur totale de plus de 74 millions de euros. Il a publié plus de 220 articles évalués par des pairs dans des revues universitaires, des conférences et des actes d'ateliers. Il a été rédacteur en chef de la colonne IEEE Software's Requirements de 2005 à 2013. Ses coordonnées sont disponibles sur <https://www.city.ac.uk/people/academics/neil-maiden>

Neil Maiden is Professor of Digital Creativity at the Business School at City, University of London, and Director of the National Centre for Creativity enabled by AI (CebAI), which is funded by Research England. His research interests include uses of artificial intelligence to augment human creativity and enhancing design methods and tools to generate more creative solutions. He is and has been a principal and co-investigator on numerous national and international projects with a total value of over £64 million. He has published over 220 peer-reviewed papers in academic journals, conferences and workshops proceedings. He was Editor of the IEEE Software's Requirements column from 2005-2013.

His details are available at <https://www.city.ac.uk/people/academics/neil-maiden>.

Modération de contenu dans les réseaux sociaux et IA

Content Moderation in Social Media and AI

Serge ABITEBOUL

Professeur, INRIA et ENS Paris

Résumé

Nous aimons communiquer. Nous adorons partager. Nous aimons débattre, échanger - parfois vigoureusement. C'est pourquoi nous avons développé les réseaux sociaux. Mais ces réseaux ont soulevé de sérieux problèmes. Comment pouvons-nous les réparer ? Je parlerai de l'importance des réseaux sociaux dans le monde d'aujourd'hui, de la responsabilité de ces réseaux et des raisons pour lesquelles l'apprentissage automatique est nécessaire pour une modération efficace du contenu.

We love to communicate. We love to share. We love to debate, exchange – sometimes vigorously. This is why we developed social media. But, social media has raised several concerns. How do we fix this? I will discuss the importance of social media in today's world, the responsibility of social media platforms, and why machine learning is necessary for effective content moderation.

Mini-biographie

Serge Abiteboul est depuis 2018 Membre du Collège de l'Arcep (Autorité de régulation des communications électroniques, de la poste, et de la distribution de la presse). Il est chercheur à l'Inria et l'ENS, Paris. Il a été professeur dans différentes universités comme Stanford, Oxford, ENS Cachan, Collège de France, Namur. Il a cofondé la société Xyleme. Il a reçu le prix de l'innovation ACM SIGMOD en 1998, le prix EADS de l'Académie française des sciences en 2007; le prix Milner de la Royale Society en 2013; et une bourse du Conseil européen de la recherche (2008-2013). Il a été membre du Conseil national du numérique (2013-2016). Il est, depuis 2017, président du Conseil Stratégique de la Fondation Blaise Pascal. Ses travaux de recherche portent principalement sur les données, la gestion de l'information et des connaissances, en particulier sur le Web. Serge Abiteboul écrit également des romans, des essais, et est éditeur et fondateur du Blog binaire.

<http://abiteboul.blogspot.com/p/serge-cv.html>

Le genre dans la recherche en SI

Chantal MORLEY

Professeure, Institut Mines-Télécom Business School

Résumé

La question du déséquilibre femmes-hommes dans les métiers du numérique est une préoccupation depuis plus de 20 ans, et elle est souvent considérée comme relevant des études de genre. On voudrait tenter de répondre à trois questions. D'abord, d'un point de vue conceptuel, qu'est-ce que le genre ? Ensuite, pourquoi la recherche en SI est concernée par la prise en compte du genre ? Enfin, comment la recherche en SI pourrait-elle prendre en compte le genre ?

Mini-biographie

Chantal Morley est professeure à l'Institut Mines-Télécom, Business School (IMT-BS). Docteure HEC-Paris, HDR IAE-Montpellier II, elle a été consultante sur des projets de système d'information (Steria, CGI), puis chercheure en management des systèmes d'information. Elle a publié plusieurs livres sur le management de projet et la modélisation des systèmes d'information. Titulaire d'un master Sociologie du genre (EHESS), elle travaille depuis 2005 sur la problématique genre et technologies de l'information dans le groupe Gender@IMT.

Elle a conçu en 2018 le MOOC Mixité dans les métiers du numérique : <https://gender.wp.imt-bs.eu/>

Frontières des communautés polarisées : application à l'étude des théories complotistes autour des vaccins

Alexis Guyot, Annabelle Gillet, Éric Leclercq

Laboratoire d'Informatique de Bourgogne - EA 7534
Université de Bourgogne Franche-Comté
Dijon, France
{prenom}.{nom}@depinfo.u-bourgogne.fr

RÉSUMÉ. Les données des réseaux sociaux sont de plus en plus utilisées pour en extraire de la valeur, dans des domaines tels que le marketing, la politique ou la sociologie. Celles-ci peuvent être représentées sous forme de graphes, en modélisant précisément les interactions à travers des liens dirigés et pondérés. Dans l'analyse des données des réseaux sociaux, l'étude des communautés est une étape essentielle. Toutefois, pour une interprétation fine des phénomènes, il est également nécessaire d'étudier leurs interactions et de pouvoir détecter des traces de polarisation. Nous proposons une méthode qui permet d'évaluer l'antagonisme des communautés et d'identifier leurs frontières dans des réseaux pondérés et dirigés. Notre méthode s'accompagne d'une implémentation disponible en accès libre. Nous validons expérimentalement notre proposition par l'étude des théories complotistes autour de tweets liés à la vaccination contre la COVID-19.

ABSTRACT. Social network data are increasingly used to extract value from them, in different domains such as marketing, politics or sociology. These data can be represented by graphs which model the interactions between individuals through directed and weighted links. The detection and study of communities in online social networks are important tasks to understand the behavior of users. However, for a detailed interpretation of a phenomena, it is also necessary to study their interactions and to be able to detect and evaluate polarization of communities. We propose a method which allows to evaluate the antagonism of the communities and to identify their boundaries in weighted and directed networks. An implementation is available in open access. We experimentally validate our proposal by studying conspiracy theories around tweets related to COVID-19 vaccines.

MOTS-CLÉS : réseaux sociaux, graph mining, communautés, polarisation, frontières de communautés

KEYWORDS: social networks, graph mining, communities, polarization, communities boundaries

1. Introduction

Depuis leur apparition à la fin des années 90 et leur explosion dans la seconde moitié des années 2000, les réseaux sociaux numériques (RSN) se sont révélés comme une exceptionnelle source d'étude pour de très nombreux domaines de recherche. Avec plus de 2.7 milliards d'utilisateurs pour Facebook¹, 1.1 milliard pour Instagram ou encore 300 millions pour Twitter et une durée d'utilisation moyenne de 144 minutes par jour², les RSN captent à chaque instant un nombre conséquent d'interactions entre êtres humains. Ils les transforment en données qui peuvent être analysées en interne ou collectées par des tiers. Les données des RSN sont utilisées pour atteindre de nombreux objectifs, allant d'études à portée sociologique pour le monde de la recherche jusqu'à de l'analyse de marché pour orienter les stratégies marketing des entreprises. La polarisation des communautés est un exemple d'étude qui suscite un fort intérêt (Gillani *et al.*, 2018; Kearney, 2019; Lee *et al.*, 2014), afin de mieux comprendre l'organisation du réseau ainsi que les interactions qu'il traduit.

Toutes ces études profitent de façon directe ou indirecte des différentes propriétés induites par la représentation la plus courante de ces données : des graphes, dits sociaux, où les informations propres aux utilisateurs sont usuellement contenues dans les sommets de la structure et celles propres à leurs interactions dans les arêtes. Quand une interaction possède un émetteur et un destinataire, le lien est représenté sous la forme d'un arc. Pour simplifier le modèle de données, certains algorithmes de détection de communautés comme Louvain (Blondel *et al.*, 2008) font le choix d'ignorer ces informations contextuelles et de ne travailler qu'avec des arêtes. Cela entraîne la perte de beaucoup d'information, notamment concernant le rôle des utilisateurs aux extrémités. Souvent, une pondération est ajoutée aux liens pour indiquer le nombre d'interactions qui relie deux sommets et ainsi représenter la force de la connexion.

Une propriété intéressante des graphes sociaux concerne leur topologie. La distribution des degrés de leurs sommets suit bien souvent une loi de puissance, ce qui les catégorise comme graphes sans échelle (Barabási, Bonabeau, 2003). Cette propriété entraîne la possibilité de découvrir des zones localement denses, nommées communautés d'utilisateurs, qui peuvent elles aussi être analysées pour tirer de nouvelles conclusions. En plus de cela, s'ajoute la possibilité d'identifier des traces de polarisation entre les communautés détectées. Plusieurs travaux comme ceux de (Chitra, Musco, 2020; Interian, Ribeiro, 2018; Isenberg, 1986; Sunstein, 2002) définissent la polarisation comme le phénomène qui intervient lorsqu'un groupe de personnes peut en réalité être décomposé en deux sous-groupes qui possèdent des opinions contrastées et conflictuelles à propos d'un sujet particulier, avec éventuellement quelques individus en faible nombre qui restent neutres. Grâce à une méthode permettant de détecter des traces de polarisation entre deux communautés d'un graphe social, il devient alors possible de vérifier si les débats et interactions des personnes traduisent bien des

1. <https://www.statista.com/statistics/272014/global-social-networks-ranked-by-number-of-users/>

2. <https://www.statista.com/statistics/433871/daily-social-media-usage-worldwide/>

formes d'antagonisme entre opinions autour de sujets présentés comme clivants. Les traces de polarisation peuvent ensuite être utilisées pour adapter une stratégie, par exemple pour déterminer la meilleure façon de communiquer. Pour s'affranchir de la barrière de la langue et des approximations orthographiques, des méthodes uniquement basées sur une analyse topologique du graphe sont à privilégier, sans faire intervenir de traitement du langage naturel ou d'analyse des sentiments.

La méthode qui sera présentée dans cet article est une extension de celle développée par (Guerra *et al.*, 2013). Nos contributions sont les suivantes : 1) une amélioration de la méthode pour prendre en considération les informations contextuelles contenues dans la pondération et dans la direction des liens ; 2) un algorithme pour identifier les zones internes et frontières des communautés et calculer leur antagonisme, ainsi qu'une implémentation dans le langage R^3 ; 3) une application de la méthode sur des données réelles provenant de Twitter, collectées pour une étude liée au complotisme et à la vaccination.

La suite de l'article est organisée de la manière suivante : la section 2 présente les travaux connexes majeurs sur la polarisation et la mesure de l'antagonisme. La section 3 détaille l'approche proposée avec la méthode, l'algorithme et son implémentation. La section 4 est un retour d'expérience sur des données réelles. Enfin la section 5 conclut l'article.

2. Travaux connexes

Dans cette partie, nous commencerons par présenter la méthode spécifiée par Guerra *et al.* (2013), qui permet d'évaluer l'antagonisme entre communautés. Dans un second temps, nous discuterons de quelques solutions alternatives.

Les premiers travaux portant sur la polarisation des communautés sur Twitter remontent à 2011 avec (Conover *et al.*, 2011). L'article de Guerra *et al.* (2013) propose une méthode qui permet d'évaluer finement la polarisation. Celle-ci utilise un graphe G découpé en communautés par un algorithme classique. Elle identifie des zones frontières et définit quelques indicateurs pour évaluer la polarisation. Ces indicateurs peuvent être utilisés en complément de la modularité (Newman, 2006). Il s'agit d'une mesure de densité dont une forte valeur indique la présence de communautés assez fermées sur elles-mêmes et ayant peu d'interactions avec les autres communautés, ce qui peut être interprété comme une forme de clivage. Bien que tout à fait utilisable, la modularité seule présente quelques limites. La principale réside dans le fait qu'une grande valeur de modularité est une condition nécessaire mais pas suffisante pour conclure sur une potentielle polarisation des communautés. Il est effectivement tout à fait possible de découvrir une valeur élevée dans des graphes dont on sait les communautés non-polarisées.

3. <https://github.com/AlexisGuyot/CommunityBoundaries>

La méthode de (Guerra *et al.*, 2013) se concentre sur les interactions entre N communautés $G_n, n = 1, \dots, N$, et permet de calculer une valeur d'antagonisme entre chaque paire de communautés. Deux types d'ensembles d'utilisateurs sont ainsi définis pour chaque paire G_i et G_j (voir figure 1) : 1) les membres de la zone interne I_{ij} , qui appartiennent à G_i mais n'interagissent pas avec G_j ; 2) les membres de la zone frontière B_{ij} , qui appartiennent à G_i et interagissent à la fois avec I_{ij} et B_{ji} . Plus les membres des zones frontières sont impliqués au sein de leur communauté, plus ils sont susceptibles de prendre à cœur le point de vue qu'ils défendent et donc de présenter un fort antagonisme envers ceux qui ne le partagent pas. En partant de ce postulat, l'évaluation de l'antagonisme est faite en mesurant la proportion d'interactions des utilisateurs de la zone frontière vers l'intérieur de leur communauté (E_{int}) par rapport à l'ensemble de leurs interactions, y compris celles avec l'autre communauté (E_B). Ces différentes notions sont formalisées dans les définitions suivantes.

$$B_{i,j} = \{v_i : v_i \in G_i, \exists e_{ik} \mid v_k \in G_j, \exists e_{ik} \mid (v_k \in G_i \mid \nexists e_{kl} \mid v_l \in G_j), i \neq j\} \quad (1)$$

$$I_i = G_i - B_{ij} \quad (2)$$

$$E_B = \{e_{mn} : v_m \in B_{i,j} \wedge v_n \in B_{j,i}\} \quad (3)$$

$$E_{int} = \{e_{mn} : v_m \in (B_{i,j} \cup B_{j,i}) \wedge v_n \in (I_i \cup I_j)\} \quad (4)$$

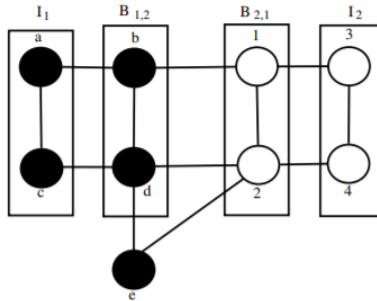


FIGURE 1. Un exemple simple pour comprendre les différentes zones des communautés, tiré de l'article de (Guerra *et al.*, 2013).

À partir de ces différents sous-ensembles, il est ensuite possible de calculer l'antagonisme entre les communautés G_i et G_j grâce à l'équation suivante :

$$P = \frac{1}{|B|} \sum_{v \in B} \left[\frac{d_i(v)}{d_b(v) + d_i(v)} - 0.5 \right] \quad (5)$$

avec $d_i(v)$ le nombre d'arêtes du sous-ensemble E_{int} liées au sommet v , et $d_b(v)$ le nombre d'arêtes du sous-ensemble E_B liées au sommet v . La proportion entre les deux types d'interactions est comparée à chaque fois avec l'hypothèse nulle suivante : chaque sommet possède autant de connexions avec l'intérieur de la zone interne de sa communauté qu'avec la zone frontière de l'autre communauté. La valeur de P est comprise entre les valeurs -0.5 et 0.5 . Une valeur négative est signe d'une absence de polarisation entre deux communautés, et inversement. Le cas où l'ensemble B est vide ne nous intéresse pas, car il correspond à une situation où il est impossible de savoir si les deux communautés ont conscience de l'existence de l'une et de l'autre.

Bien que très intéressante à bien des égards, la méthode proposée par (Guerra *et al.*, 2013) comporte quelques limitations et faiblesses. Par rapport à notre problématique, son plus grand défaut réside dans le fait qu'elle soit spécifiée pour des graphes non-orientés et non-pondérés. Puisque caractériser le rôle des utilisateurs du graphe est au centre de la méthode pour évaluer l'antagonisme et donc la polarisation, il est important de ne pas négliger l'information apportée par la direction. En effet, la relation d'antagonisme n'est pas forcément symétrique. Certains utilisateurs d'une communauté peuvent adresser des messages à d'autres utilisateurs d'une autre communauté en les mentionnant sans que la réciproque existe. Il en est de même pour la pondération, puisqu'il n'est pas pertinent de considérer que seul un lien sur trois sort de la frontière en direction de l'autre communauté si celui-ci représente en réalité 80 interactions alors que les 2 autres seulement 10 en cumulé. La méthode présente également une petite inconsistance dans la spécification des zones internes. En effet, avec une telle définition, le sommet e de la figure 1 devrait normalement être considéré comme membre de la zone interne de G_1 . Or, ce n'est pas le cas. Ces trois raisons nous ont motivés à proposer une extension de la méthode.

Plusieurs autres approches ont également été développées pour mesurer la polarisation au sein d'un graphe social. Morales *et al.* (2015) utilisent par exemple le concept de propagation d'influence. Pour cela, ils définissent deux groupes d'utilisateurs, les élites et les auditeurs, qui se voient attribuer un score qui évalue leur degré d'approbation par rapport à une problématique. Les utilisateurs élites correspondent alors aux utilisateurs influents du réseau, les points de départ de l'information. Une propagation par label (Zhu, Ghahramani, 2002) depuis ceux-ci est effectuée pour construire deux pôles, puis une valeur de polarisation est obtenue en prenant en considération leur taille et la distance qui sépare leur centre de gravité. La méthode est spécifiée sur des graphes dirigés mais non-pondérés. Une autre contrainte de leur système est la phase d'initialisation des degrés d'approbation des sommets élites. Une valeur fixe doit être attribuée à chaque noeud de ce type, sans qu'une méthode particulière ne soit précisée pour la déterminer.

Une méthode s'appuyant sur la factorisation de matrices a été proposée par Al Amin *et al.* (2017). Le graphe social de base est converti en un graphe biparti contenant d'un côté les utilisateurs du réseau (les sources), et de l'autre les faits relayés dans le graphe et qui sont en faveur, en défaveur ou neutres par rapport à la problématique de l'étude (les assertions). Ce graphe est obtenu après une phase de nettoyage et de transforma-

tion des données, où les messages similaires sont transformés en assertions. La matrice d'incidence de ce graphe biparti est ensuite décomposée en composantes principales grâce à un algorithme de descente de gradient, pour aboutir à une évaluation de la polarisation. Le choix de la mesure de similarité entre deux messages, pour déterminer s'ils appartiennent à la même assertion, constitue une limite à cette méthode. Il implique une connaissance précise de la nature de l'interaction et doit être adapté en fonction de si le lien représente un partage, une réponse ou une réaction par exemple.

Même s'il est plus courant de vouloir se concentrer sur une analyse structurelle des graphes sociaux pour s'affranchir de la barrière de la langue, certaines méthodes comme (Alamsyah, Adityawarman, 2017) proposent une approche hybride basée à la fois sur une analyse de la topologie du réseau et sur une analyse de sentiments à l'aide de techniques de *machine learning*. Une première phase de traitement du langage naturel permet de classifier les utilisateurs comme pro, anti ou neutres, puis des communautés d'utilisateurs sont détectées grâce à l'algorithme de Louvain. Les membres des communautés sont comparés à leur classification par l'algorithme de *machine learning*. Les communautés sont ensuite analysées selon plusieurs angles pour pouvoir conclure sur la polarisation. Le bon fonctionnement de ce type de méthodes se base toutefois quasiment entièrement sur l'efficacité de l'algorithme de traitement du langage naturel utilisé, qui peut en plus être impacté par les abréviations, fautes d'orthographe, de syntaxe, etc.

Guerra *et al.* (2017) ont par la suite continué d'affiner leur méthode pour mieux prendre en considération la sémantique des interactions de Twitter pour détecter des traces de polarisation, notamment pour les *retweets*. De nouveaux éléments d'analyse sont avancés, comme le temps écoulé depuis la diffusion du message original ou l'utilisation de l'interaction de *quote* comme outil pour exprimer de l'antagonisme à travers du sarcasme ou de la moquerie. Ils montrent également que plus le degré de polarisation entre deux communautés augmente, plus la proportion d'interactions entre elles par rapport à celles avec les autres communautés augmente.

Par rapport aux trois méthodes de (Morales *et al.*, 2015), (Al Amin *et al.*, 2017) et de (Alamsyah, Adityawarman, 2017), celle de (Guerra *et al.*, 2013) présente l'avantage de ne pas nécessiter de connaissance métier supplémentaire sur le graphe pour pouvoir l'appliquer. Son seul pré-requis est la présence de communautés identifiées, qui peuvent être détectées et construites automatiquement à partir d'algorithmes d'analyse de la topologie du graphe. Nous proposons d'étendre la méthode pour prendre en compte les liens dirigés et pondérés, sans entrer en contradiction avec les éléments supplémentaires apportés dans (Guerra *et al.*, 2017).

3. Approche proposée

Dans cette section, nous commencerons par décrire l'extension que nous proposons à la méthode de Guerra *et al.* (2013). Dans le cadre du projet interdisciplinaire

COCKTAIL⁴ qui a pour objectif la création d'un observatoire en temps réel des tendances et des signaux faibles sur Twitter pour aider les acteurs du domaine agro-alimentaire à la prise de décisions, nous avons également créé une implémentation en R. Nous décrirons son fonctionnement dans un second temps.

3.1. Présentation de la méthode

Pour prendre en compte la direction et la pondération des liens, nous proposons les définitions suivantes pour les sous-ensembles des zones internes et frontières, ainsi que pour ceux des arêtes intra et inter-communautés :

$$I_{i,j} = \{v : v \in G_i, \nexists e_{vn} \mid n \in G_j, i \neq j\} \quad (6)$$

$$B_{i,j} = \{v : v \in G_i, \exists e_{vn_1} \mid n_1 \in G_j, \exists e_{vn_2} \mid n_2 \in I_{i,j}, i \neq j\} \quad (7)$$

$$E_B = \{e_{sd} : s \in B_{i,j} \wedge d \in G_j\} \quad (8)$$

$$E_{int} = \{e_{sd} : s \in B_{i,j} \wedge d \in I_{i,j}\} \quad (9)$$

Il est important de noter qu'avec cette nouvelle spécification, certains sommets peuvent donc se trouver ni dans la zone interne ni dans la zone frontière de leur communauté, ce qui corrige le problème posé par la précédente définition de I par Guerra *et al.* (2013). Il s'agit dans ce cas de sommets dont tous les voisins se trouvent soit dans l'autre communauté ou soit dans la zone frontière de la leur. Dans le cadre de notre recherche d'antagonisme, les utilisateurs associés à ce type de sommets ne nous intéressent pas. En effet, ceux-ci ne présentent pas de traces évidentes d'implication au sein de leur communauté et pourraient très bien être des utilisateurs neutres qui se sont retrouvés mêlés à des interactions entre communautés.

E_B est toujours défini comme le sous-ensemble des arêtes inter-communautés dont l'origine est un sommet s appartenant à $B_{i,j}$ et dont la destination est cette fois-ci un sommet d appartenant à G_j . E_{int} est le sous-ensemble contenant les arêtes intra-communauté qui ont pour origine un sommet s appartenant à $B_{i,j}$ et pour destination un sommet d appartenant à $I_{i,j}$. La nouvelle formule à utiliser pour prendre en charge la pondération du graphe en plus de l'orientation de ses arêtes est la suivante :

$$P = \frac{1}{|B_{i,j}|} \sum_{v \in B_{i,j}} \left[\frac{\sum_{e \in E_{iv}} weight(e)}{\sum_{e \in E_{iv}} weight(e) + \sum_{e \in E_{bv}} weight(e)} - 0.5 \right] \quad (10)$$

$$E_{iv} = \{e_{vd} : e_{vd} \in E_{int}\} \quad (11)$$

$$E_{bv} = \{e_{vd} : e_{vd} \in E_B\} \quad (12)$$

Par rapport à la formule 5, on ne se contente pas de compter les arêtes liées à v , mais on additionne leur poids. E_{iv} et E_{bv} représentent respectivement l'ensemble des arêtes de

4. <https://projet-cocktail.fr/>

E_B ou de E_{int} dont la source est le sommet v . Pour chaque utilisateur membre d'une zone frontière, on calcule la proportion que représente la somme des poids de ses interactions vers la zone interne de sa communauté par rapport à la somme des poids de ses interactions vers l'extérieur. Le score d'antagonisme du sommet est obtenu par comparaison avec l'hypothèse nulle, et celui de la zone frontière par calcul d'une moyenne.

La prise en charge de l'orientation nous conduit à étudier individuellement chaque paire de communautés, à la fois (G_i, G_j) et (G_j, G_i) . Cette perte en efficacité est compensée par le gain en précision par rapport à la version de Guerra, puisque cette définition de l'antagonisme permet de remarquer si l'une des deux communautés polarisées exprime un plus fort degré d'antagonisme que l'autre.

3.2. De la méthode à l'algorithme

Nous proposons un algorithme s'appuyant sur une structure de donnée adaptée, la *structural matrix*, afin de réduire la complexité assez importante de la méthode naïve, qui consiste à construire les différents ensembles en parcourant tous les nœuds du graphe pour vérifier récursivement les conditions d'appartenance.

La *structural matrix* est en réalité un tableau qui indique pour un sommet v , qu'on sait appartenir à la communauté G_i , la zone dans laquelle il se situe lorsqu'on étudie ses liens avec chaque autre communauté. Pour chaque cellule du tableau située à la ligne i et à la colonne j , on utilise le système de code suivant :

- le code 0 signifie que le sommet v_i fait partie de la zone interne de sa communauté lorsqu'on étudie la paire formée par celle-ci et la communauté G_j ;
- le code 1 signifie que le sommet v_i ne fait partie d'aucune zone particulière dans sa communauté lorsqu'on étudie la paire formée par celle-ci et la communauté G_j ;
- le code 2 signifie que le sommet v_i fait partie de la zone frontière de sa communauté lorsqu'on étudie la paire formée par celle-ci et la communauté G_j ;
- le code 3 signifie que le sommet v_i fait partie de la communauté G_j .

Tableau 1. Exemple de *structural matrix*. Le sommet v appartient à la communauté G_1 et fait partie de sa zone interne pour la paire (G_1, G_2) , d'aucune zone pour (G_1, G_3) et de sa zone frontière pour (G_1, G_4) .

Structural matrix				
	G_1	G_2	G_3	G_4
v_{i-1}
v	3	0	1	2
v_{i+1}

Dans un premier temps, l'algorithme 1 est exécuté pour construire la *structural matrix*. Deux passages complets dans la structure sont effectués. Entre les lignes 3 à 11, on recense les sommets qui ne seront pas membres de zones internes pour chaque

Algorithm 1 Build Structural Matrix

Require: adjacency_list, community_membership, community_count and vertex_count

Ensure: structural_matrix $\in \mathbb{N}^{\text{vertex_count} \times \text{community_count}}$

```

1: Initialize structural_matrix, with structural_matrix  $\in \mathbb{N}^{\text{vertex\_count} \times \text{community\_count}}$ 
2: Fill structural_matrix with 0
3: for  $v = 1, \dots, \text{length}(\text{adjacency\_list})$  do
4:   com_v  $\leftarrow$  community_membership[v]
5:   for  $n = 1, \dots, \text{length}(\text{adjacency\_list}[v])$  do
6:     com_n  $\leftarrow$  community_membership[v]
7:     if com_v  $\neq$  com_n then
8:       structural_matrix[v, com_n]  $\leftarrow$  1
9:     end if
10:  end for
11: end for
12: neighboring_com  $\leftarrow$  []
13: com_to_internals  $\leftarrow$  []
14: for  $v = 1, \dots, \text{length}(\text{adjacency\_list})$  do
15:   com_v  $\leftarrow$  community_membership[v]
16:   for  $n = 1, \dots, \text{length}(\text{adjacency\_list}[v])$  do
17:     com_n  $\leftarrow$  community_membership[v]
18:     if com_v  $\neq$  com_n then
19:       neighboring_com  $\leftarrow$  com_n
20:     else
21:       for  $c = 1, \dots, \text{ncol}(\text{structural\_matrix}[n])$  do
22:         if structural_matrix[n, c] = 0 then
23:           com_to_internals  $\leftarrow$  c
24:         end if
25:       end for
26:     end if
27:   end for
28:   is_boundary_with  $\leftarrow$  neighboring_com  $\cap$  com_to_internals
29:   for  $c \in \text{is\_boundary\_with}$  do
30:     structural_matrix[v, c]  $\leftarrow$  2
31:   end for
32: end for

```

Algorithm 2 Build Antagonism Matrix

Require: structural_matrix, community_membership, community_count, adjacency_list

Ensure: antagonism_matrix $\in \mathbb{R}^{\text{community_count} \times \text{community_count}}$

```

1: Initialize antagonism_matrix, with antagonism_matrix  $\in \mathbb{R}^{\text{community\_count} \times \text{community\_count}}$ 
2: Initialize count_matrix, with count_matrix  $\in \mathbb{N}^{\text{community\_count} \times \text{community\_count}}$ 
3: for  $v = 1, \dots, \text{nrow}(\text{structural\_matrix})$  do
4:   com_i  $\leftarrow$  community_membership[v]
5:   ens_com_j  $\leftarrow$  []
6:   for  $j = 1, \dots, \text{ncol}(\text{structural\_matrix})$  do
7:     if structural_matrix[v, j] = 2 then
8:       ens_com_j  $\leftarrow$  j
9:     end if
10:  end for
11:  for com_j  $\in$  ens_com_j do
12:    ebv = 0
13:    eiv = 0
14:    for  $n = 1, \dots, \text{length}(\text{adjacency\_list}[v])$  do
15:      if community_membership[n] = com_j then
16:        ebv  $\leftarrow$  ebv + weight(v,n)
17:      else
18:        if community_membership[n] = com_i AND structural_matrix[n,com_j] = 0 then
19:          eiv  $\leftarrow$  eiv + weight(v,n)
20:        end if
21:      end if
22:    end for
23:    antagonism_matrix[com_i, com_j]  $\leftarrow$  antagonism_matrix[com_i, com_j] +
      ( $\frac{eiv}{eiv+ebv} - 0.5$ )
24:    count_matrix[com_i, com_j]  $\leftarrow$  count_matrix[com_i, com_j] + 1
25:  end for
26: end for
27: antagonism_matrix  $\leftarrow$  antagonism_matrix / count_matrix

```

communauté. La deuxième boucle, entre les lignes 14 et 32, permet de différencier les sommets qui constitueront les zones frontières de ceux à ignorer. Pour cela, on détecte les sommets qui possèdent à la fois un premier voisin dans une autre communauté G_2 et un second situé dans la zone interne de sa communauté avec G_2 .

Une fois cette première phase terminée, la *structural matrix* est retournée puis utilisée par l'algorithme 2. Celui-ci lit la structure précédente pour alimenter la formule 10 d'antagonisme. Pour chaque code égal à 2, on parcourt la liste des voisins de v (lignes 14 à 22). En fonction de leur communauté et de leur rôle au sein de cette der-

nière, on incrémente les compteurs d'interactions inter-communautés (ebv) et intra-communauté (eiv) de la valeur du poids de l'arc qui les sépare. Une fois les compteurs à jour pour le sommet v , on calcule à la ligne 23 le ratio des interactions comme indiqué dans la formule 10. À chaque fois qu'un ratio est ajouté pour une paire de communautés, on le notifie dans une matrice de compteurs pour, à la ligne 27, pouvoir calculer les valeurs moyennes attendues dans la matrice d'antagonisme.

4. Application sur des données réelles

Nous proposons maintenant d'appliquer notre méthode sur des données réelles issues de Twitter. On cherche, à partir des communautés identifiées, à appliquer notre méthode pour mesurer l'antagonisme entre les communautés et détecter leur polarisation.

La collecte des *tweets* s'est faite du 18 novembre 2020 au 26 janvier 2021 sur une détection de mots-clés liés aux vaccins et à la COVID-19 et à partir d'une liste de comptes d'utilisateurs⁵. Le corpus complet contient plus de 9 millions de *tweets* en langue française. À partir de celui-ci, nous extrayons le graphe des mentions, interaction qui capture le mieux les discussions et débats. Celui-ci contient 6 450 sommets et 19 939 arcs, une fois les utilisateurs peu actifs retirés. Après application de l'algorithme de détection de communautés Louvain, on identifie 9 communautés significatives. La modularité du graphe après un tel découpage est de 0.5, ce qui atteste de la présence d'une structure communautaire. Pour pouvoir catégoriser les communautés détectées, nous avons recherché les *hashtags* les plus représentatifs utilisés par leurs membres. Pour cela, nous avons construit un graphe biparti avec d'un côté un ensemble de sommets qui représentent les utilisateurs de la communauté et de l'autre un deuxième ensemble où cette fois-ci un sommet représente un *hashtag*. Sur celui-ci, nous avons calculé la centralité *PageRank* (Page *et al.*, 1999) pour identifier les nœuds, et donc les *hashtags*, les plus influents. À partir de leur étude, nous proposons dans le tableau 2 une catégorisation manuelle des 9 communautés extraites du graphe des mentions, obtenue par identification des thèmes les plus récurrents dans les différents groupes.

Quelques points intéressants sont à commenter concernant ces premiers résultats. Tout d'abord, on peut noter l'absence de communauté définie pour les anti-vaccins, contrairement aux pro-vaccins. Une hypothèse est que ces utilisateurs ont tendance à se disperser au sein d'autres communautés, ou alors qu'ils ne discutent pas ou peu de leur opinion entre eux. Le deuxième point intéressant à commenter est la présence en nombre non-négligeable de *hashtags* liés au complotisme au sein des différentes communautés. On retrouve par exemple *#blanquement* ("Blanquer ment"), *#plandemie*, *#greatreset*, *#complotvaccinobligatoire* ou encore *#jenesaispasjedemande*. Alors que

5. vaccin, antivax, covid, sinopharm, bigpharma, corona, santepublique, astazeneca, spoutnik, sputnik, pfizer, biontech, moderna, vaxxie, @BioNTech_Group, @SinopharmIntl, @Pfizer_France, @moderna_tx, @sputnikvaccine

Tableau 2. Catégorisation des communautés significatives.

ID	Taille	Exemples hashtags	Catégorie
2	887	#blanquerment #parentsencolere #blanquerdemission	Anti-Blanquer
7	1173	#polqc #plandemie #dictaturesanitaire #caq #polcan	Québécois
14	1110	#raoult #ivermectine #dictaturesanitaire #plandemie #greatreset	Pro-traitements alternatifs
89	282	#dictaturesanitaire #jenemeconfineraipas #enmarche #complotvaccinobligatoire	Anti-gouvernement
114	1230	#ggrmc #afp #cnews #lci #dictaturesanitaire	Réactions médias
117	539	#familyisnottourism #dictaturesanitaire #familyiseverything	Famille
146	300	#avecxb #ladroitequipueutgagner #dictaturesanitaire #lr	Droite
161	670	#rtlmatin #antivax #jenesaispasjedemande	Auditeurs radio
163	259	#stopdictaturesanitaire #jemefaisvacciner #standwithscience	Pro-vaccin

le corpus n'est pas du tout construit autour de cette thématique complotiste, on remarque alors que celle-ci revient souvent lors des discussions autour de la vaccination et de la COVID-19. Il en est de même pour le *hashtag* #dictaturesanitaire, qui traduit une contestation de la gestion de la crise sanitaire. Ce *hashtag* est présent dans pratiquement toutes les communautés, qu'elles soient anti-gouvernement ou non, comme le montre la communauté pro-vaccin dont le *hashtag* #stopdictaturesanitaire est l'un des plus représentatifs.

Tableau 3. Valeurs d'antagonisme entre les différentes communautés.

	2	7	14	89	114	163
2	0	0.182	0.237	0.294	0.398	0
7	0.218	0	0.292	0.213	0	0
14	0.204	0.153	0	0.333	0	0.208
89	0.159	0	0.310	0	0	0
114	0.159	0.251	0.167	0.241	0	0
163	0.196	0.242	0.250	0.167	0.025	0

Avec le graphe des mentions découpé en communautés, on peut appliquer notre méthode d'évaluation de l'antagonisme par construction des zones frontières. L'algorithme permet de produire la matrice présentée dans le tableau 3. Toutes les communautés ne sont pas représentées. Nous proposons d'illustrer la manière d'utiliser ces résultats en se concentrant sur la communauté 163, les pro-vaccins. Dans un premier temps, la colonne correspondante dans la matrice permet d'obtenir des informations sur la façon dont la communauté reçoit l'antagonisme de la part des autres. Ici, on voit

qu'une seule valeur est non nulle, 0.208, qui correspond au degré d'antagonisme reçu par la communauté 163 de la part de la communauté 14. On peut alors conclure que dans notre modèle de données, seuls les utilisateurs en faveur des traitements alternatifs supposés contre la COVID-19, comme l'hydroxychloroquine ou l'ivermectine, sont porteurs d'antagonisme envers les défenseurs de la vaccination.

En étudiant cette fois-ci la ligne associée à la communauté 163, on identifie les communautés envers lesquelles ses membres expriment de l'antagonisme. Les communautés non représentées dans la matrice reçoivent toutes une valeur nulle de la part des pro-vaccins. À part celles-ci, on remarque que cette communauté exprime une forme d'antagonisme envers toutes les autres, avec une valeur plus importante à l'égard des membres de la communauté québécoise et en retour aux attaques des partisans des traitements alternatifs. Si la rivalité entre les partisans de la vaccination et ceux de la médecine alternative est compréhensible, on peut s'interroger sur la provenance de l'antagonisme envers les québécois. Ceux-ci ont-ils exprimés une plus grande méfiance envers les vaccins contre la COVID-19 ou envers la gestion de la crise sanitaire de leur pays ? Dans tous les cas, il est intéressant de noter que malgré le fait que la communauté 163 soit peu attaquée par les autres, celle-ci présente un comportement assez offensif. Les membres de cette communauté semblent bien investis dans la défense de leur opinion et s'opposent à la plupart des autres communautés.

En exploitant notre méthode, on peut isoler les utilisateurs membres des différentes zones internes et frontières. La méthode peut alors également être utilisée pour mesurer la porosité des frontières de communautés. Une frontière est considérée comme poreuse quand elle est constituée d'un grand nombre d'utilisateurs qui interagissent autant voire plus avec l'extérieur de la communauté qu'avec sa zone interne. Ceux-ci sont alors moins impliqués et investis dans le groupe, ce qui traduit une plus faible cohésion au sein de la communauté. Avec notre formule d'antagonisme, un sommet qui possède une valeur intermédiaire⁶ négative ou nulle participe à la porosité de la frontière à laquelle il appartient. En calculant le pourcentage de sommets des frontières pour lesquelles la valeur intermédiaire d'antagonisme est négative, on peut estimer la porosité de chaque communauté.

Tableau 4. Porosité des frontières des différentes communautés.

Communauté	2	7	14	89	114	117	146	161	163
Porosité	16%	13%	17%	24%	13%	50%	5%	10%	20%

On peut interpréter la porosité comme un indicateur de l'adéquation d'une communauté au sens informatique du terme avec une communauté au sens social du terme. Quand les algorithmes de détection de communautés identifient des groupes d'utilisateurs, ils découvrent surtout des zones localement denses où les sommets sont plus reliés entre eux qu'avec le reste du graphe. Cela traduit seulement le fait que les utilisateurs correspondants communiquent plus entre eux qu'avec le reste de la population,

6. Valeurs calculées à l'intérieur de la somme et propres à chaque membre d'une zone frontière.

mais pas forcément qu'ils appartiennent à un même groupe social dont les membres partagent une même vision ou un même but commun. Quand on étudie l'entière des *hashtags* significatifs dans la communauté 117, dont les frontières sont très poreuses, on remarque la présence de plusieurs thèmes pré-dominants. Dans le tableau 2, nous avons identifié la thématique familiale comme principale car ses *hashtags* associés sont légèrement plus nombreux, mais on retrouve aussi des sujets liés par exemple à la politique (gilets jaunes, regroupement familial) ou à l'actualité médiatique (affaire Duhamel, élections américaines). On remarque alors que même si du point de vue de la topologie du réseau, les membres de la communauté interagissent entre eux, ils ne forment pas en réalité un groupe social particulier. En revanche, la communauté 146, qui possède une porosité de seulement 5%, regroupe les partisans du parti politique républicain, qui lui est un groupe social identifié.

D'autres interprétations des résultats retournés par notre méthode sont possibles. Il est par exemple envisageable d'étudier les caractéristiques (centralité, degré, etc.) des sommets des différentes zones internes et frontières des communautés, pour identifier le profil des utilisateurs de ces zones. On peut également catégoriser les zones comme nous l'avons fait avec les communautés, pour identifier les sujets qui sont débattus au sein de la communauté, ceux qui sont défendus vers l'extérieur, etc. Toutes ces connaissances acquises sur la structure des communautés et leur façon d'interagir entre elles permettent ensuite de conclure sur des traces de polarisation au sein du graphe.

Dans notre cas d'étude, on remarque des communautés avec une bonne cohésion, comme le montrent la valeur de modularité et les différentes valeurs de porosité en majorité inférieures à 20%. En revanche, le découpage ne fait pas apparaître deux pôles pro et anti-vaccins. La seconde catégorie d'utilisateurs est dispersée au sein de différentes communautés, et la première, bien que identifiée et présente dans le corpus, reste en faible nombre comparé à la taille du graphe. On peut donc en conclure que la thématique des vaccins contre la COVID-19 en tant que telle n'est pas source de polarisation. Cela est dû au fait que les partisans anti-vaccins ne se regroupent pas sous une même bannière, et se différencient plutôt les uns des autres par les idées annexes qu'ils partagent conjointement à leur avis sur le sujet, notamment des idées complotistes et anti-gouvernement. En revanche, les différentes valeurs d'antagonisme nous permettent d'identifier d'autres sujets qui eux sont vecteurs de polarisation. C'est notamment le cas de la thématique plus globale des types de traitements possibles contre la maladie, où on remarque une polarisation entre les personnes en faveur de la vaccination et celles en faveur de solutions médicamenteuses.

5. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté notre contribution à la détection de polarisation au sein de graphes sociaux à travers une extension de la méthode de Guerra *et al.* (2013) et une application sur des données réelles. Notre nouvelle spécification propose une prise en charge de deux nouvelles propriétés intrinsèquement liées aux

graphes issus de réseaux sociaux numériques, la pondération et la direction des liens. Celles-ci permettent de bénéficier d'une bien plus grande précision lors de l'étude des interactions entre communautés. Notre méthode permet d'atteindre plusieurs finalités : catégorisation de rôles pour les membres de communautés (zones internes et frontières), mesure de l'antagonisme, mesure de la porosité des frontières de communautés, etc. Nous avons également détaillé le fonctionnement d'une implémentation de la méthode, qui utilise une structure intermédiaire appelée la *structural matrix*. Pour finir, nous avons montré l'utilité et le bon fonctionnement de notre méthode au travers de l'étude d'un cas pratique lié aux débats sur le RSN Twitter autour de la vaccination contre la COVID-19. Nous avons développé deux manières d'interpréter les résultats obtenus : la détection de polarisation à travers l'évaluation de l'antagonisme et l'analyse structurelle intra-communautaire à travers l'évaluation de la porosité des zones frontières. À partir de ces différents résultats, nous avons pu conclure sur la polarisation des débats et discussions autour de cette thématique.

Les premières utilisations réelles de l'algorithme semblent indiquer un temps d'exécution linéaire. Cette tendance est à confirmer en réalisant une étude expérimentale de la complexité. Du côté des analyses, la porosité permet d'entrevoir la possibilité d'établir des liens entre les notions informatiques et de sciences humaines et sociales de communautés. Nous prévoyons de développer ce concept à l'avenir, en s'appuyant sur le projet interdisciplinaire COCKTAIL.

Remerciements

Ce travail est soutenu par le programme « Investissements d'Avenir », projet ISITE-BFC (contrat ANR-15-IDEX-0003). Le projet Cocktail est piloté scientifiquement par Gilles Brachotte, laboratoire CIMEOS EA-4177, Université de Bourgogne.

Bibliographie

- Al Amin M. T., Aggarwal C., Yao S., Abdelzaher T., Kaplan L. (2017). Unveiling polarization in social networks: A matrix factorization approach. In *IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, p. 1–9.
- Alamsyah A., Adityawarman F. (2017). Hybrid sentiment and network analysis of social opinion polarization. In *5th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT7)*, p. 1–6.
- Barabási A.-L., Bonabeau E. (2003). Scale-free networks. *Scientific american*, vol. 288, n° 5, p. 60–69.
- Blondel V. D., Guillaume J.-L., Lambiotte R., Lefebvre E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of statistical mechanics: theory and experiment*, vol. 2008, n° 10, p. P10008.
- Chitra U., Musco C. (2020). Analyzing the impact of filter bubbles on social network polarization. In *Proceedings of the 13th international conference on web search and data mining*, p. 115–123.

- Conover M., Ratkiewicz J., Francisco M., Gonçalves B., Menczer F., Flammini A. (2011). Political polarization on twitter. In *Proceedings of the international aaai conference on web and social media*, vol. 5.
- Gillani N., Yuan A., Saveski M., Vosoughi S., Roy D. (2018). Me, my echo chamber, and I: introspection on social media polarization. In *Proceedings of the 2018 World Wide Web Conference*, p. 823–831.
- Guerra P., Meira Jr W., Cardie C., Kleinberg R. (2013). A measure of polarization on social media networks based on community boundaries. In *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media*, vol. 7.
- Guerra P., Nalon R., Assunção R., Meira Jr W. (2017). Antagonism also flows through retweets: The impact of out-of-context quotes in opinion polarization analysis. In *Proceedings of the international aaai conference on web and social media*, vol. 11.
- Interian R., Ribeiro C. C. (2018). An empirical investigation of network polarization. *Applied Mathematics and Computation*, vol. 339, p. 651–662.
- Isenberg D. J. (1986). Group polarization: A critical review and meta-analysis. *Journal of personality and social psychology*, vol. 50, n° 6, p. 1141.
- Kearney M. W. (2019). Analyzing change in network polarization. *new media & society*, vol. 21, n° 6, p. 1380–1402.
- Lee J. K., Choi J., Kim C., Kim Y. (2014). Social media, network heterogeneity, and opinion polarization. *Journal of communication*, vol. 64, n° 4, p. 702–722.
- Morales A. J., Borondo J., Losada J. C., Benito R. M. (2015). Measuring political polarization: Twitter shows the two sides of venezuela. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, vol. 25, n° 3, p. 033114.
- Newman M. E. (2006). Modularity and community structure in networks. *Proceedings of the national academy of sciences*, vol. 103, n° 23, p. 8577–8582.
- Page L., Brin S., Motwani R., Winograd T. (1999). *The pagerank citation ranking: Bringing order to the web.*. Rapport technique. Stanford InfoLab.
- Sunstein C. R. (2002). The law of group polarization, 10 j. *Pol. Phil*, vol. 175, p. 177.
- Zhu X., Ghahramani Z. (2002). Learning from labeled and unlabeled data with label propagation.

Étude de l'influence des représentations textuelles sur la détection d'évènements dans des flux de données

Elliot Maître^{1,2}, Zakaria Chemli², Max Chevalier¹, Bernard Dousset¹, Jean-Philippe Gitto², Olivier Teste¹

1. IRIT

118, Route de Narbonne, 31062 Toulouse cedex 04, France
prenom.nom@irit.fr

2. Scalian,

Bâtiment Oméga, 22, bd Déodat de Séverac, 31770 Colomiers, France
prenom.nom@scalian.com

RÉSUMÉ. La détection d'évènements à partir des données postées sur internet est un sujet important de la recherche d'information. Les sources de données potentiellement intéressantes sont multiples et peuvent prendre la forme de flux de données textuelles plus ou moins structurées. Nous étudions dans cet article la détection d'évènements dans les flux de données textuelles et plus particulièrement l'impact de la représentation du texte sur la qualité des évènements détectés. Nous comparons différentes approches de traitement du langage dans deux contextes : supervisé et non supervisé. Nous étudions la question de l'efficacité des modèles basés sur les architectures Transformer pour la détection d'évènements dans les documents courts. Cette étude nous permet de conclure que, contrairement à ce qui avait pu être précédemment montré, les architectures Transformer peuvent être compétitives par rapport aux méthodes classiques.

ABSTRACT. Detection of real-world events using online data sources is a trending topic in the information retrieval domain. Multiple data sources are potentially of interest and some of them are data streams. There are multiple data sources that are potentially interesting, and some of them are textual data streams, structured or unstructured. We propose to analyse the problem of event detection from text data stream and to focus particularly on the importance of the representation of the textual data. To do so, we compare multiple approaches in different context: supervised and unsupervised. We focus on the performances of Transformer-based architectures for event detection on short text documents, and we conclude that, contrary to previous studies, these architectures can be competitive compared to classical methods.

MOTS-CLÉS : Fouille de texte, Recherche d'Information, Détection d'évènements, Traitement automatique du langage naturel, Partitionnement de données

KEYWORDS: Text mining, Information Retrieval, Event Detection, Natural Language Processing, Clustering

1. Introduction

De nombreux événements se produisent constamment et sont à l'origine de perturbations potentiellement importantes dans de nombreux domaines. Si l'exemple de la pandémie liée au virus Sars-cov2 est évidemment l'évènement venant le plus naturellement à l'esprit cette année, d'autres types d'évènements peuvent aussi avoir des impacts importants, comme les événements politiques (élections présidentielles aux Etats-Unis), les événements météorologiques ou encore les catastrophes naturelles. Malgré la facilité actuelle d'accès aux masses d'information, il est difficile d'avoir une vue exhaustive de l'ensemble des événements se déroulant sur la planète, notamment du fait de la profusion d'informations. De manière à faciliter cette tâche de veille, des systèmes automatisés ont vu le jour afin de détecter les contenus importants. Une des manières d'aborder cette tâche est la détection d'évènements dans les données textuelles (Atefeh, Khreich, 2015), (Hasan *et al.*, 2018). En effet, un des principaux vecteurs de communication de la presse et sur Internet de manière générale sont des données constituées majoritairement de texte. Il est possible d'accéder à ces documents textuels via des flux, qu'ils soient issus de réseaux sociaux ou de journaux. La difficulté qui se présente est alors de réussir à trouver les sources intéressantes mais aussi d'être capable d'extraire l'information pertinente de ces flux.

Nous proposons au cours de cette étude une méthode de détection d'évènements dans les flux de données textuelles. Ce problème est très étudié dans la littérature (Sakaki *et al.*, 2010), (Weng, Lee, 2011), (Hasan *et al.*, 2019) et constitue un problème important de la fouille de données textuelles. Cette tâche peut se décomposer en différentes parties, notamment la détection, le suivi et l'extraction des événements (Allan, 2012). Différentes approches sont possibles pour chacune de ces tâches. Nous nous focalisons ici sur la tâche de détection d'évènements. Cette tâche est souvent abordée comme un problème de partitionnement, dynamique ou non, où chacun des partitionnement correspond à un événement ou à une sous-partie d'un événement (Allan, 2012).

Nous souhaitons évaluer la pertinence de l'utilisation des modèles de langage basés sur des architectures Transformer, qui ont prouvé leur efficacité dans de nombreux domaines du TALN et qui tendent à remplacer les architectures basées sur les réseaux de neurones récurrents dans ces domaines, (Reimers, Gurevych, 2019), (Cer *et al.*, 2018) pour la détection d'évènements dans des textes courts. En effet, les performances de ces modèles n'ont pas été évaluées dans un cadre de partitionnement classique et ont même été évaluées comme moins performantes que TF-IDF dans le cadre d'un partitionnement dynamique (Mazoyer *et al.*, 2020). Nous cherchons à montrer l'intérêt du partitionnement classique par rapport au partitionnement dynamique dans ce contexte. Afin de répondre à cette problématique, nous proposons une méthode de détection d'évènements dans des flux de données textuelles basée sur le partitionnement de données où le flux de données est découpé en fenêtres contenant un nombre fixe de tweets, de manière à pouvoir appliquer des algorithmes de partitionnement classiques, et ainsi s'extraire des contraintes imposées par le partitionnement dynamique. Cela permet de considérer l'ensemble des documents publiés au moment du partitionnement.

ment, et non de devoir travailler avec des informations fragmentaires au fil de l'eau. Nous comparons notre approche à des approches de partitionnement dynamiques reconnues afin d'en valider la pertinence. Enfin, nous comparons différentes méthodes de représentation des données textuelles. Plus particulièrement, nous nous intéressons aux approches basées sur les architectures Transformers qui sont actuellement reconnues comme disruptives dans le domaine du TALN (Traitement Automatisé du Langage Naturel) mais n'ont pas encore prouvé leur efficacité pour des documents courts et peu structurés comme ceux issus des réseaux sociaux. Notre approche montre que, contrairement aux études précédemment menées (Mazoyer *et al.*, 2020), les approches basées sur des architectures Transformers peuvent avoir des performances similaires aux approches classiques dans ce contexte.

Le reste de cet article s'organise de la manière suivante. La section 2 présente les travaux de la littérature. Ensuite, la section 3 détaille notre approche. Enfin, nous présentons et discutons nos résultats dans la section 4.

2. Etat de l'art

Dans un premier temps, nous présentons les différentes manières de représenter le contenu textuel, notamment les approches vectorielles. Dans un second temps, nous étudions différentes approches existantes pour la détection d'évènements à partir de textes, avec une attention particulière sur les documents issus des réseaux sociaux.

2.1. Représentation du contenu textuel

Les méthodes de représentation du contenu textuel constituent un des enjeux majeurs des travaux relatifs à la recherche d'informations (Baeza-Yates, Ribeiro-Neto, 1999). La méthode constituant actuellement la référence est TF-IDF (Jones, 1972) qui permet de prendre en compte l'importance des mots dans la représentation du document en pondérant chaque mot de manière inversement proportionnelle au nombre de documents dans lesquels il apparaît. Ainsi, un mot apparaissant dans un document alors qu'il n'apparaît que peu dans le corpus est considéré comme porteur de beaucoup d'informations. Sa pondération dans le cadre de TF-IDF est donc forte. Cette représentation est très utilisée, même de nos jours, dans la recherche d'information et obtient de très bonnes performances, même sur les textes courts du type réseaux sociaux.

Ces représentations statistiques sont actuellement complétées par des représentations vectorielles, appelées plongement de mots, basées sur des approches d'apprentissage profond. Les auteurs de (Mikolov *et al.*, 2013) introduisent le modèle Word2vec qui correspond à une approche neuronale permettant d'associer à un mot un vecteur, qui est calculé grâce au contexte dans lequel le mot apparaît dans le jeu d'entraînement. Ainsi, le vecteur représentant un mot contient de l'information à propos de celui-ci. L'hypothèse faite pour la constitution de ces vecteurs est que des mots dont l'utilisation contextuelle est proche, seront porteur d'un sens similaire et donc seront

représentés par un vecteur proche. Des variations existent, comme le modèle FastText (Bojanowski *et al.*, 2016) qui découpe les mots en sous-mots, permettant de prendre en compte la construction des mots, notamment les suffixes et les préfixes. Les modèles les plus récents sont basés sur des architectures Transformers (Vaswani *et al.*, 2017). Le plus notable d'entre eux est BERT (Devlin *et al.*, 2018). L'architecture de BERT peut s'appliquer à toutes les tâches grâce à une approche d'apprentissage par transfert (transfer learning) (Pan, Yang, 2010). En effet, le modèle est d'abord pré-entraîné sur deux types de tâches, prédire les mots masqués dans une phrase et prédire la phrase suivante. Un affinage (fine-tuning) est ensuite possible sur la tâche spécifique pour laquelle le modèle doit être utilisé.

Tous ces modèles permettent de représenter des mots mais ne permettent pas nécessairement de représenter des phrases. Une des premières approche est Skip-Thought, proposée par (Kiros *et al.*, 2015). C'est une architecture encodeur-décodeur, entraînée de manière non supervisée à prédire les phrases voisines d'une phrase donnée dans un texte. Une autre approche classique est l'utilisation de réseaux siamois, c'est-à-dire deux réseaux de neurones en parallèle, possédant la même architecture et les mêmes poids, mais qui ne prendront pas la même entrée (Bromley *et al.*, 1994). C'est notamment ce qui a été proposé par (Conneau *et al.*, 2017) avec leur modèle InferSent. C'est un réseau LSTM bi-directionnel siamois entraîné de manière supervisée sur le jeu de données SNLI (Bowman *et al.*, 2015). Ce jeu de données contient 570 000 paires de phrases annotées selon trois catégories : implication entre la première et la deuxième phrase, contradiction de la première avec la deuxième phrase, les phrases sont neutres entre elles. Un autre moyen de représenter les phrases est d'utiliser une architecture basée sur les Transformers (Cer *et al.*, 2018). Universal Sentence Encoder (USE) est entraîné sur deux types de tâches, une supervisée, basée sur le jeu de données SNLI de la même manière que InferSent, et sur des tâches non supervisées, comme Skip-Thought. Les architectures Transformers peuvent aussi être utilisées sous forme de réseaux siamois. C'est notamment l'approche suivie dans Sentence BERT (S-BERT) présentée par (Reimers, Gurevych, 2019). Cette approche consiste à créer un réseau siamois de deux modèles BERT qui seront entraînés avec l'objectif de produire des vecteurs similaires pour des phrases dont le sens est proche et des vecteurs dissimilaires pour des phrases dont le sens est éloigné. Ensuite, une dernière couche de neurones est rajoutée, de manière à pouvoir être affinée sur des tâches spécifiques.

Dans la suite de ce papier, nous menons une étude comparative des modèles basés sur TF-IDF et ceux basés sur des architectures Transformers, en particulier S-BERT et USE.

2.2. La détection d'évènements

La détection d'évènements sur les réseaux sociaux est une tâche de fouille de texte classique (Allahyari *et al.*, 2017). Les réseaux sociaux sont particulièrement étudiés pour la détection d'évènements car ils sont très réactifs et des informations traitant

du court terme ou du long terme y sont discutées (Zubiaga *et al.*, 2018). Le réseau le plus classiquement étudié est Twitter, car il est le plus performant pour la détection d'évènements (Hasan *et al.*, 2018).

La détection d'évènements est un dérivé de la détection et du suivi de sujet (TDT : Topic Detection and Tracking), et peut être divisée en différentes sous tâches selon (Allan, 2012) : la segmentation de sujets, la détection de nouveaux sujets (FSD : First Story Selection), le partitionnement (Cluster Detection), le suivi et la détection de liens. Nous nous intéresserons plus particulièrement aux tâches de détection de nouveaux sujets et au partitionnement. Ces sous tâches peuvent être abordées de différentes manières, se divisant en deux grandes catégories : document-pivot et feature-pivot. La première consiste à travailler à l'échelle du document tandis que la seconde travaille à l'échelle du mot ou de groupement de mots. Nous choisissons de nous focaliser sur les approches document-pivot. En effet, ces approches permettent de considérer l'ensemble du contenu textuel du document et d'exploiter un maximum de sens.

L'algorithme de FSD a d'abord été introduit par (Allan *et al.*, 2000) dans le système Umass puis a été amélioré par (Petrović *et al.*, 2010) introduisant l'algorithme de FSD avec LSH (Locality Sensitive Hashing), permettant d'accélérer la recherche de plus proches voisins. L'objectif de cette méthode est de détecter le premier document faisant référence à un évènement. Le problème est ici abordé comme un problème de clustering dynamique des nouveaux documents. (Hasan *et al.*, 2019) proposent d'utiliser l'algorithme de FSD pour évaluer la nouveauté d'un tweet et assigne ensuite le tweet à un cluster à l'aide de la différence entre ce tweet et la moyenne de représentation des clusters. Les représentations des tweets sont calculées à l'aide de TF-IDF. (Mazoyer *et al.*, 2020) proposent de comparer les performances de Word2vec, TF-IDF, BERT et USE pour la détection de nouveaux sujets. Les auteurs de (Becker *et al.*, 2011) proposent de grouper les tweets dans des clusters de messages similaires afin de déterminer quels messages parlent d'évènements ou non. Ils utilisent TF-IDF pour représenter les tweets puis calculent une similarité pour créer des clusters et les classer à l'aide d'un classifieur SVM (Machine à Vecteurs de Support). Dans (Boom *et al.*, 2016), les auteurs prolongent les travaux de Becker et al. en utilisant un algorithme de clustering incrémental et en exploitant la sémantique des hashtags pour améliorer le clustering. Ils filtrent ensuite les évènements triviaux. (McMinn, Jose, 2015) utilisent aussi TF-IDF pour représenter les tweets et appliquent ensuite un algorithme de clustering incrémental se basant sur des critères de similarités et de taille des tweets pour les regrouper. Ils couplent cela avec des méthodes de filtrage pour permettre le passage à l'échelle de l'algorithme.

Dans la suite de cet article, nous proposons de comparer les méthodes basées sur les architectures Transformers à la méthode TF-IDF très majoritairement utilisée dans la littérature de manière à en évaluer les performances dans un contexte de partitionnement classique. Nous comparons aussi les performances entre les contextes de partitionnement dynamique et de partitionnement classique. Pour cela, nous menons un comparatif similaire à celui proposé par (Mazoyer *et al.*, 2020) avec notre méthode et nous comparons les résultats qu'ils obtiennent à ceux obtenus avec notre méthode.

3. Le moteur de détection d'évènements : EDF

3.1. Description de l'approche

Nous proposons d'aborder le problème de la détection d'évènements dans les flux de données textuelles comme une tâche de partitionnement de données (Allan, 2012). Cela permet de s'extraire des contraintes imposées par le partitionnement dynamique ; i.e., nous pouvons ainsi considérer l'ensemble des documents publiés au moment du partitionnement, et non de devoir travailler avec des informations fragmentaires au fil de l'eau. La méthode présentée est flexible, permettant d'utiliser tout type de représentation vectorielle du texte ainsi que tout algorithme classique de partitionnement de données. Cette flexibilité est particulièrement intéressante car il est important de pouvoir adapter la paire algorithme de représentation - algorithme de clustering. Afin de se ramener à un contexte de partitionnement classique, nous proposons de découper le flux entrant en fenêtre de densités de documents. Ainsi, il n'est pas nécessaire d'utiliser des algorithmes de partitionnement dynamiques. De plus, cette approche par fenêtre nous permet de nous assurer que les documents regroupés sont bien des documents dont la date de publication est proche. Cet élément est crucial afin que des évènements similaires mais totalement déconnectés dans le temps ne soient pas associés entre eux. Nous choisissons pour cette étude de découper en fenêtres de **w = 2000 tweets**. Ce choix nous assure d'avoir une fenêtre représentative en termes de nombres d'évènements présents dans la fenêtre, tout en conservant des intervalles de temps courts, afin de se rapprocher au plus juste du contexte de traitement d'un flux de données issu de Twitter. L'approche proposée de détection d'évènement proposée, appelée EDF (Event Detection Framework) est constituée de trois étapes majeures, qui seront effectuées sur chaque fenêtre temporelle : (1) Représentation de chaque document sous forme vectorielle, (2) Calcul de la matrice de similarité entre tous les documents, (3) Application de l'algorithme de partitionnement. Ainsi, différentes combinaisons peuvent être envisagées pour chacune des trois étapes.

3.2. Algorithmes mis en oeuvre

Nous proposons de comparer différentes techniques de représentation des données textuelles dans deux contextes différents : le premier est le FSD, pour lequel nous nous basons sur les expérimentations réalisées dans (Mazoyer *et al.*, 2020). Le second est un contexte de partitionnement de données, pour lequel nous utiliserons l'approche EDF. Ainsi, pour chacun des deux contextes, nous effectuons les trois étapes présentées précédemment ; i.e. la représentation des données textuelles, le calcul des similarités entre les représentations et le partitionnement des données.

L'algorithme de FSD consiste à assigner dynamiquement chaque nouveau document à un regroupement de données à l'aide d'un algorithme du plus proche voisin. Pour chaque nouveau document, la similarité avec le plus proche voisin est calculée. Si cette similarité est supérieure à un seuil défini, alors le document est assigné.

au regroupement du plus proche voisin. Si non, un nouveau regroupement est créé, initialement composé uniquement du nouveau document.

Concernant EDF, nous proposons de travailler à l'échelle des documents. Cela permet notamment de considérer l'ensemble de l'information textuelle contenue dans le tweet et non uniquement des mots clefs. Notre approche consiste à calculer une représentation pour chaque document d'une fenêtre. La matrice de similarité entre documents est ensuite calculée. Cette matrice est utilisée pour constituer un graphe, dont les nœuds sont les documents et les arêtes entre chaque paire de document sont pondérées par la similarité entre ces documents. Les arêtes pour lesquelles les valeurs de similarités sont en dessous d'un seuil fixé sont supprimées. Une fois le graphe ainsi obtenu, un algorithme de partitionnement des données est utilisé, afin de calculer les regroupements. L'algorithme de clustering utilisé est l'algorithme de Louvain (Blondel *et al.*, 2008), utilisé notamment dans (Fedoryszak *et al.*, 2019). Cet algorithme a l'avantage de déterminer le nombre optimal de cluster sans qu'il soit spécifié au préalable. Nous utilisons comme mesure de similarité la Cosine Similarity, mesure la plus classique dans le clustering de texte (Aggarwal, Zhai, 2012). La Figure 1 illustre l'approche décrite.

Concernant les algorithmes de représentations des données, nous mettons en concurrence deux types de techniques : des approches statistiques, basées sur TF-IDF et des approches basées sur des architectures Transformers, USE et S-BERT. Nous avons choisi ces techniques car TF-IDF est un standard qui a prouvé plusieurs fois ses performances (Mazoyer *et al.*, 2020) tandis que S-BERT et USE sont des références pour la représentation de phrases basées sur les architectures Transformers (Reimers, Gurevych, 2019), (Cer *et al.*, 2018).

3.3. Présentation du jeu de données

Les auteurs de (McMinn *et al.*, 2013) proposent un jeu de données, nommé Event2012, constitué de 150 000 tweets annotés, au sein d'un corpus de plus de 120 millions de tweets issus du flux de données de Twitter, collectés entre Octobre et Novembre 2012. Ce dataset est particulièrement adapté à des approches document-pivot, puisque les labels portent sur les tweets complets (Fedoryszak *et al.*, 2019). Chaque tweet annoté est associé à un événement et une catégorie d'événements. Au total, 506 événements ont été annotés et sont répartis dans 8 grandes catégories d'événements. Afin de respecter les conditions d'utilisations de Twitter, seuls les identifiants des tweets sont partagés, permettant par la suite la récupération du contenu. Du fait de la suppression des tweets au cours du temps, nous avons pu récupérer 69875 tweets annotés, répartis dans 504 événements.

De manière à simuler un contexte le plus proche possible d'un flux de données, nous avons choisi d'organiser le jeu de données par ordre de publication des tweets et de le découper en fenêtre de 2000 tweets. Ainsi, dans toutes les expériences présentées ci-après, les tweets sont présentés aux modèles dans leur ordre de publication initial. Ce paramètre est particulièrement important pour l'entraînement du modèle S-BERT

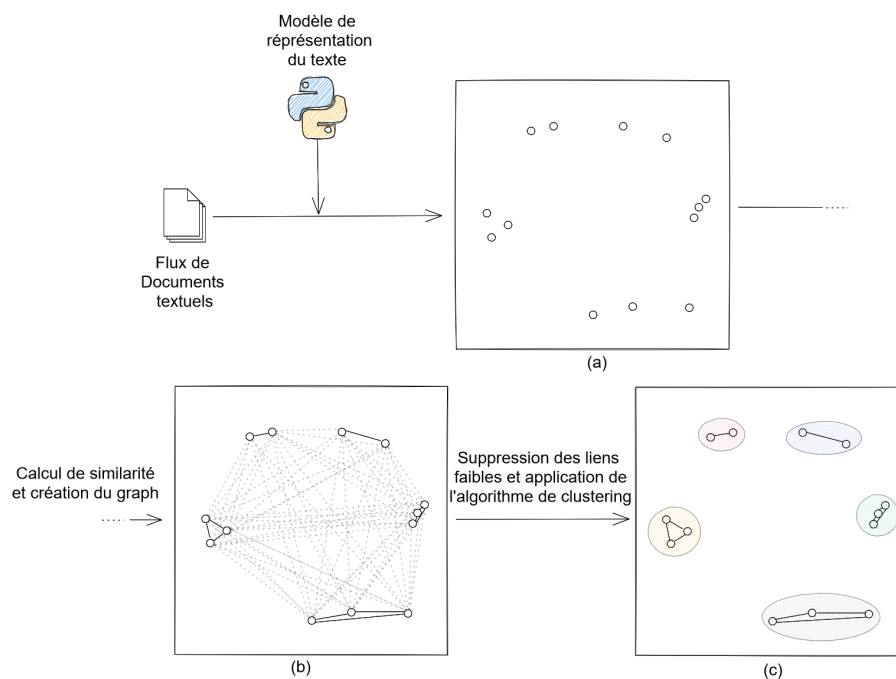


FIGURE 1. *Processus de traitement des données réalisé par EDF à l'échelle d'une fenêtre. (a) Représentation des documents dans l'espace. Chacun point est un document. (b) Création du graphe à partir de la matrice de similarité. Chaque document est un sommet, chaque arête est pondérée par la similarité entre documents. (c) Création des partitionnements, en supprimant les arêtes dont le poids est trop faible.*

qui sera détaillé par la suite car la majorité des labels d'évènements présents dans le jeu d'entraînement ne sont pas présents dans le jeu de test. En effet, le jeu d'entraînement comporte 225 évènements, tandis que le jeu de test contient 303 évènements. Sur ces évènements, 24 sont en communs entre les deux collections. La répartition des données dans le dataset que nous avons pu récupérer est présentée dans la Figure 2. Nous pouvons donc constater que les fenêtres ne sont pas équivalentes entre elles, que ce soit en termes de nombres d'évènements étant discutés dans la fenêtre, mais aussi concernant la couverture temporelle de chaque fenêtre.

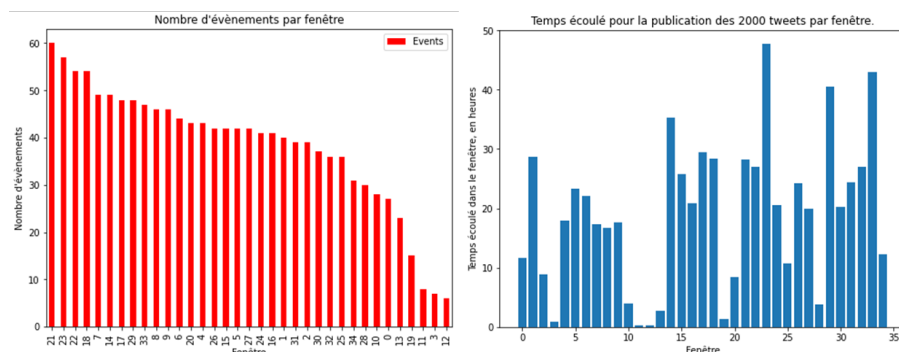


FIGURE 2. *Caractéristiques du dataset. La partie gauche illustre la disparité du nombre d'événements par fenêtre de tweets. La partie droite de la figure illustre le temps en heures qu'il a fallu pour que les 2000 tweets de la fenêtre soient publiés.*

3.4. Modèles de représentation

Nous proposons deux variations de TF-IDF et de S-BERT, tandis que nous utilisons le modèle USE-large¹, que nous appellerons **USE**. Concernant TF-IDF, nous utilisons les implémentations proposées par (Mazoyer *et al.*, 2020). La première, que nous appellerons dans le reste de ce papier **TF-IDF dataset**, propose un IDF calculé sur les tweets labélisés du jeu de données. La seconde, **TF-IDF all tweets**, a un IDF calculé sur l'ensemble du jeu de données. Concernant S-BERT, la première version, nommée **S-BERT nli** est la version pré-entraînée sur le dataset NLI disponible dans les implémentations proposées par les auteurs du papier (Reimers, Gurevych, 2019)². Ainsi, ce modèle est un réseau siamois, composé de deux modèles BERT égaux. Ces modèles ont été affinés sur le dataset SNLI discuté dans l'état de l'art. Nous avons choisi ce modèle de BERT notamment car le dataset NLI est connu pour améliorer les performances sur les tâches de clustering (Bowman *et al.*, 2015). Pour la seconde version, **S-BERT fine-tuned**, nous avons réalisé un affinage du modèle S-BERT sur le jeu d'entraînement, qui constitue la première moitié du jeu de données. Les événements ont été utilisés comme labels d'entraînement. La particularité de cet entraînement vient de l'organisation temporelle du jeu de données : la majeure partie des événements présents dans la collection de test ne le sont pas dans la collection d'entraînement, comme expliqué en partie 3.3. L'affinage a donc été réalisé sur 36 000 tweets, de manière à ce que la découpe jeu d'entraînement/jeu de test corresponde aux fenêtres de tweets que nous avons établies. Nous avons assigné à chaque tweet une paire de tweets : un tweet issu du même label et un tweet issu d'un label différent,

1. <https://tfhub.dev/google/universal-sentence-encoder-large/5>

2. <https://github.com/UKPLab/sentence-transformers>

conformément aux méthodes d'entraînement classique des réseaux sociaux siamois. Chacun de ces deux tweets est choisi de manière aléatoire dans le jeu d'entraînement, selon les règles concernant les labels que nous venons d'énoncer.

4. Expérimentations et Résultats

Trois expériences ont été menées afin d'évaluer différents aspects. La première expérience nous permettra de valider quelle est la meilleure approche de regroupement des données entre FSD et EDF tandis que les expériences 2 et 3 nous permettront de déterminer quelles sont les meilleurs techniques de représentation du texte, selon les contextes définis.

Pour chacune des trois expériences, nous présentons d'abord le protocole expérimental qui a été mis en oeuvre puis nous présentons les résultats. Nous étudions les tests de significativité avec une valeur $\alpha = 0,05$. Nous procédons à ces évaluations à l'aide du "Wilcoxon signed-rank test", méthode de test de significativité statistique la plus adaptée à notre contexte (Yeh, 2000). En effet, nous utilisons des méthodes de test non paramétriques du fait des caractéristiques de nos données.

4.1. Première expérience

4.1.1. Protocole expérimental

La première expérience est la comparaison des 4 modèles de représentation de texte, **TF-IDF dataset**, **TF-IDF all tweets**, **S-BERT nli** et **USE** dans deux contextes différents : avec application de l'algorithme FSD ou avec application de notre solution EDF. Nous utilisons l'implémentation de FSD proposée par (Mazoyer *et al.*, 2020)³, en adaptant cette solution. En effet, contrairement à l'implémentation proposée, nous appliquons l'algorithme à des fenêtres successives de 2000 tweets et utilisons comme mesure de performance la mesure B-Cubed, une adaptation de la précision, du rappel et de la F-mesure pour le partitionnement de données, reconnue comme étant la méthode d'évaluation des performances de partitionnement la plus complète (Amigó *et al.*, 2009). Ainsi, nous formulons l'hypothèse H0 suivante : "Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les performances des algorithmes dans le cadre du FSD et de EDF". Pour la valider, nous utilisons le test "Wilcoxon signed-rank test". Concernant les valeurs seuils de l'algorithme FSD proposé, nous avons utilisé les valeurs présentées par (Mazoyer *et al.*, 2020), c'est à dire $t=0,65$ pour TF-IDF dataset, $t=0,75$ pour TD-IDF all tweets et $t=0,39$ pour S-BERT et $t=0,22$ pour USE. Les valeurs de seuils utilisées pour la suppression des arêtes du graphe dans l'approche EDF sont les suivantes : $t=0,39$ pour les modèles basés sur TF-IDF, $t=0,79$ pour le S-BERT, $t=0,59$ pour USE. Pour rappel, les valeurs correspondent à des similarités calculées via Cosine Similarity. Ces valeurs seuils ont été déterminées empiriquement.

3. <https://github.com/ina-foss/twembeddings>

4.1.2. Résultats

Le *Tableau 1* résume les résultats. Les chiffres présentés sont les moyennes sur l'ensemble des fenêtres de chaque métrique ainsi que l'écart type. Dans la majorité des cas, l'approche EDF est plus performante que l'approche FSD. Les résultats des tests de significativité sont présentés dans le *Tableau 2*. Le test est réalisé entre les valeurs de chaque métrique, pour chaque méthode, pour toutes les fenêtres de tweets. Dans chacun des cas, on constate que la p-value est toujours inférieure α .

Tableau 1. Qualité des clusters créés selon la métrique B-cubed, pour chacune des représentations textuelles, en fonction de l'algorithme de partitionnement. L'approche EDF a quasi-systématiquement les meilleurs résultats.

Modèle	Approche	Précision	Rappel	F1 Score
TF-IDF dataset	FSD	0.727 \pm 0.128	0.523 \pm 0.184	0.573 \pm 0.150
	EDF	0.930 \pm 0.048	0.702 \pm 0.276	0.756 \pm 0.240
TF-IDF all tweets	FSD	0.781 \pm 0.107	0.552 \pm 0.199	0.613 \pm 0.161
	EDF	0.929 \pm 0.039	0.751 \pm 0.272	0.805 \pm 0.245
USE	FSD	0.919 \pm 0.001	0.379 \pm 0.01	0.500 \pm 0.01
	EDF	0.918 \pm 0.01	0.664 \pm 0.01	0.729 \pm 0.01
S-BERT-nli	FSD	0.968 \pm 0.023	0.323 \pm 0.159	0.460 \pm 0.195
	EDF	0.880 \pm 0.075	0.611 \pm 0.244	0.680 \pm 0.207

Tableau 2. P-value pour le test Wilcoxon signed-rank "FSD vs EDF". Dans chacun des cas, P-value < α .

	Précision	Rappel	F1 Score
TF-IDF dataset	2.47 e-07	1.14 e-06	8.21e-05
TF-IDF all tweets	2.47e-07	1.31e-07	2.21e-05
S-BERT nli	3.65e-07	2.47e-07	2.47e-07

Ainsi, dans la majeure partie des cas, les performances sont plus élevées pour l'algorithme EDF que FSD, et les tests de significativité indiquent une pvalue < α . En rejetant donc l'hypothèse H_0 , ceci nous permet de conclure que l'approche EDF a de meilleures performances dans notre contexte que l'algorithme FSD.

4.2. Seconde expérience

4.2.1. Protocole Expérimental

La seconde expérience consiste à comparer les performances de **TF-IDF dataset**, **TF-IDF all tweets**, **S-BERT nli** et **USE** dans le contexte EDF. Cette expérience nous sert à comparer les approches de représentation du texte entre elles, de manière à déterminer quelle solution de représentation des données textuelles est la plus efficace, en particulier, nous souhaitons examiner les performances des approches basées sur les Transformers et les comparer aux performances des modèles basés sur TF-IDF,

reconnus comme étant plus performants, notamment dans (Mazoyer *et al.*, 2020). Les performances sont évaluées à l'aide de la métrique B-cubed. Nous formulons l'hypothèse H_0 suivante : "Aucune des approches n'est significativement meilleure que les autres". Les valeurs de seuils utilisées pour cette expérience sont les mêmes que précédemment, c'est-à-dire $t=0,39$ pour les modèles basés sur TF-IDF, $t=0,79$ pour S-BERT et $t=0,59$ pour USE.

4.2.2. Résultats

Nous comparons chacune des méthodes en les appliquant à chacune des fenêtres définies précédemment, dans un contexte non-supervisé puisqu'aucun des modèles n'a nécessité de label pour un entraînement. Les résultats obtenus sont ceux présentés dans le *Tableau 1*, sur les lignes correspondant à l'approche EDF. Les résultats des tests de significativité sont présentés dans le *Tableau 3*.

Tableau 3. P-value pour le test Wilcoxon signed-rank. Dans chacun des cas, $P\text{-value} < \alpha$.

	Précision	Rappel	F1 Score
S-BERT nli / TF-IDF dataset	7.19e-06	1.13 e-05	6.16e-06
S-BERT nli / TF-IDF all tweets	3.99e-07	2.43e-04	2.05e-05
USE / TF-IDF dataset	1.75e-02	1.77e-05	8.84e-04
USE / TF-IDF all tweets	6.51e-05	8.21e-07	1.32e-03

Ainsi, les performances sont en moyenne meilleures pour les approches basées sur TF-IDF comparées à S-BERT, mais sont proches avec USE. Les tests de significativité ont une valeur p-value $< 0,05$. Nous pouvons donc rejeter l'hypothèse H_0 qui a été formulée, et conclure que les approches TF-IDF sont effectivement plus performantes que l'approche S-BERT, dans un cas non supervisé comme présenté ici. Cependant, les résultats sont proches entre les approches TF-IDF et USE.

4.3. Troisième expérience

4.3.1. Protocole expérimental

La troisième expérience compare **TF-IDF dataset**, **TF-IDF all tweets**, **S-BERT fine-tuned** et **USE** dans le contexte EDF, sur le jeu de test. Les performances sont évaluées à l'aide de la métrique B-cubed. Nous formulons l'hypothèse H_0 suivante : "Aucune des approches n'est significativement meilleure que les autres". Les valeurs de seuils utilisées pour cette expérience sont les mêmes que précédemment, c'est-à-dire $t=0,39$ pour les modèles basés sur TF-IDF, $t=0,79$ pour S-BERT, $t=0,59$ pour USE. Cette expérience est similaire à la précédente mais nous voulons cette fois-ci valider l'intérêt de l'affinage dans un contexte d'application à un flux de données. Afin d'être cohérent avec ce contexte, nous avons entraîné sur le modèle S-BERT sur le jeu d'entraînement, dont les détails sont présentés en partie 3.3. Les détails de la phase d'entraînement sont quant à eux présentés dans la partie 3.4. Nous n'avons pas

affiné le modèle USE, nous projetons de le faire dans des travaux futurs. Nous avons choisi de nous focaliser sur un dérivé de BERT, qui est le modèle le plus standard actuellement. Nous appliquons néanmoins le modèle USE non affiné au jeu de test à des fins de comparaison.

4.3.2. Résultats

Les résultats sont présentés dans le *Tableau 4*. Les résultats des tests de significativité sont présentés dans le *Tableau 5*.

Tableau 4. Qualité des clusters créés selon la métrique B-cubed, pour chacune des représentations textuelles, dans un contexte supervisé, sur le jeu de test.

	Précision	Rappel	F1 Score
TF-IDF dataset	0.904 \pm 0.044	0.769 \pm 0.216	0.805 \pm 0.170
TF-IDF all tweets	0.929 \pm 0.035	0.750 \pm 0.215	0.805 \pm 0.184
S-BERT fine tuned	0.851 \pm 0.067	0.837 \pm 0.170	0.828 \pm 0.106
USE	0.875 \pm 0.061	0.855 \pm 0.211	0.839 \pm 0.158

Tableau 5. P-value pour le test Wilcoxon signed-rank. Tous les résultats ne sont pas significatifs, notamment les F1 Score pour S-BERT et TF-IDF.

	Précision	Rappel	F1 Score
S-BERT nli fine-tuned / TF-IDF dataset	8.39e-04	6.65e-03	0.963
S-BERT nli fine-tuned / TF-IDF all tweets	7.62e-05	7.62e-05	0.889
USE / TF-IDF dataset	1.49e-02	1.34e-02	6.38e-02
USE / TF-IDF all tweets	3.81e-04	4.57e-05	2.32e-02

Nous pouvons constater que les résultats ne sont pas significatifs concernant les F1 score de S-BERT par rapport aux approches TF-IDF. En revanche, les performances de USE sont significativement meilleures que les autres, notamment concernant le F1-score et le rappel. S-BERT est plus performant que les approches TF-IDF en termes de rappel mais pas en termes de précision.

4.4. Discussion générale des résultats obtenus

L'expérience 1 nous a permis de montrer que notre approche EDF est supérieure à l'approche FSD dans la majorité des cas présentés. Ce constat est particulièrement vrai pour la mesure du rappel. Concernant la précision, notamment pour les architectures Transformers, les valeurs entre FSD et EDF sont proches. Nous pensons que l'algorithme FSD permet, dans ces cas là, d'obtenir des partitionnements cohérents (forte précision). Dans un même temps, FSD a tendance à segmenter les documents d'un même label dans plusieurs partitionnements entraînant une chute importante du rappel. Cela est probablement dû au fait que les partitionnements avec FSD peuvent être créés à l'arrivée d'un nouveau document sans tenir compte de la totalité des documents de la fenêtre. Cette segmentation est moins présente dans la méthode EDF conduisant à une meilleure valeur de rappel.

Nous avons également montré que les approches basées sur des architectures Transformers, particulièrement USE et S-BERT affiné, sont compétitives par rapport aux approches classiques (TF-IDF). Il est quand même notable que, dans un contexte non supervisé, S-BERT a des performances moindres que USE. Nous pensons que cela peut être expliqué par les données utilisées pour pré-entraîner les différents modèles Transformers. En effet, le modèle S-BERT que nous avons utilisé est basé sur BERT NLI, qui est entraîné sur le corpus Wikipedia anglais, BookCorpus et affiné sur SNLI. USE quant à lui est entraîné sur un panel de données plus diversifié, incluant des données de forums de discussion ou de sites de questions-réponses, plus proche dans leur formulation (moins formel) des données de Twitter que ne l'est le jeu d'entraînement de S-BERT. De ce fait, les données issues des réseaux sociaux, dont la syntaxe est très particulière notamment du fait de la déstructuration de la langue utilisée (français, anglais...), posent des problèmes à S-BERT non affiné car entraîné sur des données écrites dans un anglais "plus conventionnel". Une fois le modèle S-BERT affiné sur des données issues de réseaux sociaux, les performances de S-BERT augmentent et deviennent comparables aux autres modèles. Ainsi, nous pouvons souligner l'importance de la phase d'affinage du modèle et l'intérêt que pourrait représenter un pré-entraînement de S-BERT directement sur des données issues des réseaux sociaux pour obtenir de meilleurs résultats dans notre contexte.

5. Conclusion

Nous avons étudié le problème de la détection d'évènements dans les flux de données textuelles sous la forme d'une tâche de partitionnement. Dans un premier temps, nous avons montré la supériorité de notre approche EDF basée sur du partitionnement par rapport à l'approche FSD dans le cadre de fenêtres de densité de tweets. Ensuite, nous avons montré que dans un contexte non-supervisé, S-BERT est en deça des autres modèles, mais que USE reste compétitif. Enfin, nous avons montré que dans un contexte supervisé, les approches TF-IDF ne peuvent pas être déclarées comme supérieures aux approches Transformers, ouvrant des perspectives intéressantes, comme des approches d'apprentissage actif ou incrémental, concernant de potentiels développement de ces approches dans le contexte des flux de données issus des réseaux sociaux. En effet, cela permettrait d'adapter les Transformers, potentiellement performants lorsque affinis, à des contextes où il est difficile d'avoir accès à des données labélisées. Afin de compléter le travail présenté dans ce papier, une comparaison de différentes approches de partitionnement peut être menée, à la manière de ce qui a été fait ici pour les représentations textuelles. Enfin, ce papier s'inscrit dans un projet de recherche mené en collaboration avec l'entreprise Scalian. L'objectif est de travailler sur une chaîne plus complète (Maître *et al.*, 2020) de détection, de suivi et de caractérisation des évènements, à la manière de la méthode présentées dans (Fedoryszak *et al.*, 2019), notamment pour faire un suivi inter-fenêtre des évènements et déterminer les principaux composants de ces évènements.

Bibliographie

- Aggarwal C. C., Zhai C. (2012). A survey of text clustering algorithms. In *Mining text data*, p. 77–128. Springer.
- Allahyari M., Pouriyeh S., Assefi M., Safaei S., Trippe E., Gutierrez J. *et al.* (2017, 07). A brief survey of text mining: Classification, clustering and extraction techniques.
- Allan J. (2012). *Topic detection and tracking: event-based information organization* (vol. 12). Springer Science & Business Media.
- Allan J., Lavrenko V., Malin D., Swan R. (2000, 11). Detections, bounds, and timelines: Umass and tdt-3. *Proceedings of Topic Detection and Tracking Workshop*.
- Amigó E., Gonzalo J., Artiles J., Verdejo F. (2009). A comparison of extrinsic clustering evaluation metrics based on formal constraints. *Information retrieval*, vol. 12, n° 4, p. 461–486.
- Atefeh F., Khreich W. (2015, février). A survey of techniques for event detection in twitter. *Comput. Intell.*, vol. 31, n° 1, p. 132–164. Consulté sur <https://doi.org/10.1111/coin.12017>
- Baeza-Yates R. A., Ribeiro-Neto B. A. (1999). *Modern information retrieval*. ACM Press / Addison-Wesley.
- Becker H., Naaman M., Gravano L. (2011, 01). Beyond trending topics: Real-world event identification on twitter. In, vol. 11.
- Blondel V. D., Guillaume J.-L., Lambiotte R., Lefebvre E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of statistical mechanics: theory and experiment*, vol. 2008, n° 10, p. P10008.
- Bojanowski P., Grave E., Joulin A., Mikolov T. (2016). Enriching word vectors with subword information. *arXiv preprint arXiv:1607.04606*.
- Boom C. D., Canneyt S. V., Demeester T., Dhoedt B. (2016). Representation learning for very short texts using weighted word embedding aggregation. *CoRR*, vol. abs/1607.00570.
- Bowman S. R., Angeli G., Potts C., Manning C. D. (2015). A large annotated corpus for learning natural language inference. In *Proceedings of the 2015 conference on empirical methods in natural language processing (emnlp)*. Association for Computational Linguistics.
- Bromley J., Guyon I., LeCun Y., Säckinger E., Shah R. (1994). Signature verification using a "siamese" time delay neural network. *Advances in neural information processing systems*, p. 737–737.
- Cer D., Yang Y., Kong S.-y., Hua N., Limtiaco N., John R. S. *et al.* (2018). Universal sentence encoder. *arXiv preprint arXiv:1803.11175*.
- Conneau A., Kiela D., Schwenk H., Barrault L., Bordes A. (2017, septembre). Supervised learning of universal sentence representations from natural language inference data. In *Proceedings of the 2017 conference on empirical methods in natural language processing*, p. 670–680. Copenhagen, Denmark, Association for Computational Linguistics.
- Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. (2018). Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *arXiv preprint arXiv:1810.04805*.
- Fedoryszak M., Frederick B., Rajaram V., Zhong C. (2019). Real-time event detection on social data streams. *CoRR*, vol. abs/1907.11229. Consulté sur <http://arxiv.org/abs/1907.11229>

- Hasan M., Orgun M., Schwitter R. (2019, 5). Real-time event detection from the twitter data stream using the twitternews+ framework. *Information Processing and Management*, vol. 56, n° 3, p. 1146–1165.
- Hasan M., Orgun M. A., Schwitter R. (2018, août). A survey on real-time event detection from the twitter data stream. *J. Inf. Sci.*, vol. 44, n° 4, p. 443–463.
- Jones K. S. (1972). A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval. *Journal of documentation*.
- Kiros R., Zhu Y., Salakhutdinov R., Zemel R. S., Torralba A., Urtasun R. *et al.* (2015). Skip-thought vectors. *arXiv preprint arXiv:1506.06726*.
- Maître E., Chemli Z., Chevalier M., Dousset B., Gitto J.-P., Teste O. (2020). Event detection and time series alignment to improve stock market forecasting. In *Joint conference of the information retrieval communities in europe (circle 2020)*, vol. 2621, p. 1–5.
- Mazoyer B., Hervé N., Hudelot C., Cage J. (2020, janvier). Représentations lexicales pour la détection non supervisée d'événements dans un flux de tweets : étude sur des corpus français et anglais. In *Extraction et Gestion des connaissances, EGC 2020*.
- McMinn A. J., Jose J. M. (2015). Real-time entity-based event detection for twitter. In J. Mothe *et al.* (Eds.), *Experimental ir meets multilinguality, multimodality, and interaction*, p. 65–77. Cham, Springer International Publishing.
- McMinn A. J., Moshfeghi Y., Jose J. M. (2013). Building a large-scale corpus for evaluating event detection on twitter. In *Proceedings of the 22nd acm international conference on information & knowledge management*, p. 409–418.
- Mikolov T., Chen K., Corrado G., Dean J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. *arXiv preprint arXiv:1301.3781*.
- Pan S. J., Yang Q. (2010). A survey on transfer learning. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 22, n° 10, p. 1345–1359.
- Petrović S., Osborne M., Lavrenko V. (2010). Streaming first story detection with application to twitter. In *Human language technologies: The 2010 annual conference of the north american chapter of the association for computational linguistics*, p. 181–189. USA, Association for Computational Linguistics.
- Reimers N., Gurevych I. (2019). Sentence-bert: Sentence embeddings using siamese bert-networks. *CoRR*, vol. abs/1908.10084. Consulté sur <http://arxiv.org/abs/1908.10084>
- Sakaki T., Okazaki M., Matsuo Y. (2010, 01). Earthquake shakes twitter users: Real-time event detection by social sensors. In, p. 851–860.
- Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A. N. *et al.* (2017). Attention is all you need. *arXiv preprint arXiv:1706.03762*.
- Weng J., Lee B.-S. (2011). Event detection in twitter. In *Proceedings of the international aaai conference on web and social media*, vol. 5.
- Yeh A. (2000). More accurate tests for the statistical significance of result differences. *arXiv preprint cs/0008005*.
- Zubiaga A., Aker A., Bontcheva K., Liakata M., Procter R. (2018, février). Detection and resolution of rumours in social media: A survey. , vol. 51, n° 2. Consulté sur <https://doi.org/10.1145/3161603>

Stratégies numériques de lutte contre la pandémie de la COVID-19 : quelle place pour les applications de *contact tracing* ?

Robert Viseur¹

1. Université de Mons (UMONS - FWEG - Service TIC)
17 place Warocqué, B-7000 Mons, Belgique
robert.viseur@umons.ac.be

RÉSUMÉ. En décembre 2019 démarrait dans la ville chinoise de Wuhan une épidémie de pneumonie attribuée à un nouveau coronavirus. Sa diffusion mondiale conduisit le 11 mars 2020 l'OMS à déclarer pandémie l'épidémie de COVID-19. Frappée elle-aussi, l'Europe connaissait, et connaît encore, des confinements successifs pour limiter la pression sur les systèmes de soins de santé. Cependant, force est de constater que certains pays (p. ex. Taiwan et Corée du Sud) ont mieux contenu cette pandémie, en témoignent des chiffres de mortalité sensiblement plus faibles. Dans ces pays, le numérique occupe souvent une place importante dans la réponse des états face à la pandémie. Dans un premier temps, nous dresserons un panorama de la gestion de la pandémie dans ces pays, en insistant sur les outils effectivement mis en œuvre, avant de proposer une synthèse des outils exploitables et de leur intégration. Dans un second temps, nous comparerons la réponse des pays européens. En particulier, nous nous focaliserons sur les applications de tracing, une pièce présentée comme importante dans la réponse des pays européens. Nous discuterons les technologies sous-jacentes ainsi que leurs limitations, en particulier en matière de diffusion, de fiabilité et de sécurité. Nous proposerons en particulier une application locale du proximity tracing comme une composante utile à une réouverture partielle des établissements d'enseignement universitaire.

ABSTRACT. In December 2019, an epidemic of pneumonia attributed to a new coronavirus started in the Chinese city of Wuhan. Its worldwide spread led the WHO to declare the COVID-19 epidemic a pandemic on 11 March 2020. Europe, too, was and still is affected, and is experiencing successive confinements to limit the pressure on health care systems. However, it must be said that some countries (e.g. Taiwan and South Korea) contained the pandemic better, as evidenced by significantly lower mortality figures. In these countries, digitalisation often plays an important role in the response of states to the pandemic. We will first provide an overview of the management of the pandemic in these countries, with an emphasis on the tools actually implemented, before proposing a synthesis of exploitable tools and their integration. Secondly, we will compare the response of European countries. In particular, we will focus on tracing applications, a piece presented as important in the response of European countries. We will discuss the underlying technologies as well as their limitations, particularly in terms of dissemination, reliability and security. In particular, we will propose a local application of proximity tracing as a useful component of a partial reopening of university educational institutions.

Mots-clés : covid19, big data, tracing, tracking, open data, e-santé.

KEYWORDS: covid19, big data, tracing, tracking, open data, ehealth.

1. Introduction

En décembre 2019 démarrait dans la ville chinoise de Wuhan, capitale de la province de Hubei, une épidémie de pneumonie attribuée à un nouveau coronavirus baptisé SARS-CoV-2 (Dong et al., 2020). Cette maladie à coronavirus 2019 (ou COVID-19) conduisit au confinement strict de la ville de Wuhan dès le 23 janvier 2020 et à celui de la plupart des villes importantes de Hubei dès le 24 janvier (Lau et al., 2020). Bien que localement efficaces, ces mesures de confinement n'empêchèrent pas une diffusion de la maladie en Chine continentale et à plusieurs dizaines d'autres pays conduisant le 11 mars 2020 l'OMS à déclarer pandémie l'épidémie de la COVID-19. En Europe, la maladie frappa durement l'Italie. Malgré la mise en place progressive du confinement dès le 9 mars, le système de soins de santé y atteignit rapidement ses limites (du fait notamment de la capacité limitée des unités de soins intensifs) tandis que les autres pays européens connaissaient une progression similaire du virus (avec quelques jours ou semaines de décalage) et mettaient à leur tour en œuvre des mesures de confinement (Saglietto et al., 2020).

Tableau 1. Taux de mortalité par million d'habitants (07/2020).

Pays	DPMI	Pays	DPMI
Vietnam	0,47	Allemagne	114,75
Thaïlande	0,85	Belgique	878,96
Chine	3,31	Espagne	697,26
Singapour	4,66	États-Unis	643,08
Nouvelle Zélande	5,21	France	498,66
Corée du Sud	8,34	Israël	214,59
Slovaquie	10	Italie	595,07
Japon	12,72	Royaume-Uni	631,19

En matière de lutte contre la pandémie, un relatif consensus se dégage quant à l'importance des tests, du *tracing* et de la mise en quarantaine, soit la stratégie *test/tracer/isolate* (Salathe et al., 2020). Les chiffres de mortalité (par exemple : DPMI, *deaths per million inhabitants* ; cf. Tableau 1) révèlent cependant de fortes disparités entre les états. Comparé aux états occidentaux (cf. 2 colonnes de droite, Tableau 1), certains pays principalement asiatiques (auxquels il convient d'ajouter Taïwan avec un DPMI inférieur à 1 malgré sa proximité avec la Chine ; Summers et al., 2020) tirent mieux leur épingle du jeu (cf. 2 colonnes de gauche, Tableau 1), avec des DPMI près de 100 fois inférieurs. Certains de ces pays (p. ex. Chine, Corée du Sud, Singapour et Taïwan) se distinguent par leur stratégie d'endiguement laissant une place importante aux outils numériques. Parmi ces derniers, l'utilisation d'outils de *tracing* efficaces, permettant l'identification rapide et la mise en quarantaine de cas contacts, est reconnue comme importante en association avec des fortes capacités de test (Kretzschmar et al., 2020). En Europe, la réponse des états a généralement consisté, en l'absence de traitement efficace faisant consensus et de vaccin validé en quantité suffisante, en un mélange de promotion de gestes barrières (soit en France : se laver les mains, tousser dans son coude, utiliser des mouchoirs à

usage unique et porter un masque conforme) et de comportements jugés responsables (p. ex. respecter la distanciation sociale ; voir par exemple le slogan « *Dedans avec les miens, dehors en citoyen* » utilisé en France), complété par des confinements (*lockdown*), plus ou moins stricts, plus ou moins longs, et par une application de la stratégie tester / tracer / isoler souvent contrariée par les tensions liées à la disponibilité de tests en quantité suffisante et à l'existence d'un processus de traçage efficace.

Dans cette recherche exploratoire, nous présenterons dans une première section une synthèse des stratégies numériques mises en œuvre par les états. Dans une seconde section, nous développerons le cas des applications mobiles de *contact tracing* et discuterons en particulier leur efficacité. Dans une troisième section, nous traiterons le potentiel de diffusion, l'estimation de la diffusion ainsi que l'utilité et l'utilisabilité perçues des *apps* de *contact tracing*. Dans une quatrième section, et avant de conclure, nous discuterons nos résultats. Nous proposerons en particulier une application locale du *proximity tracing* comme composante utile à la réouverture partielle des établissements d'enseignement universitaire.

2. Stratégie numérique des états

Les états retenus, à savoir la Chine continentale, la Corée du Sud, Singapour et Taïwan, pour leur efficacité dans la gestion de la pandémie, ont développé des outils numériques permettant le profilage des voyageurs (p. ex. profils de risque dans les aéroports), le contrôle des déplacements des populations (p. ex. passeport sanitaire sur *smartphone*), le *tracing* des cas positifs (p. ex. applications mobiles), l'analyse de données (p. ex. *tracking* des déplacements des cas positifs), le suivi médical à distance (p. ex. documentation de l'état de santé), la création de bases de données (p. ex. modélisation) et la communication (p. ex. utilisation de Whatsapp). Le tableau 2 fournit une synthèse structurée de solutions retenues dans chacun des pays.

Tableau 2. Résumé des principales stratégies numériques.

	Chine	Corée du Sud	Singapour	Taïwan
(1)	Application de passeport sanitaire affichant un profil de risque (code couleur et QR code) pour le passage des <i>check points</i> .		Élaboration de profils de risque à l'entrée du pays sur base de l'historique des voyages antérieurs.	
(2)		Tracing appliqué aux individus positifs.	Pionnier de l' <i>app contact tracing</i> (TraceTogether).	Tracing manuel et numérique (plate-forme TRACE).
(3)	Surveillance des lieux publics (p. ex. mesure de température à distance).	Collecte de 7 catégories de données personnelles incluant les données de localisation. Remontée de clusters.		Surveillance de la mise en quarantaine.
(4)		Report de la situation sanitaire des cas		

	Chine	Corée du Sud	Singapour	Taïwan
		positifs en situation de quarantaine (p. ex. symptômes et température).		
(5)	Création de bases de données de cas positifs (utilisables pour la modélisation et le <i>machine learning</i>).			
(6)	Signalement des lieux à risque.	Signalement des lieux à risque.	Communication vers le grand public via Whatsapp.	Communication, lutte contre la désinformation sur Internet.

(1) Profiling (2) Tracing (3) Tracking (4) Caring (5) Big open data (6) Communicating. Références : Jian et al. (2020) ; Lin et Hou (2020) ; Pan (2020) ; Park et al. (2020) ; Shu Wei Ting et al. (2020) ; Summers et al. (2020) ; Wang et al. (2020).

L'état de préparation des pays asiatiques s'explique notamment par les épidémies de MERS en 2015 (Corée du Sud) et de SRAS (Taïwan) en 2003. Il en a résulté la mise en place de lois, de procédures, d'agences et d'outils mobilisables en cas d'essor d'une nouvelle pandémie telle que celle de la COVID-19.

3. Cas de l'app *contact tracing*

Les *apps* de *contact tracing* se sont dégagées comme une solution, jugée plus respectueuse de la vie privée, susceptible de contribuer à l'endiguement de la pandémie. Cependant, selon les états, les fondements technologiques peuvent sensiblement différer.

3.1. Présentation

Le *contact tracing* peut être réalisé de manière manuelle (p. ex. *call center*) ou automatique. Le *tracing* manuel reste considéré comme indispensable, tandis que la réelle efficacité du *tracing* automatisé demeure discutée (Braithwaite et al., 2020). L'automatisation du *tracing* par suivi de déplacements a déjà été appliquée pour la lutte contre les virus HIV, Ebola et H1N1 (Rowe et al., 2020b). La large diffusion des *smartphones* dans de nombreux pays offre dès lors, avec le « *digital contact tracing* », de nouvelles perspectives pour réduire le taux de reproduction (R_0) du virus (Ferretti et al., 2020), en permettant d'alerter rapidement les cas contacts, avec cependant des modalités techniques sensiblement différentes. Riemer et al. (2020) distinguent ainsi le « *surveillance tracing* » (basé sur un large éventail de données incluant les données GPS et de localisation des téléphones mobiles) et le « *proximity tracing* » (basé sur un suivi des contacts, c'est-à-dire des personnes présentes à une distance et pendant une durée limitées fixées par cahier des charges, grâce à la technologie Bluetooth Low Energy). Dans ce second cas, dominant en Occident, le système peut être centralisé (anonymat garanti entre les utilisateurs mais pas vis-à-vis des autorités sanitaires) ou décentralisé (anonymat garanti). Si le premier offre un contrôle accru de l'information des utilisateurs à risque, le second rassure davantage les utilisateurs en matière de vie privée. En découle un conflit éthique

mettant en balance respect de la vie privée, liberté de circulation et sauvegarde des vies humaines dans un contexte sanitaire où le décideur politique est parfois porté sur l'action rapide sans une réflexion préalable suffisante pour assurer l'efficacité des mesures prises (Morley et al., 2020 ; Rowe, 2020).

Tableau 3. Comparaison de quelques applications de contact tracing.

	Belgique	France	Suisse	Royaume-Uni	Singapour
Nom	Coronalert	TousAnti Covid	SwissCovid	NHS COVID-19	Trace Together
Technologie	Bluetooth LE	Bluetooth LE	Bluetooth LE	Bluetooth LE	Bluetooth LE
Protocole	DP-3T (avec GAEN)	ROBERT	DP-3T (avec GAEN)	DP-3T (avec GAEN)	BlueTrace
Décentralisé	oui	non	oui	oui	non
Obligatoire	non	non	non	non	≥12/2020
Open source	AL2	MPL2	MPL2	MIT	(OpenTrace)
Dépôt	oui	oui	oui	oui	oui
Activité	oui	oui	non	non	oui
Intéropé- rabilité	oui	non	non	non	non
Services ajoutés	résultats des tests	attestation de déplacement (QR code)	remboursement des tests	niveau de risque local	App SafeEntry

Sources : Coronalert (1, 2, 3, 4), StopCovid/TousAntiCovid (1, 2), SwissCovid (1, 2, 3), NHS COVID-19 (1, 2), Trace Together (1, 2) ; DP-3T (1) ; ROBERT (1), BlueTrace (1), OpenTrace (1) ; comparaisons pré-existantes (1, 2).

Les applications mobiles dites de *contact tracing* sont, selon les pays, basées soit sur le *surveillance tracing* (*tracking*), soit sur le *proximity tracing*, lequel peut être centralisé ou décentralisé (Elkhodr et al., 2021 ; Johnson, 2020 ; Riemer et al., 2020 ; Vaudenay, 2020a). Les états d'Europe occidentale ont majoritairement opté pour des systèmes de *proximity tracing* jugés plus respectueux de la vie privée. Au niveau mondial, Singapour a été un des pionniers avec son système TraceTogether basé sur la technologie centralisée [BlueTrace](#). Les solutions européennes ont originellement été discutées au sein du projet [PEPP-PT](#) (*Pan-European Privacy-Preserving Proximity Tracing*), duquel deux protocoles, DP-3T et ROBERT, finalement utilisés en production, sont issus (Vaudenay, 2020a). Le protocole [DP-3T](#) (*Decentralized Privacy-Preserving Proximity Tracing*) est un protocole décentralisé utilisé notamment par les applications allemandes, belges et suisses. Celles-ci sous-traitent par contre une partie des tâches techniques au système de notification d'exposition GAEN (*Google/Apple Exposure Notification*) publié, mis à jour et déployé par Google et Apple. La France a, pour sa part, décidé, pour son application StopCovid (rebaptisée ensuite TousAntiCovid), de s'appuyer sur le protocole centralisé [ROBERT](#) (*ROBust and privacy-presERving proximity Tracing*). Ce choix lui offre une plus grande indépendance technologique lui permettant d'éviter le recours au système GAEN. Cependant, il l'expose à davantage de difficultés pour faire fonctionner correctement l'application, suite notamment au refus de coopérer d'Apple, engagé avec Google dans le soutien à une technologie décentralisée jugée

plus respectueuse de la vie privée¹. Il est à relever que la dépendance éventuelle aux GAFAMs dépasse la seule estimation du voisinage sur les systèmes décentralisés mais concerne également la partie serveur de l'application, avec par exemple l'utilisation d'Amazon AWS pour Coronalert (*app* belge étroitement dérivée de la Corona-Warn-App allemande) et SwissCovid, et celle de Google Cloud pour TraceTogether (Leith et Farrell, 2020b). Les applications des états membres de l'UE sont supposées respecter le RGPD (*Règlement Général de Protection des Données*), que le protocole soit ou non décentralisé, et ont d'ailleurs généralement fait l'objet d'une analyse par leur autorité locale de protection des données², sans que ces précautions n'éteignent cependant totalement les critiques.

3.2. Critiques

La sécurité des applications de *contact tracing* a fait précocement l'objet de critiques, moins pour la technologie en elle-même (souvent décentralisée) que pour les possibilités d'attaques ou pour les levées progressives des garanties contre l'utilisation dérivée des données, notamment à des fins sécuritaires. L'application [TraceTogether](#) (Singapour), devenue obligatoire, et dont les données sont utilisables par la police³, constitue un précédent inquiétant. Le même type de tentative a émergé dans d'autres pays comme Israël⁴. Au delà de ce risque de détournement par les états, Dehay et Reardon (2020) montrent comment les outils logiciels du capitalisme de surveillance, habituellement utilisés à des fins essentiellement marketing, notamment analysés par Viseur (2021a), permettraient le développement de systèmes de surveillance des applications de *tracing* en exploitant simplement les *trackers* compatibles Bluetooth d'ores et déjà largement diffusés sur les *smartphones*. D'autres attaques ont été documentées (Vaudenay, 2020a ; Ahmed et al., 2020). White et van Basshuysen (2020) soulignent en particulier le caractère faussement rassurant des solutions décentralisées, elles-mêmes vulnérables, plus complexes que les systèmes centralisés, ces derniers se prêtent par ailleurs à l'analyse et à la gestion des risques (p. ex. audits).

La fiabilité du Bluetooth pour la détection de personnes dans un rayon fixe est critiquée par Leith et Farrell (2020a). Ces derniers ont testé le calcul du voisinage de la technologie GAEN fournie par Apple et Google, utilisée notamment par les applications de *tracing* [Coronalert](#), [Corona-Warn-App](#) et SwissCovid. Les tests, menés dans des trams (Leith et Farrell, 2020a) et des bus, soit des lieux publics où ce type de *contact tracing* est particulièrement utile (il est impossible de recontacter manuellement des personnes contacts en cas de test positif), ont montré une proportion rédhitoire de faux positifs conduisant au constat d'une absence de lien clair entre la distance et l'estimation de celle-ci.

Les applications de *contact tracing* nécessitent une large adoption par la population (Riemer et al., 2020). Le chiffre de 60% de taux d'adoption a été évoqué comme un seuil à atteindre pour que les *apps* de *contact tracing* soient efficaces (Fraser et al., 2020). En effet, la couverture de contacts est proportionnelle au carré du taux d'adoption. Un taux d'adoption élevé est donc nécessaire pour couvrir une part substantielle des contacts. Les auteurs ont par la suite relativisé ce taux de 60 %,

¹ Cf. [lemonde.fr](#).

² Voir par exemple l'avis de la [cnil.fr](#).

³ Cf. [bbc.com](#) et Johnson (2020).

⁴ Cf. [haaretz.com](#).

l'estimant nécessaire pour mettre fin à la pandémie, mais jugeant l'application utile dans la lutte contre la diffusion de la pandémie, même en cas d'adoption plus faible, en combinaison avec d'autres mesures d'endiguement (O'Neill, 2020). Almagor et Picascia (2020) y voient aussi un outil complémentaire aux mécanismes de *contact tracing* manuel.

Les deux dernières critiques soulèvent donc la question de l'impact des applications mobiles de *contact tracing*. L'efficacité d'un dispositif de *contact tracing* peut être mesurée par le nombre de contacts positifs par cas index (formule ϵ). Salathé et al. (2020) ont estimé ce score ϵ pour l'application SwissCovid. Ils arrivent à un résultat comparable à des dispositifs de *tracing* évalués en Corée du Sud ou à Taïwan. L'impact reste cependant limité par la faible diffusion de SwissCovid, estimée à 16,7 % au moment de l'étude, avec comme conséquence un nombre extrêmement limité de cas positifs (65) identifiés grâce à l'application (pour une critique détaillée de SwissCovid : lire Vaudenay, 2020b).

3.3. Adoption

Nous allons maintenant nous intéresser au potentiel de diffusion (limite maximale), à l'estimation de la diffusion ainsi qu'à l'utilité et l'utilisabilité perçues de ces solutions.

3.3.1. Potentiel de diffusion

La diffusion des *apps* de *contact tracing* est limitée par différents facteurs. Premièrement, elles nécessitent un *smartphone* compatible, ce qui suppose, d'une part, la propriété d'un *smartphone* (taux d'équipement), d'autre part, la compatibilité matérielle et logicielle du *smartphone* détenu. Celle-ci est elle-même fonction des parts de marché des systèmes d'exploitation mobile et de leurs différentes versions encore en circulation. Deuxièmement, l'installation du logiciel et sa configuration nécessitent que l'utilisateur dispose de compétences suffisantes. Nous utilisons comme *proxy* de la compétence des utilisateurs la proportion des utilisateurs installant au moins une application par mois sur leur terminal mobile.

Tableau 4. Estimation du potentiel de diffusion.

	Belgique (Coronalert)			France (TousAntiCovid)		
	Total	Android	iOS	Total	Android	iOS
Taux d'équipement	76 %			77 %		
Parts de marché		64,69 %	34,68 %		77,00 %	22,00 %
Compatibilité		84,90 %	92 %		94,10 %	100,00 %
Compétences	49 %			49 %		
Pénétration max.	32,76 %	20,72 %	12,04 %	35,64 %	27,64 %	8,30 %
Couverture	10,73 %			12,70 %		

Sources : CREDOC et Digital Wallonia (taux d'équipement), Digital Wallonia (parts de marché), Google, Le Soir et Phonandroid (compatibilité), comScore (pourcentage d'utilisateurs installant au moins 1 nouvelle application chaque mois).

Le potentiel de diffusion maximal est donc estimé à environ un tiers de la population (cf. Tableau 4) sur base d'un calcul réalisé pour la Belgique et pour la France. Cette limite ne constitue bien sûr pas une limite physique ; par contre, elle fournit une valeur qu'il sera difficile de dépasser sans renouveler le parc de terminaux mobiles ou procéder à un effort en matière de support aux utilisateurs les moins à l'aise avec les procédures d'installation ou de configuration de nouvelles applications sur un *smartphone*.

3.3.2. Estimation de la diffusion

La publication des statistiques de téléchargement par les états n'est pas systématique. De plus, télécharger ne signifie pas activer ni encore utiliser au quotidien. Le tableau ci-dessous, sur base de statistiques partielles pour différentes applications mobiles de *contact tracing*, permet d'estimer le taux de désinstallation à environ 20 % et le taux d'utilisation à environ 60 %. Le taux de pénétration varie entre moins de 10 % pour la Belgique et plus de 35 % pour Singapour (qui se distingue par la distribution d'un jeton à la population peu à l'aise avec les applications mobiles). La population cible est fixée à 80 % de la population totale.

Tableau 5. Diffusion et utilisation des applications de contact tracing (09-11/2020).

	Belgique	France	Suisse	Royaume-Uni	Singapour
Nom :	Coronalert	TousAntiCovid	SwissCovid	NHS COVID-19	Trace Together
Date :	02/10/2020	11/11/2020	04/11/2020	08/10/2020	04/09/2020
Téléchargements	791.000	7.476.505	2.736.921	16.000.000	2.400.000
Population cible	9.194.113	52.800.000	6.856.000	53.016.000	4.967.728
Jetons	0	0	0	0	400.000
Pénétration max.	8,60 %	14,16 %	27,28 %	30,18 %	56,36 %
Couverture max.	0,74 %	2,01 %	7,44 %	9,11 %	31,77 %
Désinstallations		1.500.000			
Désinstallations		20,06 %			
Utilisateurs actifs			1840000		1.400.000
Utilisateurs actifs			67,23 %		58,33 %
Pénétration max.	8,60 %	11,32 %	20,42 %	30,18 %	36,23 %
Couverture max.	0,74 %	1,28 %	4,17 %	9,11 %	13,13 %

Sources : Coronalert (1), TousAntiCovid (1, 2), SwissCovid (1), NHS COVID-19 (1), TraceTogether (1).

Des efforts de transparence sur l'adoption ont été réalisés par la France, qui a dans un second temps publié les statistiques d'activation, et par la Suisse. Pour les pays ne publiant pas de statistiques de téléchargement, nous proposons d'estimer le nombre de téléchargements grâce à la création d'un modèle de régression basé sur les statistiques fournies par les magasins d'applications (toujours accessibles), c'est-à-dire le nombre de commentaires et le score associé aux avis, et les statistiques fournies pour certaines applications, soit via la presse, soit via les sites gouvernementaux (p. ex. SwissCovid et TousAntiCovid). La meilleure régression

est fournie en utilisant le nombre de commentaires de la page dédiée à l'application sur Google Play comme variable prédictive (cf. Tableau 6). Cette méthode d'estimation fournit une piste de solution au manque, notamment relevé par Elkhodr et al. (2021), de données fiables sur l'utilisation et l'efficacité de ces applications.

Tableau 6. Régression linéaire sous R (prédiction du nombre de téléchargements sur base du nombre de commentaires sur Google Play).

```
Call:
lm(formula = DOWNL ~ RATES, data = covid19apps)
Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 1.104e+06  9.286e+05  1.189  0.31987
RATES       1.796e+02  1.598e+01  11.234  0.00151 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 1372000 on 3 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9768, Adjusted R-squared:  0.969
F-statistic: 126.2 on 1 and 3 DF, p-value: 0.001512
Coefficients:
(Intercept)      RATES
1104365.2        179.6
```

3.3.3. Utilité et utilisabilité perçues

L'adoption d'une technologie, notamment traitée par Davis, dépend de son utilisabilité et de son utilité perçues (Bobillier-Chaumon & Dubois, 2009).

Cette question a été traitée dans le cas de l'application Coronalert par une analyse des commentaires associés à l'application Coronalert sur le magasin Google Play (copie des commentaires datée du 20/11/2020 ; n=3145). Cette analyse a notamment permis de mettre en évidence la problématique de l'encodage des cas positifs dans l'application (de manière à ce que les cas contacts soient ensuite automatiquement prévenus). Là où SwissCovid met par exemple en place un système de code Covid à 12 chiffres transmis au patient, le système belge, nécessitant une action du centre de dépistage ou du médecin, se traduit fréquemment par l'absence de remontée de cas positifs et donc le sentiment chez certains utilisateurs frustrés que l'application est en réalité inutile. Ce que reflète le score (3,3/5 au 20/11/2020 et moins de 3/5 au 12/02/2021) associé aux évaluations. Dès lors, un travail sur l'ergonomie de ce dispositif semble essentiel pour exploiter au mieux la base installée et par ailleurs transformer les utilisateurs en ambassadeurs. Ce mécanisme, supposé limiter les risques de faux positifs, et les attaques associées, n'est pas propre à Coronalert et est connu comme un facteur d'accroissement des délais de signalement des contacts positifs (White et al., 2020).

Une enquête a également été réalisée auprès d'un groupe de 977 étudiants belges de Bachelier (Licence) et de Master en économie et gestion avec un taux de réponse de 14,12% (n=138). Le taux d'équipement des étudiants ayant répondu est de 100% tandis que le taux d'installation de Coronalert est de 20% (comparable, voire inférieur, au taux actuellement atteint en Belgique⁵). Parmi ceux ne l'ayant pas

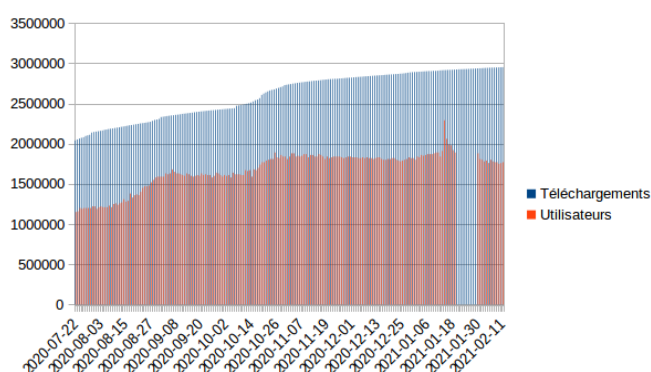
⁵ Munzert et al. (2021) notent également une proportion un peu moindre des 18-29 ans à adopter l'application allemande ainsi que la forte influence de la confiance envers le gouvernement.

installé, 66% n'ont aucune intention de l'installer et 25% s'y refuseraient en cas de recommandation par les autorités universitaires. Si les étudiants restent à 75% sans opinion quant à l'utilisabilité, ils sont 33% à douter de l'efficacité de l'application pour lutter contre la pandémie. Surtout, 46% affirment ne pas avoir confiance en l'application. La pierre d'achoppement concerne essentiellement le principe du *tracing* (parfois confondu avec le *tracking*) et son impact sur la vie privée. Il semble donc que le public étudiant ne soit pas plus réceptif que le reste de la population même si, sans surprise, le taux d'équipement constitue un atout en matière de diffusion. Par contre, nous voyons qu'une action de communication ciblée permettrait d'atteindre un taux de pénétration compris entre 51% et 76%. À noter que ces résultats ont présenté une grande stabilité au fil de l'arrivée des réponses et de la sollicitation des différents groupes d'étudiants.

4. Discussion

Le principe des *apps de contact tracing* affiche une efficacité discutable du fait notamment de la difficulté d'atteindre un taux de diffusion suffisant. Ce taux reste limité par le taux d'équipement (qui est par ailleurs plus faible chez la population à risque des plus de 65 ans), la compatibilité logicielle / matérielle (fonction de l'âge de l'équipement et de ses mises à jour) ainsi que de la capacité de l'utilisateur à installer et configurer de nouvelles applications (p. ex. paramètres Bluetooth). Les statistiques fournies pour l'application SwissCovid depuis juillet 2020 montrent ainsi une évolution lente du nombre de téléchargements mais surtout une stagnation des utilisateurs actifs (cf. Figure 1), avec un taux de pénétration tournant autour des 25 %, une valeur cohérente avec notre estimation du potentiel de pénétration maximale de ce type de dispositif.

Figure 1. Évolution des téléchargements et des utilisateurs actifs pour l'application SwissCovid (données : Federal Office of Public Health).



L'application française StopCovid, pour laquelle des données officielles⁶ sont également publiées, a connu un historique un peu différent. Après une croissance molle (moins de 0,5% de nouvelles activations par jour) à sa création, elle a connu un regain d'intérêt suite à l'allocation du Président Macron puis le *rebranding* TousAntiCovid (22/10/2020), avec une multiplication par 3 du nombre

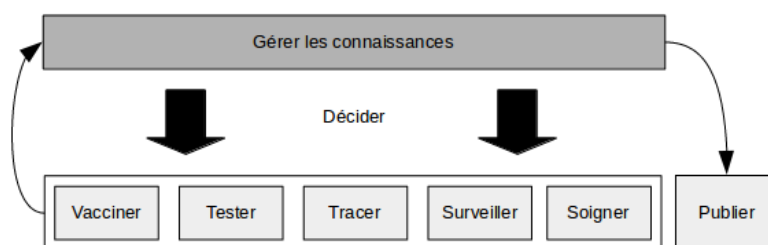
⁶ Cf. data.gouv.fr.

d'enregistrements en 2 semaines. Cependant, depuis janvier 2021, le nombre d'enregistrements stagne à nouveau (environ 0,2% de nouvelles activations quotidiennes) tandis que le taux de pénétration reste également inférieur à 25%.

Comme souligné par Rowe et al. (2020), l'efficacité de la réponse organisée face à la pandémie de la COVID-19 dépend de la gestion des connaissances relatives au virus permettant l'adéquation et l'adaptation des mesures prises. Ainsi, les mécanismes de transmission du virus font l'objet d'un travail continu de mise à jour des connaissances. A ainsi rapidement, et contrairement par exemple au SARS (He et al., 2020), émergé l'importance des présymptomatiques (personnes infectées sans symptôme pendant la période d'incubation mais symptomatiques au delà) dans la transmission du SARS-CoV-2 à l'origine de plus de quarante pour cent des contaminations (He et al., 2020 ; Slifka et al., 2020 ; Lau et Leung, 2020). Au contraire, le rôle des asymptomatiques (personnes infectées ne présentant aucun symptôme), soit environ quinze pour cent des malades (He, Guo et al., 2020), dans la chaîne de contamination a pu être minoré au fil du temps (Madewell et al, 2020 ; Cao et al., 2020). Quant aux modes de transmission du virus, si les contacts, directs ou indirects (*fomite*), et les gouttelettes (*droplets*) font globalement consensus, la contribution éventuelle des aérosols (particules de taille comprise en 5 et 20 μm) au caractère aéroporté (*airborne*) faisait toujours débat en mars 2021 (Greenhalgh et al., 2021 ; Leung, 2021), sans d'ailleurs que ce débat scientifique n'annule l'intérêt d'améliorer la ventilation des lieux clos par exemple (Bhagat et al., 2020).

L'optimisation des mesures nécessite donc un suivi des évolutions dans la compréhension du virus. Le développement d'outils numériques, tels que les applications de *contact tracing*, n'y échappe pas (p. ex. taille du voisinage pris en compte en *proximity tracing*). Parmi ceux-ci, les outils de modélisation occupent une place un peu particulière puisque, d'une part, ils peuvent aider à la compréhension de la propagation de la maladie (p. ex. identification de lieux de contamination ; Chang et al., 2020), à la fixation des priorités (p. ex. stratégie vaccinale ; Bubar et al., 2021), à l'évaluation de nouveaux outils (p. ex. potentiel des outils de *digital contact tracing* ; Ferretti et al., 2020) ou à l'identification des facteurs de succès (p. ex. délai pour tester dans une stratégie tester / tracer / isoler ; Kretzschmar et al., 2020), d'autre part, ils nécessitent la disponibilité de données ainsi que de connaissances à jour pour la fixation des paramètres d'entrée du modèle (p. ex. taux de contamination provenant des présymptomatiques dans une modélisation de *tracing* ; Kretzschmar et al., 2020).

Figure 2. Réponse à la pandémie de la COVID-19 et gestion des connaissances.



Outre l'anticipation des mécanismes d'adoption, bien étudiés dans la littérature, l'efficacité du *tracing* dépend aussi de son intégration dans un dispositif plus large

(Rowe, 2020) susceptible d'évoluer en fonction de l'évolution des connaissances relatives au virus et de devoir être adapté rapidement (agilité) (cf. Figure 2). Dans le cas du *tracing*, et compte tenu des limitations à une diffusion aisée du *proximity tracing*, nous proposons une exploitation plus ciblée du dispositif, susceptible d'atteindre une masse critique locale d'utilisateurs et de servir de terrain d'expérimentation afin d'améliorer la technologie mais aussi le processus dans lequel elle s'intègre. Plutôt que de chercher à atteindre des taux élevés au niveau national, nous discuterons dès lors le ciblage de populations disposant de meilleurs taux d'équipement et d'une appétence plus forte pour les nouvelles technologies. Nous pensons par exemple au public étudiant et à l'inclusion du *proximity tracing* comme un élément de solution pour gérer la réouverture des universités. Depuis le début de la pandémie de la COVID-19, les universités ont connu en effet de longues périodes de fonctionnement en distanciel (Viseur, 2021b), avec à la clef des craintes quant à la qualité des apprentissages et aux effets sur le moral des plus jeunes. Traiter le *tracing* spécifiquement dans les universités se justifie à plusieurs titres. Premièrement, les lieux d'enseignement ressortent comme la seconde source de *clusters* hors établissements de santé (SPF, 2020). Le nombre de cas par *cluster* augmente par ailleurs avec le niveau d'enseignement. L'enseignement supérieur et post-secondaire compte ainsi pour un tiers des *clusters* et pour près de la moitié des *clusters* à criticité élevée (SPF, 2020). Au delà d'un éventuel biais lié à la vigilance en œuvre dans ces établissements, ce résultat peut s'expliquer par le caractère au moins partiellement aéroporté du virus (Leung, 2021) ainsi que par la mauvaise ventilation de certains locaux (Bhagat et al., 2020), en particulier durant les mois froids. Deuxièmement, les moins de 25 ans peuvent être un vecteur de contamination une fois revenus à domicile (cf. Madewell et al., 2020, concernant les transmissions domestiques) au contact de personnes plus fragiles (grands-parents, parents avec comorbidités...). Le risque sanitaire porte moins sur eux-mêmes que sur les personnes côtoyées. En Belgique, les moins de 25 ans représentaient ainsi moins de 0,05 % des morts COVID-19 contre près de 95 % pour les 65 ans et plus (source : Sciensano ; chiffres du 10 novembre 2020). Troisièmement, le fonctionnement des cours en distanciel contraint les enseignants à l'adaptation de leurs enseignements (Viseur, 2021). Si cette expérimentation forcée (utilisation de la visioconférence, évaluation en ligne...) permet une montée en compétences dans le domaine du numérique (p. ex. utilisation des *Learning Management Systems* type Claroline et Moodle), l'expérimentation de nouvelles méthodes pédagogiques (p. ex. classe inversée) et le test de nouveaux logiciels (p. ex. interactivité via Wooclap pour tester la qualité des apprentissages au travers de questionnaires interactifs), elle occasionne aussi une surcharge de travail réalisée au détriment d'autres activités privées (p. ex. vie familiale) ou professionnelles (p. ex. recherche). Quatrièmement, les mesures de confinement et le fonctionnement en distanciel des universités n'est pas sans conséquence sur la qualité des apprentissages (p. ex. décrochages) ni même sur la santé mentale des plus jeunes, suite notamment à leur isolement et au manque de soutien social (De Man et al., 2021 ; Kohls et al., 2021).

Une stratégie d'ouverture des établissements d'enseignement supérieur et universitaire pourrait ainsi s'appuyer sur le *proximity tracing* en combinaison d'autres mesures telles que l'utilisation éthique de *nudges* (p. ex. signalisation dans les locaux, par exemple pour adapter la distanciation sociale, fonction du code couleur en vigueur selon le risque sanitaire⁷ ; cf. Thaler et Sunstein, 2017), le respect strict de protocoles d'occupation des salles (p. ex. désinfection des

⁷ Cf. la [circulaire](#) d'application en Belgique francophone.

équipements et aération régulière des locaux), l'investissement dans des équipements d'assainissement de l'air, l'organisation régulière de tests (p. ex. *pooling* en période de faible incidence et mise à disposition de kits d'auto-prélèvements salivaires⁸) et l'utilisation d'applications de *tracing* pour la rupture des chaînes de transmission. L'efficacité du *tracing* local suppose que, d'une part, l'administration du test soit compatible avec le protocole de remontée de cas positifs dans l'application de *proximity tracing* (p. ex. Coronalert en Belgique), pour permettre un isolement non seulement de la personne positive (quarantaine) mais aussi de ses cas contacts (tant que ces dernières n'ont pas elles-mêmes été testées), d'autre part, que l'adoption soit importante au sein de la communauté universitaire. Une communication ciblée permettrait à première vue de renforcer la base installée jusqu'à atteindre, voire dépasser, le seuil recommandé de 60%. Rowe et al. (2020) ainsi que Zimmermann et al. (2021) suggèrent que les messages diffusés soient basés sur la transparence quant aux processus mis en œuvre, aux finalités poursuivies et à la durée du dispositif. En particulier, elle devrait s'accompagner d'une information sur les fondements techniques des applications de *contact tracing* (p. ex. décentralisation et/ou gardes-fous mis en œuvre en matière de protection des données à caractère personnel). Nous avons également vu qu'une refonte de l'ergonomie, en particulier du dispositif de signalement des cas positifs vérifiés, permettrait d'accroître globalement l'efficacité, donc l'utilité, du dispositif, dès lors de faciliter son adoption.

Conclusion

Cette recherche exploratoire nous a permis de présenter les stratégies de lutte contre la pandémie de la COVID-19 basées sur le numérique et, en particulier, l'utilisation des applications mobiles de *contact tracing*. Les états asiatiques étudiés présentent une meilleure préparation à la pandémie de la COVID-19 due aux pandémies antérieures (SRAS, MERS...). En plus d'une population disciplinée (p. ex. culture du masque) et d'une logistique solide pour la réalisation massive de tests (stratégie « *test/trace/isolate* »), ils disposent de procédures, d'outils et d'une législation adaptés à la lutte contre les pandémies. Les outils numériques sont diversifiés et complémentaires. Ils couvrent notamment le profilage des personnes à risque (p. ex. voyageurs), le *trac(k)ing* des cas contacts (p. ex. identification des *clusters*), la surveillance des cas positifs mis en quarantaine, le suivi à distance des patients, la création de bases de données et la communication (p. ex. lutte contre les *fake news*). Les approches du *trac(k)ing* y sont généralement efficaces mais aussi plus intrusives qu'en Europe.

Sur le plan du numérique, les états européens semblent avoir davantage misés sur les *open data* et le développement d'applications de *contact tracing* jugées plus respectueuses de la vie privée. Ces dernières souffrent cependant de nombreuses limitations à leur diffusion alors qu'il s'agit d'une condition *sine qua non* à leur pleine efficacité. Nous avons vu que les statistiques d'utilisation n'étaient pas systématiquement publiées. Pour pallier ce manque de transparence, nous avons cependant montré qu'il était possible d'estimer le nombre de téléchargements sur base du nombre d'avis postés dans le magasin permettant de télécharger l'application. Ces applications ressortent comme un complément aux outils de *tracing* plus traditionnels. Cibler des populations à risque et à l'aise avec les

⁸ Cf. l'UMONS pour un [exemple](#) en Belgique francophone.

technologies mobiles nous semble cependant une opportunité d'utilisation locale et plus efficace de ces applications, à condition toutefois de simplifier les procédures de remontée des cas positifs.

Bibliographie

- Almagor, J., Picascia, S. (2020). Exploring the effectiveness of a COVID-19 contact tracing app using an agent-based model. *Scientific Report* 10, 22235.
- Ahmed, N., Michelin, R. A., Xue, W., Ruj, S., Malaney, R., Kanhere, S. S., ... & Jha, S. K. (2020). A survey of covid-19 contact tracing apps. *IEEE Access*, 8, 134577-134601.
- Bhagat, R. K., Wykes, M. D., Dalziel, S. B., & Linden, P. F. (2020). Effects of ventilation on the indoor spread of COVID-19. *Journal of Fluid Mechanics*, 903.
- Bobillier-Chaumon, M. E., & Dubois, M. (2009). L'adoption des technologies en situation professionnelle: quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation?. *Le travail humain*, 72(4), 355-382.
- Braithwaite, I., Callender, T., Bullock, M., & Aldridge, R. W. (2020). Automated and partly automated contact tracing: a systematic review to inform the control of COVID-19. *The Lancet Digital Health*.
- Bubar, K. M., Reinholt, K., Kissler, S. M., Lipsitch, M., Cobey, S., Grad, Y. H., & Larremore, D. B. (2021). Model-informed COVID-19 vaccine prioritization strategies by age and serostatus. *Science*, 371(6532), 916-921.
- Cao, S., Gan, Y., Wang, C., Bachmann, M., Wei, S., Gong, J., ... & Lu, Z. (2020). Post-lockdown SARS-CoV-2 nucleic acid screening in nearly ten million residents of Wuhan, China. *Nature communications*, 11(1), 1-7.
- Chang, S., Pierson, E., Koh, P. W., Gerardin, J., Redbird, B., Grusky, D., & Leskovec, J. (2021). Mobility network models of COVID-19 explain inequities and inform reopening. *Nature*, 589(7840), 82-87.
- Dehaye, P. O., & Reardon, J. (2020). Proximity Tracing in an Ecosystem of Surveillance Capitalism. In *Proceedings of the 19th Workshop on Privacy in the Electronic Society*, pp. 191-203.
- De Man, J., Rens, E., Wouters, E., Van Den Broeck, K., Buffel, V., & Lorant, V. (2021). L'effet du confinement lié au Covid-19 sur la santé mentale des jeunes. *Percentile*, 26, 19.
- Dong, E., Du, H., & Gardner, L. (2020). An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. *The Lancet infectious diseases*, 20(5), 533-534.
- Elkhodr, M., Mubin, O., Ifikhar, Z., Masood, M., Alsinglawi, B., Shahid, S., & Alnajjar, F. (2021). Technology, Privacy, and User Opinions of COVID-19 Mobile Apps for Contact Tracing: Systematic Search and Content Analysis. *Journal of Medical Internet Research*, 23(2).
- Ferretti, L., Wymant, C., Kendall, M., Zhao, L., Nurtay, A., Abeler-Dörner, L., ... & Fraser, C. (2020). Quantifying SARS-CoV-2 transmission suggests epidemic control with digital contact tracing. *Science*, 368(6491).
- Fraser, C., Abeler-Dörner, L., Ferretti, L., Parker, M., Kendall, M., & Bonsall, D. (2020). Digital contact tracing: comparing the capabilities of centralised and decentralised data architectures to effectively suppress the COVID-19 epidemic whilst maximising freedom of movement and maintaining privacy. University of Oxford.

- Greenhalgh, T., Jimenez, J. L., Prather, K. A., Tufekci, Z., Fisman, D., & Schooley, R. (2021). Ten scientific reasons in support of airborne transmission of SARS-CoV-2. *The Lancet*.
- He, X., Lau, E. H., Wu, P., Deng, X., Wang, J., Hao, X., ... & Leung, G. M. (2020). Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. *Nature medicine*, 26(5), 672-675.
- He, J., Guo, Y., Mao, R., & Zhang, J. (2020). Proportion of asymptomatic coronavirus disease 2019: A systematic review and meta-analysis. *Journal of medical virology*.
- Jian, S. W., Cheng, H. Y., Huang, X. T., & Liu, D. P. (2020). Contact tracing with digital assistance in Taiwan's COVID-19 outbreak response. *International Journal of Infectious Diseases*, 101, 348-352.
- Johnson, B. (2020). Some prominent exposure apps are slowly rolling back freedoms. *MIT Technology Review*, 23 novembre 2020.
- Johnson, B. (2020). The Covid Tracing Tracker: What's happening in coronavirus apps around the world. *MIT Technology Review*, 16 décembre 2020.
- Kohls, E., Baldofski, S., Moeller, R., Klemm, S. L., & Rummel-Kluge, C. (2021). Mental Health, Social and Emotional Well-Being, and Perceived Burdens of University Students During COVID-19 Pandemic Lockdown in Germany. *Frontiers in Psychiatry*, 12, 441.
- Kretzschmar, M. E., Rozhnova, G., Bootsma, M. C., van Boven, M., van de Wijkert, J. H., & Bonten, M. J. (2020). Impact of delays on effectiveness of contact tracing strategies for COVID-19: a modelling study. *The Lancet Public Health*, 5(8), pp. 452-459.
- Leith, D. J., & Farrell, S. (2020a). Measurement-based evaluation of Google/Apple Exposure Notification API for proximity detection in a light-rail tram. *Plos one*, 15(9).
- Leith, D. J., & Farrell, S. (2020b). Coronavirus Contact Tracing App Privacy: What Data Is Shared by the Singapore OpenTrace App?. In *International Conference on Security and Privacy in Communication Systems* (pp. 80-96). Springer, Cham.
- Leung, N. H. (2021). Transmissibility and transmission of respiratory viruses. *Nature Reviews Microbiology*, 1-18.
- Lau, E. H., & Leung, G. M. (2020). Reply to: Is presymptomatic spread a major contributor to COVID-19 transmission?. *Nature Medicine*, 26(10), 1534-1535.
- Lau, H., Khosrawipour, V., Kocbach, P., Mikolajczyk, A., Schubert, J., Bania, J., & Khosrawipour, T. (2020). The positive impact of lockdown in Wuhan on containing the COVID-19 outbreak in China. *Journal of travel medicine*, 27(3).
- Lin, L., & Hou, Z. (2020). Combat COVID-19 with artificial intelligence and big data. *Journal of travel medicine*, 27(5).
- Madewell, Z. J., Yang, Y., Longini, I. M., Halloran, M. E., & Dean, N. E. (2020). Household Transmission of SARS-CoV-2: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA network open*, 3(12).
- Morley, J., Cowls, J., Taddeo, M., & Floridi, L. (2020). Ethical guidelines for COVID-19 tracing apps. *Nature*, Vol. 582, 4 juin 2020.
- Munzert, S., Selb, P., Gohdes, A., Stoetzer, L. F., & Lowe, W. (2021). Tracking and promoting the usage of a COVID-19 contact tracing app. *Nature Human Behaviour*, 5(2), 247-255.
- O'Neill, P.H. (2020). No, coronavirus apps don't need 60% adoption to be effective. *MIT Technology Review*, 5 juin 2020.

- Pan, X. B. (2020). Application of personal-oriented digital technology in preventing transmission of COVID-19, China. *Irish Journal of Medical Science (1971-)*, 189(4), 1145-1146.
- Park, S., Choi, G. J., & Ko, H. (2020). Information technology-based tracing strategy in response to COVID-19 in South Korea—privacy controversies. *Jama*, 323(21), 2129-2130.
- Riemer, K., Ciriello, R., Peter, S., & Schlagwein, D. (2020). Digital contact-tracing adoption in the COVID-19 pandemic: IT governance for collective action at the societal level. *European Journal of Information Systems*, 29(6), 731-745.
- Rowe, F. (2020). Contact tracing apps and values dilemmas: A privacy paradox in a neo-liberal world. *International Journal of Information Management*, 55, 102178.
- Rowe, F., Ngwenyama, O., & Richet, J. L. (2020). Contact-tracing apps and alienation in the age of COVID-19. *European Journal of Information Systems*, 29(5), 545-562.
- SPF (2020). COVID-19 Point épidémiologique hebdomadaire du 01 octobre 2020, Santé publique France.
- Saglietto, A., D'Ascenzo, F., Zoccai, G. B., & De Ferrari, G. M. (2020). COVID-19 in Europe: the Italian lesson. *Lancet*, 395(10230), 1110-1111.
- Salathé, M., Althaus, C. L., Neher, R., Stringhini, S., Hodcroft, E., Fellay, J., ... & Low, N. (2020). COVID-19 epidemic in Switzerland: on the importance of testing, contact tracing and isolation. *Swiss Medical Weekly*, 150(1112).
- Salathé, M., et al. (2020). Early evidence of effectiveness of digital contact tracing for SARS-CoV-2 in Switzerland. *Swiss Medical Weekly*, 16 décembre 2020.
- Slifka, M. K., & Gao, L. (2020). Is presymptomatic spread a major contributor to COVID-19 transmission?. *Nature Medicine*, 26(10), 1531-1533.
- Summers, J., Cheng, H. Y., Lin, H. H., Barnard, L. T., Kvalsvig, A., Wilson, N., & Baker, M. G. (2020). Potential lessons from the Taiwan and New Zealand health responses to the COVID-19 pandemic. *The Lancet Regional Health-Western Pacific*, 100044.
- Thaler, R. H., & Sunstein, C. R. (2017). *Nudge: la méthode douce pour inspirer la bonne décision*. Vuibert.
- Vaudenay, S. (2020a). Centralize or Decentralized The Contact Tracing Dilemma. EPFL, Lausanne, Suisse.
- Vaudenay, S. (2020b). The Dark Side of SwissCovid. En ligne : <https://lasec.epfl.ch/people/vaudenay/swisscovid.html> (consulté le 07 octobre 2020).
- Viseur, R. (2021a). Du tracking, des contre-mesures et de leur efficacité dans la publicité ciblée. *Revue ouverte d'ingénierie des systèmes d'information*, Volume 2, Numéro 1.
- Viseur, R. (2021b). Transformation pédagogique vers le distanciel en contexte de crise : l'expérience de la COVID-19, 26^{ème} conférence annuelle de l'AIM.
- Wang, C. J., Ng, C. Y., & Brook, R. H. (2020). Response to COVID-19 in Taiwan: big data analytics, new technology, and proactive testing. *Jama*, 323(14), 1341-1342.
- White, L., & Van Basshuysen, P. (2021). Without a trace: Why did corona apps fail?. *Journal of medical ethics*.
- Zimmermann, B. M., Fiske, A., Prainsack, B., Hangel, N., McLennan, S., & Buyx, A. (2021). Early Perceptions of COVID-19 Contact Tracing Apps in German-Speaking Countries: Comparative Mixed Methods Study. *Journal of medical Internet research*, 23(2).

Analyse et conception par patrons de l'équité de systèmes d'information durables

Christophe Ponsard¹, Bérengère Nihoul¹, Mounir Touzani²

1. CETIC - Centre de recherche, Gosselies, Belgique

{christophe.ponsard,berengere.nihoul}@cetic.be

2. Chercheur indépendant, Toulouse, France

mounir.touzani@inrae.fr

RÉSUMÉ. La conception d'un système durable implique des interactions complexes entre les ressources environnementales, les impacts sociaux et les enjeux économiques. Dans un monde contraint, il s'agit d'aboutir à une conception équilibrée sur ces dimensions tout en veillant à éviter une série d'obstacles à l'adoption. Cet article analyse le concept d'équité en utilisant une approche de modélisation couvrant diverses composantes structurées du système d'information au sein d'un méta-modèle de référence incluant : objectifs, hypothèses, réglementation, indicateurs et tâches. À partir d'un ensemble de cas existants, différents patrons d'équité ont pu être identifiés pour assurer des comportements d'adoption, d'anticipation, de justice distributive et de transparence. Ces patrons sont généralisés et documentés dans un embryon de catalogue. Une extension du méta-modèle est proposée afin d'identifier et de raisonner sur les hypothèses et les barrières permettant d'atteindre les valeurs souhaitées. Enfin, une application du travail est présentée pour une conception équitable de la gestion de la crise de la COVID-19.

ABSTRACT. Designing sustainable system involves complex interactions between environmental resources, social impact/adoption, and financial costs/benefits. In a constrained world, this means achieving a balanced design across those dimensions but also inside specific dimensions, e.g. social, to cope with the diversity of users and stakeholders. This paper explores the concept of fairness using a modelling approach based on an reference sustainability meta-model. Starting from a set of existing cases, different fairness patterns were identified to cope with adoption, anticipation, distributive justice, transparency. They were generalised and documented using an existing sustainability template. In the analysis process, a small extension to the meta-model is also proposed to identify and reason on assumptions and barriers to achieve the desired values. Finally, a partial application case study on sustainability aspects of the COVID-19 crisis management is presented.

MOTS-CLÉS : système durable, équité, patron de conception, méta-modèle de durabilité, étude de cas, COVID-19

KEYWORDS: Sustainable system, fairness, design pattern, sustainability meta-model, case study, COVID-19

1. Introduction

La durabilité (ou soutenabilité) est un concept large et multidimensionnel. Le rapport Brundtland des Nations Unies cite : « le développement durable est un processus de changement dans lequel l'exploitation des ressources, la direction des investissements, l'orientation du développement technologique et les changements institutionnels sont tous en harmonie et renforcent le potentiel actuel et futur pour répondre aux besoins et aspirations humains » (United Nations, 1987). Cette exploitation judicieuse des ressources actuelles et de l'avenir de toute l'humanité, a un impact sur la façon dont nous devons concevoir nos systèmes. Les systèmes d'information et les logiciels sont également impliqués : ils sont à la fois à la source de problèmes en termes de leur empreinte environnementale mais contribuent aussi à la mise en place de solutions (Calero, Piattini, 2015). Définir la durabilité d'un logiciel est tout aussi difficile et encore discuté, notamment en termes de fonctionnement à long terme, d'exigences non-fonctionnelles, voire de propriétés émergentes (Venters *et al.*, 2014).

La durabilité implique une notion d'équité dans le processus d'allocation des ressources entre les acteurs impliqués dans le système. Cela se reflète dans la citation de Mahatma Gandhi : « Il y en a assez pour les besoins de tout le monde, mais pas assez pour l'avidité de personne ». Cela signifie également devoir imposer des contraintes dans la manière dont les systèmes sont conçus pour avoir une conception équilibrée, sans nécessairement viser une égalité formelle pure qui n'est pas réalisable en pratique mais pour un équilibre global basé sur une valeur fondamentale comme la solidarité, par exemple, la personne en bonne santé aide le malade, les adultes prennent soin des jeunes et des aînés. Cet exemple de solidarité montre que tout le monde est susceptible de passer par ces différents rôles. Cette approche est également mise en avant par la justice sociale ou distributive (Rawls, 1971 ; Maiese, 2013). Définir l'équité est tout aussi difficile que la durabilité parce que, selon les cultures, les interprétations de l'équité diffèrent. Chaque société a des notions claires de ce qui est juste et injuste et produit des règles et des normes compréhensibles. Essentiellement, il semble juste que ceux qui « méritent » les choses les obtiennent et que ceux qui « ne les méritent pas » ne les reçoivent pas (Wallace, 2016). Au niveau informatique, l'équité a une définition technique dans laquelle une séquence infinie doit toujours voir se réaliser une propriété énoncée (après un temps « suffisamment » long) (Francez, 1986).

Dans le cadre de cet article, notre intérêt va bien au-delà de la pure définition technique car nous devons notamment saisir la dimension sociale. Notre objectif est de tenter d'identifier comment les exigences d'équité peuvent être identifiées et gérées avec succès dans des systèmes complexes composés de différents types d'utilisateurs, de parties prenantes et de logiciels devant traiter des règles connexes. Notre but ultime est de produire une base de connaissances structurée facilement, réutilisable et mobilisable pour aider à analyser et arbitrer des décisions sur l'organisation de systèmes incluant une dimension d'équité et qui s'inscrit dans un cadre plus général de durabilité. Nous présentons ici un travail basé sur l'analyse d'un certain nombre de cas jugés intéressants qui contiennent des exigences d'équité. Ceux-ci sont issus de notre

propre équipe ou d'autres équipes actives sur cette thématique et ayant rapportés leurs travaux dans la littérature.

Nous adoptons une approche basée sur un modèle de référence pour évaluer la durabilité (Kienzle *et al.*, 2019). Bien que les cas identifiés puissent être modélisés dans divers cadres d'ingénierie des exigences (IE) tels que i^* (Yu, Mylopoulos, 1997), KAOS (Lamsweerde, 2009), URN/GRL (ITU, 2012) ou même en texte pur, nous effectuons notre analyse sur la base d'un méta-modèle générique de durabilité et de notations graphiques capables de capturer différents aspects de la durabilité (Penzstadler, Femmer, 2013). **Une première contribution est une extension du méta-modèle pour raisonner sur les barrières possibles. Notre principale contribution est d'identifier et de documenter un certain nombre de patrons d'équité basés sur nos cas d'étude.** Afin de les rendre réutilisables, nous tentons de les organiser dans une structure logique qui est encore sujette à évolution et à révision mais qui est documentée selon un modèle proposé de patrons pour la durabilité (Roher, Richardson, 2013). Enfin, pour illustrer l'utilisation de nos patrons, ce modèle est appliqué sur un modèle partiel de gestion durable et équitable de la crise de la COVID-19.

Le document est structuré comme suit : la section 2 décrit notre approche méthodologique. La section 3 rappelle les notations, introduit notre extension et illustre le processus d'élucidation sur un premier cas issu du domaine hospitalier. La section 4 présente jusqu'ici des patrons d'équité. Dans la section 5, nous présentons notre cas de validation sur la crise de la COVID-19, suivi d'une discussion autour des résultats dans la section 6. Enfin, nous terminons par une conclusion et nos travaux futurs.

2. Approche méthodologique

La constitution et la structuration d'une base de connaissances est un travail de longue haleine dont nous posons ici les fondations. L'approche globale est que, face à un problème (ici d'équité), l'identification de pistes de solutions répondant à certaines caractéristiques puisse s'appuyer sur de bonnes pratiques éprouvées par d'autres en bénéficiant de retours d'expérience sur leurs bénéfices et limites. Une technique reconnue est l'utilisation de **patrons de conception (design patterns)** trouvant ses racines dans le domaine architectural et utilisé avec succès pour des systèmes logiciels (Gamma *et al.*, 1995). Une telle approche a été proposée pour la durabilité et nous nous appuyons dessus (Roher, Richardson, 2013). Ces patrons suivent un modèle de présentation structuré permettant de faire le lien entre une problématique, une solution générale, une guidance pour l'appliquer et la combiner avec d'autres patrons éventuellement pertinents à mobiliser. La section 4 adopte ce modèle de présentation :

- **Résumé** - Vue d'ensemble de l'intention, des principales dimensions et valeurs.
- **Applicabilité** - Contexte dont le patron est approprié ou non.
- **Contenu** - Aspects à considérer pour une exigence dérivée de ce patron, à travers des attributs, capacités, caractéristiques ou qualités claires du système.
- **Archétype** - Description de patron exprimée de manière générique.

- **Exemple** - Instanciation typique, basée sur des cas d'étude.
- **Discussion** - Explication plus détaillée et assistance pour la mise en oeuvre. Cette partie ne sera pas développée dans nos illustrations en raison de l'espace limité.
- **Patrons associés** - Interactions / combinaisons possibles avec d'autres patrons.

Une limitation du référentiel existant de patrons est qu'il s'agit d'une approche textuelle. Afin de permettre une meilleure précision et communication de la description du patron, l'archétype est décrit à l'aide d'**un méta-modèle de durabilité couplé avec des notations graphiques**(Penzenstadler, Femmer, 2013). Celui-ci permet de capturer les différentes dimensions de la durabilité, des valeurs, des tâches, de la réglementation et des métriques. Ce modèle présente cependant quelques limitations pour identifier des obstacles ou des hypothèses importantes à considérer pour la mise en place de certaines solutions. La section 3 détaille une extension à ce méta-modèle ainsi que quelques notations graphiques complémentaires.

La démarche de peuplement et de structuration de la base de connaissances est une démarche progressive ancrée dans l'analyse de systèmes existants. Afin d'amorcer ce processus, nous avons puisé dans un ensemble de projets menés en Belgique par le CETIC. Nous avons également analysé des études de cas ayant une dimension d'équité et publiées dans la littérature. Tout ces cas sont caractérisés dans le tableau 1 en termes de domaine, langage de modélisation et aspects couverts. Chaque cas est analysé selon la démarche suivante :

- Identification de valeurs, réglementations ou hypothèses liées à l'équité, en analysant notamment les notions d'équilibre, de répartition ou d'arbitrage.
- Analyse de modèles existants (éventuellement dans des notations IE apparentées) ou modélisation a posteriori en fonction du niveau d'information disponible.
- Analyse d'indicateurs métier afin de déterminer s'ils ont un lien explicite ou implicite avec des notions d'équité.
- Identification de stratégies récurrentes entre plusieurs cas d'étude, par exemple, en rapport avec la définition de règles, leur transparence, le processus d'adhésion, etc.

Tableau 1. Caractérisation des cas d'étude utilisés

Sujet	Dimension	Notation	Référence	Questions
Égalité	sociale	Sust. MM	(Hinai, Chitchyan, 2015)	genre, socio-culturel, égalité sociale
Impôts	sociale, financière	textuelle	(Saad, 2010)	juridique, compréhension
Logement social	sociale, financière	conceptuelle	(Jonkman, 2020)	justice distributive, Abordabilité
Hôpital de jour en oncologie	sociale, financière	KAOS	(Ponsard, Landtsheer, 2018)	impact médical, éthique, gestion de la charge du personnel
eCommerce	sociale, financière	GRL	(Pourshahid, Tran, 2007)	confiance, honnêteté
Service de nuit	sociale, financière	textuelle	(Ponsard, Landtsheer, 2018)	règles juridiques, profils de personnes, monde fermé, transparence
Voiture partagée	social, environnementale, financière	KAOS	(Ponsard <i>et al.</i> , 2018)	partage client gratifiant, charge de chauffeurs, règles légales
Accessibilité	sociale, financière	KAOS	(Ponsard, Darimont, 2017)	non-discrimination, bâtiments neufs ou anciens, disponibilité des informations

3. Notations de modélisation

La figure 1 reprend les concepts clés du méta-modèle de référence de durabilité (Penzenstadler, Femmer, 2013) : *Dimension*, *Valeur*, *Indicateur*, *Régulation* et *Activité*. **Dimension** est un point de vue composé d'un ensemble de valeurs exprimant les objectifs de haut niveau de cette dimension. **Valeur** est un motif porteur de sens pour la dimension concernée. Cette valeur est évaluée par des indicateurs et peut être décomposée hiérarchiquement en sous-valeurs. **Indicateur** est une métrique qualitative ou quantitative liée à une valeur. **Régulation** est un élément externe qui affecte une valeur. **Activité** est un moyen opérationnel de réaliser ou d'influencer une valeur. Ces notations partagent des similarités et influences avec les diagrammes de buts ou d'objectifs très utilisés en Ingénierie des Exigences (IE), notamment la notion de décomposition (Lamsweerde, 2001).

Le méta-modèle présenté comporte également certaines extensions. Il intègre notamment le concept d'*Obstacle* qui est défini comme une barrière à une *Valeur*. Comme illustré par la figure 1, un obstacle est graphiquement appliqué sur la valeur impactée avec une icône dénotant une explosion. Il peut être traité par une *Activité* spécifique qui permet de mitiger ses impacts, voire de l'éliminer complètement selon la stratégie adoptée. Une autre extension est le concept d'*Hypothèse* qui capture un comportement devant être satisfait pour que la *Valeur* concernée soit assurée sans pour autant que le système ne l'impose. Ces hypothèses doivent faire l'objet d'attentions spécifiques sur leur formulation ou validation. On note ici aussi l'influence de l'IE sur ces extensions permettant un meilleur raisonnement sur le réalisme des modèles.

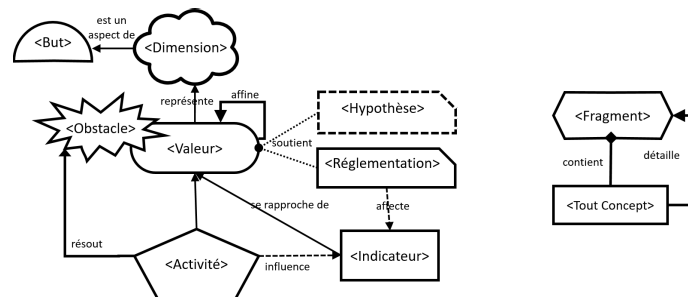


Figure 1. Méta-modèle étendu pour les barrières, les hypothèses et la modularité

Enfin, pour permettre une modularité et capturer des parties de modèles, on introduit le concept de « *Fragment* » comme montré dans droite de la figure 1. Un fragment peut contenir tout type d'élément de modèle détaillé dans un diagramme dédié. Ce fragment peut ensuite être lié à un élément de modèle d'un diagramme qui l'importe. Il peut également être rendu générique, en formant alors un *Patron* réutilisable qui pourra être instancié dans un contexte spécifique.

La figure 2 illustre l'application de ces notations sur une étude de cas de parcours de soins (Ponsard, Landtsheer, 2018) détaillée dans le tableau 1. Les dimensions humaines, sociales et économiques sont présentes. Du côté humain, une qualité de soins

maximale est attendue. Cependant, en raison de la capacité limitée (qui ne peut être résolue financièrement), une valeur sociale de qualité de soins équitable pour tous les patients est définie. Cela signifie que tous les patients sont traités équitablement afin de garantir l'efficacité de leur traitement qui peut nécessiter le respect d'un timing bien défini, exprimé par une réglementation (par exemple, éviter d'augmenter le risque en cas de rechute du cancer). Les patients sont également tenus de respecter leurs rendez-vous dans leur propre intérêt et parce que le ré-échelonnement peut avoir un impact sur d'autres patients ou augmenter la charge du personnel et générer ainsi des heures supplémentaires. Globalement, la charge est répartie équitablement entre le personnel avec une attention particulière aux heures supplémentaires.

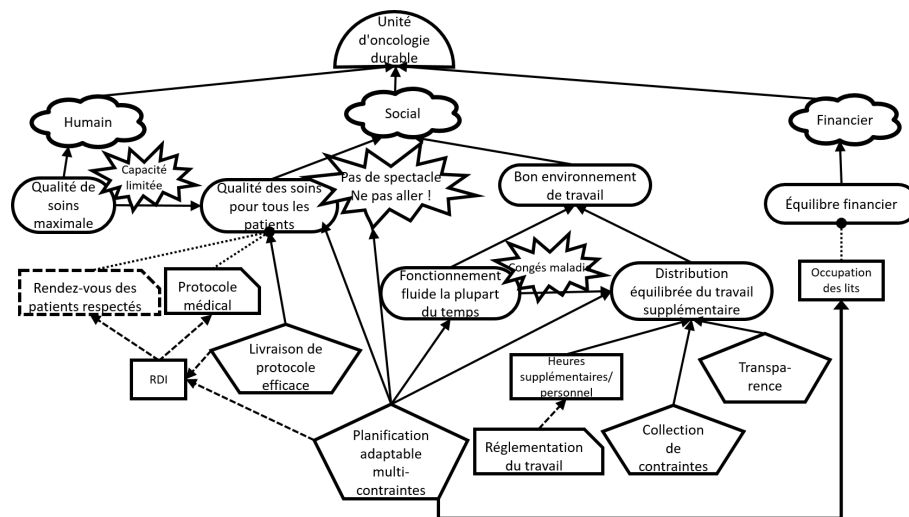


Figure 2. Modèle de l'unité de soins de jour en oncologie

Pour surveiller l'équité, deux indicateurs principaux sont utilisés. Le premier est le RDI (Relative Dose Intensity). C'est un indicateur médical qui indique dans quelle mesure le parcours d'un patient adhère au schéma théorique en termes de respect des délais et des doses requises. Il doit être aussi proche que possible de « 1 » avec une variance minimale entre les patients pour garantir l'équité. Le deuxième concerne la charge du personnel dont la répartition des heures supplémentaires doit être suivie. Le volume de ces heures doit être similaire pour tous les membres du personnel, en tenant compte de leur taux d'occupation. L'analyse de cet exemple révèle différents aspects d'équité liés à la conformité, l'adhérence et une traçabilité basée sur une série d'indicateurs mesurables dont certains peuvent même être publiés à des fins de transparence, par exemple, pour une planification équitable des heures supplémentaires (Ponsard, Landtsheer, 2018).

4. Documentation de patrons d'équité

Cette section documente les patrons découverts à partir de la liste des cas du tableau 1. Les patrons actuellement identifiés sont présentés selon le modèle décrit à la section 1 et son archétype est décrit à l'aide des notations décrites à la section 2. La documentation actuelle forme un **embryon de catalogue**. Ce catalogue peut se structurer via certains patrons structurants par rapport à d'autres via les mécanismes de modularité ou de patrons apparentés décrits précédemment. **Dans sa version actuelle, le patron initial fait office de table des matières et permet de guider dans l'identification d'un patron en suivant une certaine stratégie de décomposition.** Un ordre de présentation est utilisé si un patron peut être ordonné selon une séquence temporelle. Notons aussi que certains patrons sont identifiés mais ne sont pas encore détaillés à ce stade de leur consolidation.

4.1. Patron d'adoption de règles équitables

Résumé - Ce patron met en évidence la structure pour un déploiement équitable d'un système basé sur des règles afin de maximiser les chances d'adoption.

Applicabilité - Mise en place ou évolution d'un système reposant sur un ensemble de règles applicables à un large public.

Contenu - Les règles doivent être qualifiées en fonction du public ciblé. Des indicateurs importants tels que la diversité, l'engagement et le niveau de précision des règles doivent être quantifiés.

Archétype - La figure 3 montre la structure globale composée de trois valeurs principales liées à l'acceptation des règles, à la garantie d'une mise en œuvre correcte et au maintien du fonctionnement dans des limites réalisables.

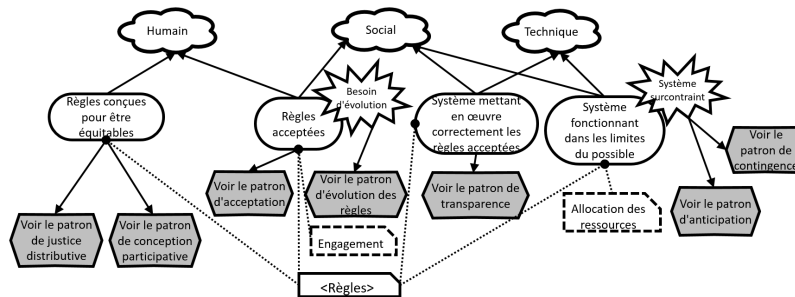


Figure 3. Patron d'adoption de règles équitables

Exemples - Planification des équipes de nuit, gestion du trafic, règles COVID.

Patrons associés - Justice distributive, conception participative, évolution des règles, transparence, anticipation, contingence.

4.2. Patron de justice distributive

Résumé - La justice distributive concerne la répartition équitable des ressources (matériel ou services) entre les divers membres d'une communauté. Elle prend en compte la quantité totale de marchandises à distribuer, la procédure de distribution (par exemple, égalité, équité, besoin, responsabilité) et le patron de distribution qui en résulte (Maiese, 2013).

Applicabilité - Le patron prend en charge différents modèles de valeur dont l'applicabilité dépend du contexte et implique différents indicateurs.

Contenu - Les caractéristiques et les besoins de la communauté doivent être évalués pour sélectionner les valeurs sur lesquelles la répartition doit porter.

Archétype - La figure 4 montre la décomposition des modèles de valeurs en arborescence avec des activités et des indicateurs dédiés. Une distribution égale met l'accent sur un sentiment d'appartenance à part entière. L'équité favorise la motivation à produire grâce à une rémunération proportionnelle. La distribution en fonction des besoins garantit que les besoins de base et essentiels communs sont satisfaits et contribuent à la fois au bien-être individuel et aussi à une réduction des risques de violence pénale et politique (Maiese, 2013).

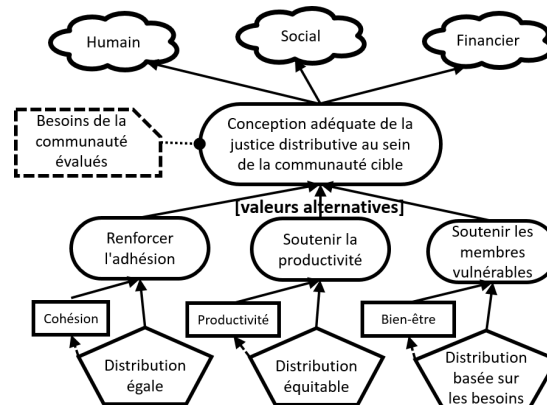


Figure 4. Patron de justice distributive

Exemple - Réglementation du travail, règles fiscales.

Patron associé - Adoption de règles équitables, participatives (non détaillée).

4.3. Patron d'acceptation des règles

Résumé - Ce patron traite l'acceptation de l'équité des règles applicables à un système considéré.

Applicabilité - Phase d'acceptation, initiale ou ultérieure. Par exemple, après détection d'évolution ou de dégradation.

Contenu - Les règles doivent être nuancées en fonction du public ciblé. Des indicateurs importants tels que la diversité, l'engagement et le niveau de précision des règles doivent être quantifiés.

Archétype - La figure 5 montre la décomposition des principales valeurs d'acceptation en trois sous-valeurs avec une action propre. Un jalon temporel global est utilisé pour s'assurer que les règles sont compréhensibles, comprises et acceptées. Des itérations sont possibles pour atteindre l'acceptation.

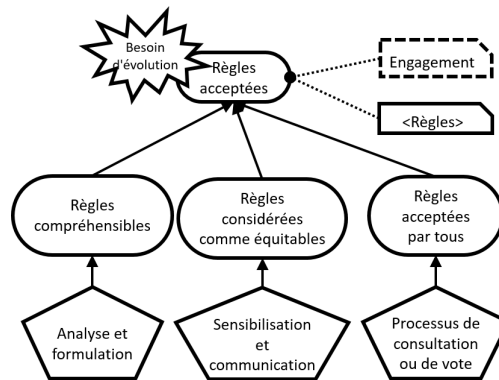


Figure 5. Patron d'acceptation des règles

Exemple - Réglementation du travail, règles fiscales.

Patron associé - Adoption de règles équitables (partie de).

4.4. Patron d'anticipation de violation

Résumé - Ce patron traite la détection de la violation d'une condition (ici l'équité mais applicable plus largement). Lorsque le risque de violation est présent, ce patron peut l'anticiper et ainsi éviter la survenue de la violation grâce à une mesure adéquate.

Applicabilité - La propriété considérée (ici l'équité) doit être prévisible à travers un modèle (lié aux règles et au domaine) et des données collectables. Le déploiement de mesures correctives nécessite un temps de réaction suffisant.

Contenu - Modèle prédictif (oracle, simulateur, jumeau numérique ...) et données pour l'alimenter.

Archétype - La figure 5 montre la décomposition du patron de violation en deux étapes principales : la détection et la réaction. La phase de détection repose sur les tâches de simulation et les données de facteur de charge. La phase de réaction peut poursuivre plusieurs stratégies comme essayer d'augmenter les ressources, d'équilibrer ou de reporter la charge pour s'assurer de rétablir la capacité de couvrir tous les besoins sans générer de situation injuste.

Exemple - Gestion des capacités hospitalières, ressources humaines.

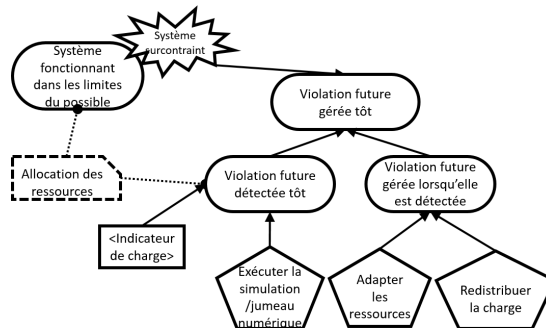


Figure 6. Patron d'anticipation de violation

Patron associé - Adoption de règles équitables (partie de).

4.5. Patron de transparence

Résumé - Ce patron permet d'assurer la transparence des opérations en ce qui concerne certaines informations devant être partagées entre le public cible, en lien avec l'équité dans notre cas.

Applicabilité - La transparence est requise dans un environnement concurrentiel avec un faible niveau de confiance ou en cas d'exigence légale.

Contenu - Indicateur à mettre à disposition de la communauté.

Archétype - La figure 5 montre comment la transparence peut être obtenue à différents niveaux : par un audit de processus, une inspection logicielle à l'aide de tests ou de code (open) source, ou encore en publiant des preuves.

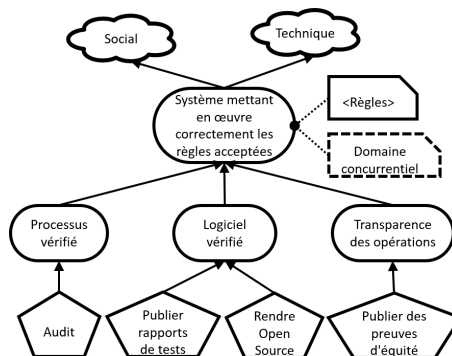


Figure 7. Patron de transparence

Exemple - Horaires des équipes de nuit (horaires globaux et trace explicative des règles appliquées par le logiciel).

Patron associé - Adoption de règles équitables (partie de).

5. Validation - Cas de la pandémie COVID-19

Nous montrons ici comment appliquer certains des patrons documentés dans la section précédente à un cas touchant tout le monde depuis 2020 : la gestion de la crise liée à la pandémie COVID-19.

5.1. Phase(s) de confinement

La figure 8 montre notre modèle global avec des valeurs et des activités selon le méta-modèle adopté et des notations dans une perspective de gestion juste et durable de la crise. Notons que ce premier modèle a été établi durant l'été 2020 dans une phase dans laquelle les vaccins n'étaient pas encore disponibles, il faut prévoir cependant un fragment spécifique pour traiter la stratégie de vaccination.

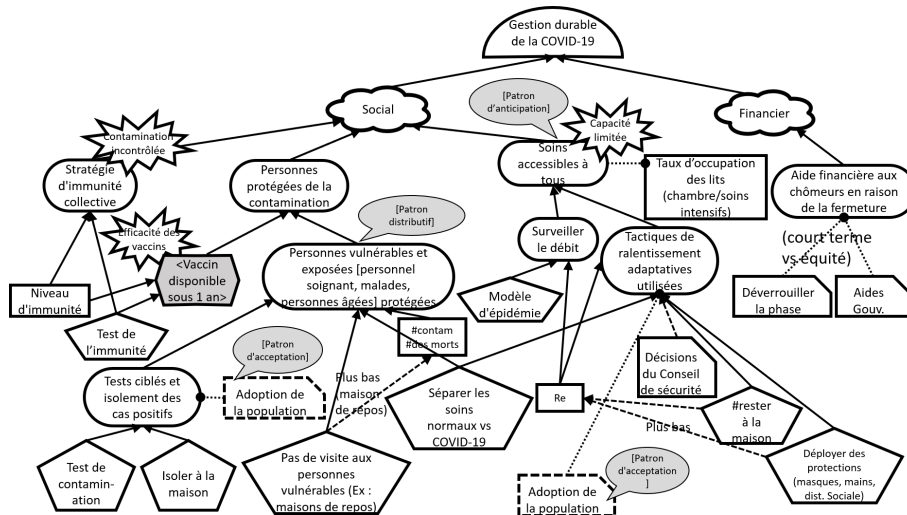


Figure 8. Analyse partielle de la phase de confinement de la crise liée à la COVID-19 du point de vue de l'équité

À la gauche du diagramme, les obstacles à l'immunité collective (à risque) et au vaccin (à long terme) sont d'abord identifiés pour ensuite se concentrer sur l'ensemble des mesures actuellement largement appliquées. Le décodage de la décomposition des différentes valeurs révèle l'application de différents patrons qui sont identifiés à l'aide d'étiquettes grises en forme de ballonnet.

- La protection des membres les plus vulnérables est un patron de justice distributive orienté vers ces personnes. Les activités pour les protéger sont identifiées.
- Le succès de l'approche dépend de l'acceptation des personnes comme souligné dans la communication officielle appelant à la responsabilité réciproque des citoyens et à l'équité (Biddle, 2020) (Illes, Cameron, 2020). Ceci est capturé par une hypothèse qui peut être développée au préalable dans notre modèle en utilisant notre patron d'ac-

ception de règles. A noter dans ce cas que l'acceptation spécifique au domaine pour des restrictions strictes peut être tirée de la psychologie, par exemple, fournir un objectif et donner de la visibilité (voir patron de transparence).

- Un accès équitable aux soins signifie que le système doit fonctionner dans les limites de ses ressources et donc anticiper la surcharge. Cela signifie qu'il faut contrôler la pandémie en « aplatisant la courbe de contamination » qui est mesurée grâce désormais au célèbre indice « Re » mesurant le nombre moyen de personnes contaminées par une personne positive et qui doit être maintenu en dessous de 1. L'indice « Re » est surveillé et un modèle épidémique permet d'évaluer la manière dont le système supporte la crise à partir d'un ensemble de mesures (hygiène, masques, distanciation sociale, verrouillage, etc.) qui sont continuellement évaluées et adaptées, en tenant compte de la latence de la maladie d'environ 2 semaines.

- Le respect de ces mesures, notamment le confinement de personnes positives ou avec un risque spécifique de l'être nécessite un patron d'acceptation des règles afin de s'assurer de l'adhésion de la population.

5.2. Phase(s) de vaccination

Depuis fin 2020, la phase de vaccination a été déployée et sa mise en oeuvre révèle également une série de patrons intéressants représentés par la figure 9. Celle-ci ne détaille pas toutes les actions possibles pour une mise en oeuvre complète et robuste de la vaccination qui nécessiterait une décomposition en d'autres diagrammes mais en esquisse les principales afin de rendre les décompositions compréhensibles.

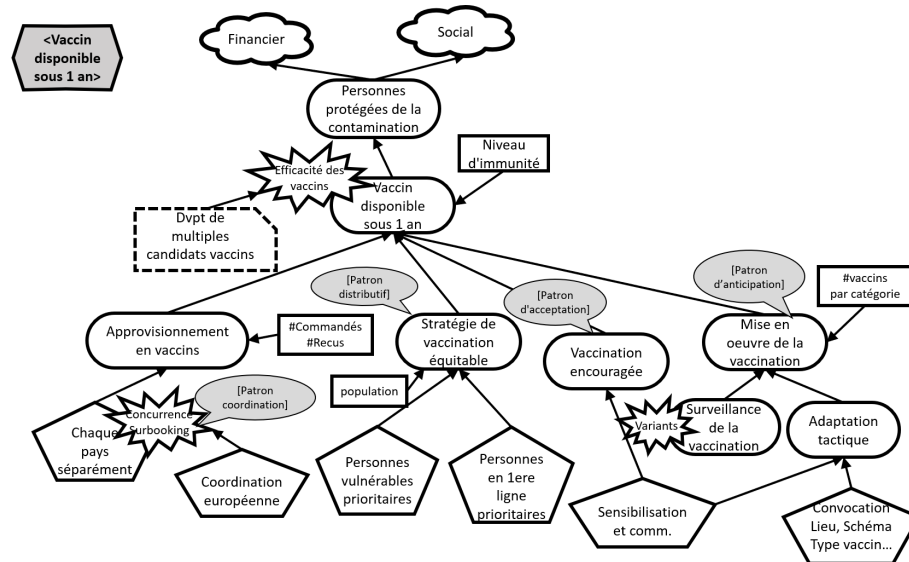


Figure 9. Analyse partielle de la phase de vaccination de la crise liée à la COVID-19 du point de vue de l'équité

La valeur décomposée ici est l'atteinte de la vaccination de la population. Ceci était envisagée après un temps minimal d'un an qui a pu être atteint grâce aux efforts colossaux de la recherche mise en oeuvre au niveau mondial et qui a permis d'explorer en parallèle de multiples candidats vaccins. Ce point est capturé par une hypothèse qui a effectivement été mise en oeuvre. La vaccination elle-même peut dès lors s'appuyer sur l'existence d'une panoplie de vaccins (en faisant abstraction des phases d'autorisation). Elle suit une décomposition formée des jalons suivants :

- L'approvisionnement en vaccins est sujet à des problèmes d'équité qui sont très problématiques dans une approche multi-latérale où chaque pays devrait tenter de s'approvisionner lui-même chez une ou plusieurs entreprises pharmaceutiques : les pays se verraient en concurrence avec une montée des prix favorisant les plus riches, de même qu'un risque accru de commandes excessives pour sécuriser un approvisionnement minimal, voire des risques de dérives tels que cela a été le cas pour les approvisionnements en masques qui ont suivi un tel schéma et qui ont vu des pays voler des cargaisons d'autres pays sur les tarmacs des aéroports. En réaction à ces dangers, une approche centralisée basée sur un patron de coordination est préférable. Elle a été mise en oeuvre avec une coordination européenne même s'il reste des aspects de concurrence entre des blocs internationaux qui ne se positionnent cependant pas totalement sur les mêmes vaccins.

- La stratégie de vaccination, tout comme celle de la protection des populations lors de la première phase, vise à protéger les personnes les plus vulnérables et exposées. Cette stratégie suit donc le même patron de justice distributive afin de déterminer les priorités de vaccination.

- La vaccination n'est pas obligatoire : aucun pays ne semble l'avoir imposé, en préférant miser sur l'adhésion des populations. Il faut dès lors mettre en oeuvre un patron s'assurant de cette adhésion, notamment en mettant en oeuvre des campagnes de sensibilisation et de communication comme identifié dans ce patron.

- Enfin, la vaccination elle-même doit se faire à un rythme soutenu afin de réduire au plus vite les risques d'infection et d'atteindre en définitive un stade d'immunité collective. Le processus doit être adaptatif afin de prendre en compte l'évolution de la réalité sur le terrain. Ainsi, l'apparition de variants amène à envisager une adaptation du schéma de vaccination (espacement des doses, types de vaccins), de nouveaux essais cliniques permettant d'envisager d'élargir les vaccins pour certaines tranches de population, un dispositif de convocation et les ressources de vaccination doivent être maintenus les mieux alignés possible afin de maintenir un rythme élevé tout en s'assurant que toute personne convoquée reçoive sa dose le jour de son rendez-vous.

6. Discussion

Ce travail montre l'intérêt des patrons de conception dont certains ont été appliqués à de multiples reprises et assez systématiquement sur diverses parties d'un modèle. Le travail réalisé reste cependant encore partiel et nécessite d'une part d'enrichir la liste des patrons mais aussi d'en améliorer la documentation. En effet, ce type de biblio-

thèque doit être revu et adopté par toute une communauté. C'est en collectant une multitude de retours d'expériences qu'elle peut véritablement devenir intéressante. À ce stade, la plupart des travaux ont été consacrés plus à de l'analyse qu'à l'application et il est difficile d'estimer l'utilité des patrons identifiés. Cependant, nous pouvons souligner certains facteurs importants tels que le partage, l'évaluation de l'apprentissage du « ROI » ou retour sur investissement, l'instanciation par rapport à l'analyse à partir de zéro et l'intégration des contributions dans un ensemble plus large de connaissances. Du point de vue perspective de recherche, cela a déjà suscité de nombreuses questions intéressantes à la fois liées au thème de l'équité qui fait l'objet de ce travail mais aussi plus généralement à l'approche globale. L'étude de cas COVID-19 que nous avons mené en deux phases espacées de quelques mois (phases de confinement puis de vaccination) a aussi permis d'acquérir un peu de recul et de confirmer l'utilité de la librairie sur la seconde phase.

Concernant le langage lui-même, il est centré sur le concept clé de valeur exprimée comme un bien moral ou naturel, perçu comme l'expression d'une dimension spécifique (Penzenstadler, 2013). En substance, il partage des similitudes avec le concept de but qui saisit, à différents niveaux d'abstraction, les différents objectifs que le système considéré devrait atteindre (c'est-à-dire les propriétés prescriptives) (Lamsweerde, 2001). Les deux concepts à l'échelle du système, expriment une notion de mesure de la satisfaction et peuvent être affinés en concepts plus concrets du même type. Les valeurs peuvent également ressembler à des exigences non fonctionnelles (par exemple, la maintenabilité, l'utilisation à long terme), ce qui n'est pas surprenant car une définition possible de la durabilité en dépend. La notion d'objectif spécifique à l'entreprise est également explicitement utilisée pour illustrer la notion de valeur. Une difficulté pour le public familiarisé avec la modélisation d'objectifs est d'éviter d'utiliser la notation comme arbres d'objectifs. À cet égard, les patrons proposés ne sont probablement pas parfaits. Une liste de contrôle consiste à garder à l'esprit le lien avec les dimensions de durabilité, l'expression des qualités spécifiques liées à la durabilité ou l'accent mis sur la notion de ressource.

L'approche proposée peut également traiter d'autres aspects que la dimension d'équité. Aussi, l'égalité a déjà été considérée dans (Hinai, Chitchyan, 2015). Une approche naturelle consiste à se focaliser sur la notion de ressource, caractérisant sa nature (renouvelable, réutilisable, jetable...), la transparence de l'empreinte environnementale, la maîtrise de son usage (alternatives, évitement, optimisation, réutilisation...). Certains de ces patrons ont été documentés dans (Hinai, Chitchyan, 2015). Certains patrons identifiés ici sont également directement liés par exemple à notre patron d'anticipation qui vise directement à éviter la pénurie de ressources. Il est également intéressant de l'appliquer à un champ d'application plus large afin d'évaluer l'extension proposée du méta-modèle et l'améliorer davantage si nécessaire, tout en la gardant simple et axée sur le raisonnement de la durabilité. Des langages d'objectifs plus spécifiques peuvent entrer en jeu pour soutenir une analyse de conception ultérieure et plus détaillée du système envisagé.

7. Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous avons identifié et documenté un certain nombre de patrons de durabilité abordant l'équité sur la base de différents cas de la littérature et de plusieurs expériences personnelles. Nous nous sommes appuyés sur un modèle existant et des notations pour lesquelles nous avons contribué avec une extension. Deux cas ont été illustrés respectivement dans l'élucidation des patrons et la validation des phases.

A ce stade, nos travaux en cours ont révélé un réel potentiel pour rassembler et réutiliser de la connaissance sur la problématique de l'équité. Bien que notre **catalogue** soit encore très partiel, la modularité mise en place s'est aussi avérée utile pour structurer un catalogue et a permis d'enrichir et affiner la classification. Les mécanismes de raffinement par buts et d'évitement d'obstacles empruntés à l'IE permettent aussi d'envisager des techniques d'application (par raffinement, par mise en correspondance, par remise en question d'une valeur...) et de donner certaines garanties de complétude, bien que ce sujet nécessite des recherches complémentaires. A travers cet article, nous espérons susciter des commentaires sur la manière de structurer et présenter les patrons d'équité et plus largement de durabilité afin de produire en définitive un catalogue suffisant de connaissances réutilisables en la matière. À partir de là, un meilleur outillage soutenant la collaboration pourrait être envisagé au-delà des simples outils de dessin vectoriel mis en oeuvre jusqu'à présent.

Remerciements

Ces travaux ont été en partie financés par le projet de co-innovation IDEES Région wallonne (subvention no ETR121200001379). Merci aux évaluateurs pour leurs commentaires et suggestions.

Bibliographie

- Biddle S. (2020). <https://quickreads.kemplittle.com/post/102g76f>.
- Calero C., Piattini M. (2015). *Green in software engineering*. Springer International Publishing.
- Francez N. (1986). *Fairness* (1^{re} éd.). Springer-Verlag New York.
- Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J. (1995). *Design patterns: Elements of reusable object-oriented software*. USA, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- Hinai M. A., Chitchyan R. (2015). Building social sustainability into software: Case of equality. In *Fifth IEEE Int. Workshop on Requirements Patterns, RePa, Ottawa, ON, Canada*.
- Illes J., Cameron M. (2020). *Politicians appeal to our sense of fairness in the battle against covid-19*. <http://bit.do/covid-call-for-fairness>.
- ITU. (2012). *Z.151, User Requirements Notation (URN), Language Def.*
- Jonkman A. (2020). Patterns of distributive justice: social housing and the search for market dynamism in Amsterdam. *Housing Studies*, p. 1-32.

- Kienzle J. et al. (2019). *Towards Model-Driven Sustainability Evaluation*. Communications of the ACM, p. 1-10.
- Lamsweerde A. van. (2001). *Goal-oriented requirements engineering: A guided tour*. In Proc. of the fifth IEEE Int. Symposium on Req. Eng. *IEEE Computer Society*.
- Lamsweerde A. van. (2009). *Requirements engineering - from system goals to UML models to software specifications*. Wiley.
- Maiese M. (2013). *Distributive Justice (essay)*. https://www.beyondintractability.org/essay/distributive_justice.
- Penzenstadler B. (2013). *Towards a Definition of Sustainability in and for Software Engineering*. In Proc. of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing, p. 1183–1185.
- Penzenstadler B., Femmer H. (2013). *A Generic Model for Sustainability with Process- and Product-Specific Instances*. In Proc. of the Workshop on Green in/by Software Engineering.
- Ponsard C., Darimont R. (2017). *Quantitative assessment of goal models within and beyond the requirements engineering tool: A case study in the accessibility domain*. In Proc. of the 10th Int. i* Workshop, Essen, Germany, June 12-13, p. 13–18.
- Ponsard C., Landsheer R. D. (2018). *Dealing with scheduling fairness in local search: Lessons learned from case studies*. In Operations Research and Enterprise Systems - 7th Int. Conf. ICORES, Funchal, Madeira, Portugal, Jan. 24-26, Revised Selected Papers.
- Ponsard C., Landsheer R. D., Germeau F. (2018). *Building sustainable software for sustainable systems: case study of a shared pick-up and delivery service*. In Proc. of the 6th Int. Workshop on Green and Sustainable Software.
- Pourshahid A., Tran T. T. (2007). *Modeling trust in e-commerce: an approach based on user requirements*. In Proc. of the 9th Int. Conf. on Electronic Commerce: The wireless world of electronic commerce, university of Minnesota, vol. 258, p. 413–422.
- Rawls J. (1971). *A theory of justice*. Belknap Press/Harvard University Press.
- Roher K., Richardson D. (2013). *Sustainability requirement patterns*. In 3rd Int. Workshop on Requirements Patterns (repa), p. 8-11.
- Saad N. (2010, 01). *Fairness perceptions and compliance behavior: The case of salaried taxpayers in Malaysia after implementation of the self-assessment system*. eJournal of Tax Research, vol. 8, p. 32-63.
- United Nations. (1987). *World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Oxford Univ. Press.
- Venters C. C. et al. (2014). *Software sustainability: The modern tower of Babel*. In Proc. of the Third Int. Workshop on Requirements Engineering for Sustainable Systems, vol. 1216.
- Wallace M. (2016). *From principle to practice - a user's guide to do no harm*. <http://www.principletopractice.org>.
- Yu E., Mylopoulos J. (1997, avril). *Enterprise modelling for business redesign: The i* framework*. SIGGROUP Bull., vol. 18, n° 1.

Une étude systématique pour la conception d'un système d'aide à la communication pour les personnes atteintes de la Maladie de Parkinson

**Yohan Guerrier, Káthia Oliveira, Christophe Kolski,
Sophie Lepreux, Kodzo Apedo, Véronique Delcroix,
Houcine Ezzedine**

Univ. Polytechnique Hauts-de-France, LAMIH, CNRS, UMR 8201 Valenciennes, France

{yohan.guerrier, kathia.oliveira, christophe.kolski, sophie.lepreux, kodzo.apedo, veronique.delcroix, houcine.ezzedine}@uphf.fr

RESUME. Le développement d'un système d'information nécessite toujours de prendre plusieurs décisions sur les méthodologies et les technologies à utiliser avant de commencer les travaux. Cette situation est encore plus difficile lorsque les utilisateurs sont des personnes en situation de handicap, en raison du fait qu'ils ne sont pas toujours disponibles et que les questions d'interaction homme-machine (IHM) sont centrales. Compte tenu de cette situation, nous avons décidé de mener une étude systématique de la littérature (RapidReview) pour identifier quelles approches centrées utilisateur utiliser, quelles technologies et formes d'IHM proposer et comment traiter l'adaptation du système à l'évolution d'un handicap. Cet article présente les résultats de cette étude et les décisions prises pour démarrer le développement d'une application d'aide à la communication pour personnes atteintes de la Maladie de Parkinson.

ABSTRACT. The development of an information system always requires several decisions on the methodologies and technologies to be used before starting the work. This situation is even more difficult when the users are people with a disability, due to the fact they are not always available and that human-machine interaction (HCI) issues are essential. Given this situation, we decided to conduct a systematic literature review (RapidReview) to identify which user-centric approaches to use, which technologies and HCI to offer and how to deal with the evolution of a handicap. This article presents the results of this study and the decisions taken to start the development of a communication support application for people with Parkinson's disease.

Mots-clés : Technologie d'information et de communication, étude systématique, interaction homme-machine.

KEYWORDS: Information and communication technology, rapid review, human-computer interaction

1. Introduction

Le développement d'applications pour les personnes en situation de handicap nécessite une attention particulière de la part des développeurs (Antona *et al.*, 2009). Les questions sur l'intégration des personnes au cours du processus (pour l'identification des exigences, la validation, etc.) doivent être bien planifiées (par exemple, tenir compte de la disponibilité des personnes, de la capacité à exprimer des exigences, entre autres). En outre, les aspects relatifs aux technologies et aux modes d'interaction homme-machine (IHM), adaptés au type d'utilisateur et au type de système doivent être bien étudiés. Nous avons constaté la nécessité de ces défis lorsque nous avons commencé le projet ParkinsonCom, qui vise à développer un logiciel d'aide à la communication pour les personnes atteintes de la Maladie de Parkinson (MP) et à leur entourage. Nous nous sommes rapidement posés les questions suivantes : quelle approche utiliser, quelle technologie choisir et comment considérer l'évolution dégénérative de la maladie ?

Pour répondre à ces questions, nous avons réalisé une revue rapide (RR-*Rapid Review* (Tricco *et al.* 2017)), un type de synthèse des connaissances dans laquelle les processus de revue systématique de la littérature (RSL) sont accélérés et les méthodes sont rationalisées pour terminer la revue plus rapidement que les RSL typiques (Tricco *et al.* 2017). Par exemple, les RR peuvent limiter les sources de recherche, concevoir une étude ou utiliser une seule personne pour sélectionner les études primaires. L'objectif est de produire des résultats en temps opportun, avec des coûts moindres et, par conséquent, plus connectés à la pratique que l'examen systématique classique dans lequel le délai requis peut ne pas répondre aux besoins de certains décideurs (Tricco *et al.*, 2016; Cartaxo *et al.*, 2018), comme dans le cas de ce projet. Bien que certaines décisions méthodologiques, visant à fournir des preuves en moins de temps, puissent introduire des biais, les RR sont générés grâce à une méthode transparente, scientifique et reproductible décrite dans un protocole qui respecte les principes clés de la synthèse des connaissances (Tricco *et al.*, 2017). Donc, nous avons décidé d'appliquer un RR au lieu des revues systématiques classiques (Kitchenham et Charters, 2007).

Le reste de cet article est organisé en quatre sections. La section 2 présente brièvement des études de la littérature pour la MP. La section 3 décrit notre protocole et la procédure de recherche. Les sections 4 et 5 présentent respectivement les résultats et une discussion avec la prise de décision pour le projet. Enfin, la section 6 présente les limitations du travail, les conclusions et les recherches en cours.

2. Background : Études sur des applications dans le domaine de Parkinson

Certaines revues de la littérature sur les logiciels de la MP ont été publiées sur différentes questions. Parmi ces études, nous soulignons :

- (Benha *et al.*, 2016) qui discute de différentes méthodes d'évaluation des problèmes d'élocution dans la MP.

- (Stamford *et al.*, 2015) faisant une revue dans le domaine de la technologie pour améliorer la qualité de vie des patients atteints de la MP. Les auteurs traitent d'abord de l'accès au domaine médical, les patients ayant un accès plus facile aux soins grâce aux nouvelles technologies. Par la suite, les patients peuvent mieux prendre soin d'eux-mêmes grâce à diverses applications ; leurs problèmes d'élocution peuvent être atténués grâce à diverses aides à la communication.
- (Nunes *et al.*, 2015) qui étudie les personnes atteintes de la MP et plus particulièrement leur automédication. Dans ce contexte, il existe plusieurs ouvrages sur la collaboration entre patients et médecins en automédication. Pour les patients parkinsoniens, les applications leur permettent de travailler leur voix, de faire des exercices physiques et de les aider dans leur suivi médical.
- (Morgan *et al.*, 2020) présentant une revue systématique d'un ensemble de technologies permettant de tester la participation des personnes atteintes de la MP dans leur vie quotidienne. Dans un premier temps, les auteurs ont analysé les mouvements involontaires et leurs conséquences, puis ils ont passé en revue les technologies pour les patients atteints de la MP.
- (Nunes *et al.*, 2016) et (McNaney *et al.*, 2014) qui étudient l'interaction des patients atteints de la MP avec un smartphone.

À notre connaissance, il n'y a pas d'étude systématique ou état de l'art réalisé sur les outils de communication pour le domaine de la MP.

3. Protocole de Recherche

Comme précédemment défini, l'objectif de notre RR est d'analyser les études réalisées pour les outils de communication dans le domaine de la MP, dans le but de caractériser les approches, les technologies et comment l'évolution du profil de l'utilisateur concernant la maladie est considérée. Concernant les approches, nous étions convaincus que nous devrions utiliser une approche centrée sur l'utilisateur (Bastien et Scapin, 2004) comme le préconise la communauté en IHM. Mais quelles techniques et procédures appliquer ?

Comme recommandé par (Tricco *et al.*, 2017), nous avons utilisé PICO (*Population, Intervention, Comparaison et sortie-Outcome*) pour définir nos questions de recherche et la chaîne de recherche. Nous n'avons pas utilisé C (*Comparaison*) car nous n'avons trouvé aucune autre étude systématique portant sur le même contexte, ni sortie (O) pour ne pas éliminer les travaux potentiels. Nous avons défini notre *Population* (P) comme les études concernant la conception centrée sur l'utilisateur. Pour l'*Intervention*(I), nous avons focalisé sur la communication ou la MP. Depuis la recherche dans Scopus le 1er septembre 2020 avec le string de recherche ("user-centred" OR "human-centred" OR "user-centered" OR "human-centered") AND ("communication" OR "conversation" OR "ICT") AND "Parkinson" », aucun résultat n'a été trouvé. De cette façon nous avons décidé utiliser « OR Parkinson ». Pour la stratégie de recherche, nous avons utilisé la base de données Scopus, largement utilisée pour les études systématiques, combinée avec des procédures de *snowballing* (boule de neige), aussi bien *avant-forward* qu'*arrière-backward* (Wohlin, 2014).

Différentes revues systématiques ont montré que Scopus combiné avec des procédures *snowballing* offre de bons résultats (Mourao *et al.*, 2020). Le Tableau 1 présente le protocole de recherche utilisé par l'équipe pour mettre en œuvre la revue systématique de la littérature (appelé Rapid Review).

Tableau 1 – Protocole de recherche (Rapid Review)

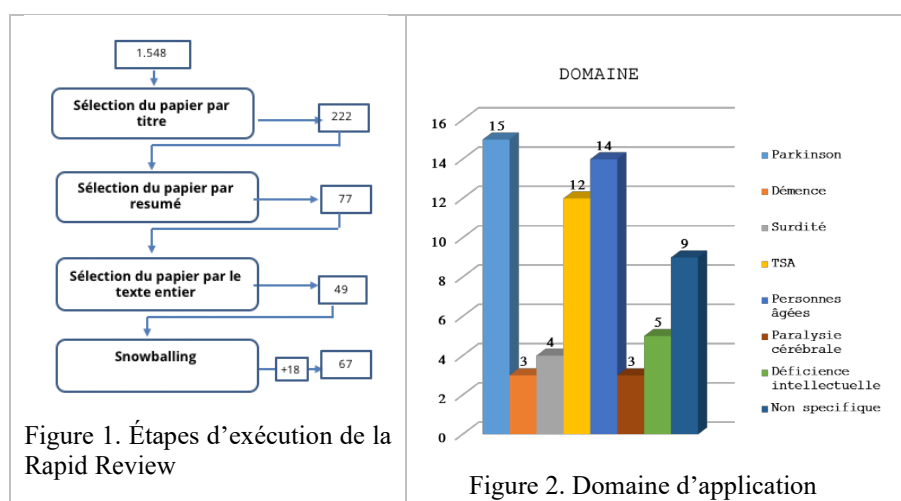
Questions de Recherche	<p>QR1 - Quelles sont les approches de Conception Centrée Utilisateur (CCU) utilisées ?</p> <p>QR2 - Quels sont les dispositifs technologiques de l'IHM utilisés dans la proposition d'outils logiciels de communication et d'outils pour les personnes atteintes de la maladie de Parkinson ?</p> <p>QR3 - Les outils de communication prennent-ils en compte le profil évolutif des utilisateurs finaux ?</p>
Chaîne et Stratégie de recherche	<p>("user-centred" OR "human-centred" OR "user-centered" OR "human-centered") AND ("communication" OR "conversation" OR "ICT" OR "parkinson")</p> <p>Scopus + <i>Snowballing</i> (<i>Backward</i> et <i>Forward</i>)</p>
Critères d'inclusion	<p>IC1 : Articles publiés dans le domaine de l'informatique</p> <p>IC2 : Articles publiés après décembre 1999</p> <p>IC3 : études primaires uniquement</p> <p>IC4 : Articles concernant la communication (au sens de conversation), la conversation ou la maladie de Parkinson</p>
Critères d'exclusion	<p>EC1 : Articles non rédigés en anglais</p> <p>EC2 : Articles qui ne sont pas des articles de revues, des documents de conférence ou des chapitres de livres ;</p> <p>EC3 : Articles sur la communication à l'aide de robots, d'interfaces cerveau-ordinateur</p> <p>EC3 : Articles non disponibles sur Internet ou dans les bases des articles scientifiques du CNRS et de l'UPHF</p> <p>EC4 : Articles relatifs aux réseaux de communication</p>
Procédure de sélection	<p>1 Filtrage des titres des études primaires par un seul examinateur</p> <p>2 Sélection des titres et des résumés des études primaires uniquement par plusieurs évaluateurs uniques et par des pairs</p> <p>3. Examen du contenu des études primaires par plusieurs évaluateurs</p> <p>4. <i>Snowballing</i> en avant (<i>forward</i>) et en arrière (<i>backward</i>)</p>
Données d'extraction	<ul style="list-style-type: none"> - Domaine & Objectif - Technologies utilisées (tablette, smart glasses, smartphone, etc) - Profil évolutif de l'utilisateur (1, 2, 3) - Approche/stratégie pour une conception centrée sur l'utilisateur : ISO/IEC 9241-210, questionnaires, interview, observation, etc. - Mode d'interaction/communication

La procédure de sélection a duré deux mois et a été suivie par un groupe de six chercheurs répartis également en deux groupes : (1) pour le filtrage et l'extraction et (2) pour l'examen. Dans le premier groupe, un seul chercheur (le coordinateur scientifique du projet) a effectué le premier filtrage des articles par titres. Ensuite, ce chercheur a divisé au hasard l'ensemble des articles sélectionnés en deux sous-ensembles pour le deuxième filtrage, par lecture de titres et résumés, faite par deux autres chercheurs. Cette sélection a été revue par le chercheur initial. Les trois chercheurs ont lu le texte complet d'un sous-ensemble des articles sélectionnés et ont extrait les données lorsqu'ils ont jugé l'article pertinent. En outre, le groupe (1) a également fait le *snowballing* avec l'extraction des données. Le groupe (2) a examiné toutes les extractions, avec la possibilité de modifier ou de compléter les données extraites. Des réunions de consensus ont eu lieu lorsque cela était nécessaire.

L'information "Profil évolutif de l'utilisateur" est considérée comme suit : (1) se concentre sur un seul profil d'utilisateur ; (2) plusieurs profils d'utilisateur sont considérés ; et, (3) le système s'adapte en fonction de différents profils d'utilisateur, c'est-à-dire qu'il traite du profil d'utilisateur évolutif de la maladie.

3. Résultats

La requête correspondant aux critères de recherche a été effectuée le 1er septembre 2020. Elle a donné lieu à 1576 documents. Après avoir éliminé les doublons, nous avons obtenu 1 548 documents à analyser. La Figure 1 présente les procédures de sélection et d'analyse des documents. Toutes les étapes ont été effectuées par des examinateurs uniques. Les deux dernières étapes ont fait l'objet d'un examen par les pairs. À la fin, 67 articles ont été sélectionnés pour l'extraction des données. Ces travaux présentent des études pour différents domaines (Figure 2) :



- **Personnes atteintes de la maladie de Parkinson (15)** : (Imbesi et Mincolelli, 2019), (Anderson et al., 2018), (Memedi et al., 2018), (Mazilu et al., 2014), (De Barros et al., 2013), (Wannheden et al., 2020), (McNaney et al., 2020), (Memedy et al., 2018), (McNaney et al., 2018), (Vines et al., 2017), (Madeira et al., 2016), (Nunes et al., 2016), (Bachlin et al., 2009), (Nunes et Fitzpatrick, 2015).
- **Problèmes de démence (3)** : (Boumpa et al., 2017), (Alm et al., 2007), (Van Rijn et al., 2010).
- **Surdité (4)** : (Hosono et al., 2013), (Pieri et Cobb, 2019), (Paredes et al., 2014), (Dermawi et al., 2018).
- **Personnes avec Trouble du Spectre Autistique (TSA) (12)** : (Martins et Maldonado, 2019), (Camargo et al., 2019), (Weisblatt et al., 2019), (Islas et al., 2013), (Conte et al., 2020), (Abdallah et al., 2019), (Zhang et al., 2018), (Di Mascio et al., 2019), (Wolk et al., 2017a), (Wolk et al., 2017b), (Guffroy et al., 2017), (Koumpouros et Toulas, 2020).
- **Personnes âgées (14)** : (Batz et al., 2019), (Volkman et al., 2019), (Doppler et al., 2018), (Kor et al., 2017), (Ehrenstrasser et Spreicer, 2013), (Volkman et al., 2019), (Volkman et al., 2020), (Kivimäki et al., 2012) (Aimer et Brune, 2019), (Kopetz et al., 2018), (Lee et al., 2015), (Dos Santos et al., 2016), (Nuanmeesri, 2020), (Gibson et al., 2019).
- **Paralysie cérébrale (5)** : (Guerrier et al., 2014), (Ikeda et al., 2020), (de Faria Borges et al., 2014), (Saturno et al., 2015), (Ann et Theng, 2011).
- **Déficience intellectuelle (5)** : (Ilyas et al., 2019), (Menzies et al., 2013), (Keskinen et al., 2012), (Conte et al., 2020), (Vona et al., 2020)
- **Non spécifique (9)** : (Yavuz et al., 2015), (Hoque et Picard, 2013), (Renyi et al., 2018), (Abib et Anacleto, 2015), (Patel et al., 2013), (Tuset et al., 2010), (Ni et al., 2011), (Lin et al., 2016) (Tembalethu et al., 2010).

4. Discussion et Prise de Décision

Dans cette section nous répondons à chaque question de recherche du Tableau 1.

4.1 QR1 - Quelles sont les approches de conception centrée utilisateur utilisées ?

La Figure 3 présente les différentes approches de la CCU permettant de capturer les besoins des futurs utilisateurs, ainsi que de procéder à la conception et à l'évaluation, qui ont été recensées dans les articles que nous avons sélectionnés. Le nombre d'occurrences de ces approches dans ces articles est également fourni. Les trois méthodes les plus utilisées sont les interviews, les tests de prototype et les workshops.

Pour ce qui est des interviews, sur les 29 articles mentionnant l'utilisation d'interviews, nous avons pu constater qu'elles étaient exploitées auprès de malades de Parkinson, de personnes avec TSA, de personnes ayant une déficience mentale, de personnes âgées, et de personnes en général ayant des troubles d'élocution. La majorité des articles concernait des applications en lien avec l'aide à la communication. Nous pouvons citer en exemple (Martins *et al.*, 2019) : les auteurs de

cet article ont développé une aide à la communication pour les enfants avec TSA ayant entre 5 et 12 ans. Toujours dans le domaine des aides à la communication, l'article (Wolk *et al.*, 2017) a pour but de décrire une aide à la communication pour les personnes ayant des difficultés mentales et des troubles de l'élocution. Cette application les aide à exprimer leurs besoins dans le domaine médical. Des tests ont été effectués avec 50 personnes. Comme précisé dans l'article, les interviews permettaient de facilement récupérer les besoins des futurs utilisateurs en s'adaptant au niveau intellectuel des personnes interviewées.

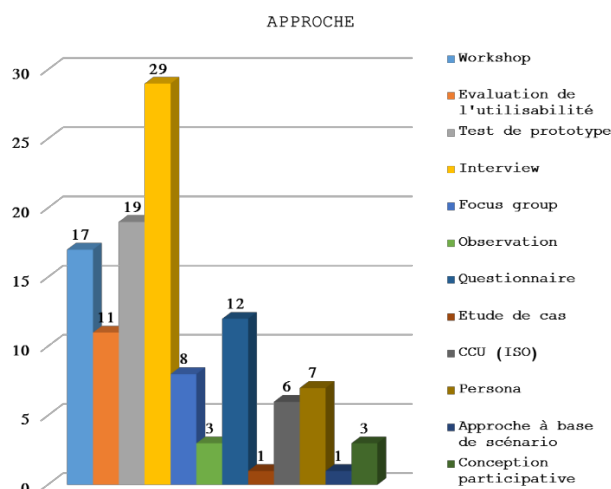


Figure 3. Répartition des approches de conception parmi les articles sélectionnés

Concernant le test de prototype, celui-ci a été exploité dans 19 des articles sélectionnés. La démarche consiste le plus souvent à créer un prototype de la future application pour ensuite le tester et l'améliorer. Ce procédé peut être itératif jusqu'à l'obtention d'une version considérée comme finale. Dans les articles sélectionnés, ceux exploitant cette approche s'intéressent aux utilisateurs ayant la MP, une paralysie cérébrale, un handicap de type TSA, aux personnes avec déficience intellectuelle et aux personnes ayant des troubles du langage. Par exemple, dans (Ilyas *et al.*, 2019), les auteurs ont réalisé une application pour aider des personnes ayant une déficience intellectuelle à mieux communiquer avec les médecins. Le prototype a été testé dans un centre de rééducation avec des patients et des docteurs.

Comme avec les interviews, ces articles traitent souvent d'aide à la communication. Les tests avec un prototype permettent d'affiner le recueil des besoins de l'utilisateur. Ainsi, dans le domaine du handicap, certains utilisateurs peuvent éprouver des difficultés à exprimer leurs besoins. Grâce au test de prototype, les développeurs et les chercheurs ont un moyen d'observer les points positifs et négatifs de leur application.

La troisième approche la plus utilisée est celle des workshops (17 articles concernés) qui sont des sessions durant lesquelles les chercheurs réunissent des spécialistes et des futurs utilisateurs pour discuter d'une application en cours de développement. Cela permet de récupérer les besoins des utilisateurs, tout en prenant de la hauteur grâce aux spécialistes du domaine. Les articles sélectionnés traitant des workshops ont comme publics des personnes avec TSA ou ayant la MP. Ces articles ont pour principal sujet le développement d'une application d'aide à la communication. Nous pouvons donner en exemple l'article (Koumpouros *et al.*, 2020) qui porte sur une application pour faciliter la communication entre les enfants avec TSA, leurs parents, et les médecins. Toujours dans le domaine des applications mobiles, nous pouvons citer (Islas *et al.*, 2013) qui traite d'une aide à la communication pour des enfants.

Nous avons constaté que parmi les 67 articles, il y en avait seulement six citant explicitement la norme ISO 9241-210 (2010) portant sur CCU. Ce fait nous donne à penser que cette norme doit être enrichie pour être adaptée au domaine du handicap.

Pour notre projet, nous avons choisi dans un premier temps l'approche la plus représentée dans les articles, c'est-à-dire les interviews. Cela nous a permis de récupérer les besoins des futurs utilisateurs, tout en s'adaptant à leurs compétences intellectuelles (selon l'évolution de leur maladie). De plus, nous avons interviewé également des personnes aidantes. Les intervieweurs ont pu ajouter des questions dans ce cas afin de recueillir des avis complémentaires sur les besoins et la maladie. Nous n'avons pas pu organiser de workshop principalement à cause de la crise sanitaire ; le test de prototype n'est quant à lui pas encore possible (notre projet a commencé en avril 2020).

4.2 QR2 - Quels sont les dispositifs technologiques de l'IHM utilisés dans la proposition d'outils logiciels de communication et d'outils pour les personnes atteintes de la MP ?

Les 2 graphiques de la Figure 4 représentent les technologies utilisées dans des outils de communication ou pour des outils pour les personnes avec un handicap en général (selon les catégories listées plus haut), et les moyens d'interaction avec ces technologies. Les technologies les plus utilisées sont les smartphones (dans 32 des articles sélectionnés), les tablettes (20) et les ordinateurs (17). Ces technologies sont essentiellement utilisées grâce au mode d'interaction tactile dans une grande majorité des cas (37). Loin derrière, on trouve la reconnaissance vocale (6) et le tangible (6). Si on considère seulement les travaux pour les personnes atteintes de la MP, le support technologique le plus utilisé est la tablette (10 sur 13).

QR3 - Les outils de communication prennent-ils en compte le profil évolutif des utilisateurs finaux ?

La figure 5 représente les trois profils d'utilisateurs. Le profil 1 correspond à un seul profil utilisateur, autrement dit avec un seul état de santé ou des caractéristiques bien définies. Dans ce profil, nous avons par exemple l'article de Ilyas *et al.* (2019)

qui présente un outil de communication, nommé *PAD communication*, destiné à des personnes ayant des difficultés de communication. Le profil 2 regroupe plusieurs profils d'utilisateurs. Par exemple, Menzies et al. (2013) proposent un système d'aide pour prendre un rendez-vous chez le dentiste, destiné aux personnes étrangères et aux utilisateurs ayant des difficultés cognitives. Dans le profil 3, le système s'adapte à l'utilisateur en considérant l'évolution de son profil (par exemple, l'évolution d'une maladie dégénérative) ; nous n'avons pas trouvé d'article pour ce profil.

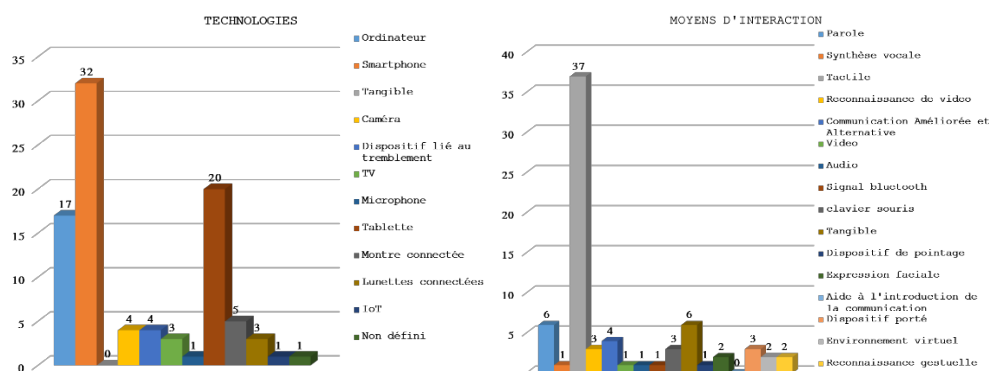


Figure 4. Les différents dispositifs technologiques utilisés pour les logiciels de communication.

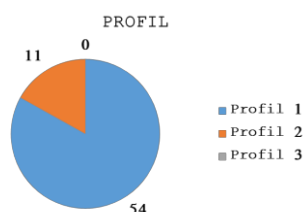


Figure 5. Les différents profils des utilisateurs finaux.

Concernant le premier profil, nous avons trouvé des articles traitant des patients, des personnes âgées, des personnes avec TSA, et des malades de Parkinson. L'utilisation d'un seul profil est présente dans 54 articles. Cela nous montre que les auteurs se concentrent en majorité sur un seul type d'utilisateur. Cela permet de mieux récolter leurs besoins, et d'y répondre. Ce fait est vérifié par l'approche utilisée par les auteurs pour développer leur système. La majorité du temps, les auteurs utilisent une approche de type CCU. Nous pouvons citer en exemple l'article (Imbesi et Mincoletti, 2019). Dans cet article, les auteurs utilisent une approche de CCU pour développer un appareil pour aider les malades de Parkinson à être plus autonomes.

Concernant le profil 2, nous avons trouvé 11 articles. La majorité de ces articles traitent de la communication entre les patients et les médecins. Par conséquent, les systèmes doivent être adaptés aussi bien pour les patients que pour les médecins. Les auteurs des articles utilisent parfois l'approche itérative, comme dans l'article (Wolk *et al.*, 2017). Les auteurs ont développé une application pour les personnes ne parlant pas la langue du pays. Cette application les aide à communiquer avec le personnel médical à l'aide de pictogrammes.

Concernant les articles traitant uniquement de la MP, nous en avons trouvé 13 avec le profil 1. Dans ces articles, une approche de CCU est utilisée pour développer des applications ou du matériel, en faisant participer des malades de Parkinson.

Relativement aux profils 2 et 3, nous n'avons pas trouvé d'article (parmi les 67 retenus). Cela signifie que nous n'avons pas trouvé d'application ni concernant plusieurs types d'utilisateurs (avec MP inclus), ni évoluant en fonction de la maladie de l'utilisateur. Il y a donc un manque à combler par notre futur système ; nous souhaitons qu'il soit évolutif par rapport à la maladie. Différentes pistes à ce sujet sont actuellement en cours d'étude.

5. Conclusion et Travaux Futurs

Le but de cet article était de présenter les étapes prémisses pour le développement d'une aide à la communication pour les malades de Parkinson. Dans le domaine du handicap et de la maladie, il peut être difficile d'obtenir les besoins des futurs utilisateurs en situation de handicap à cause de multiples raisons. Nous pouvons citer en exemple des difficultés d'élocution, ou simplement des problèmes d'organisation par rapport aux emplois du temps des acteurs concernés. Par conséquent, nous nous sommes posés plusieurs questions en matière d'approche centrée utilisateur et de technologie. De plus, en étudiant la littérature sur cette maladie, nous avons pu constater un aspect évolutif. A partir de ces différents constats, une revue systématique de la littérature a été effectuée.

A partir de cette étude, plusieurs décisions ont été prises pour le développement du logiciel d'aide à la communication pour les personnes atteintes de MP :

- Nous prévoyons d'adapter la norme ISO 9241-210 (2010), très peu citée dans les 67 articles sélectionnés, pour considérer le domaine du handicap lié à la MP, et particulièrement l'évolution du profil des utilisateurs. Il s'agit à ce sujet de viser un logiciel destiné au profil 3, autrement dit, qui s'adapte à un même utilisateur en prenant en compte l'évolution de la maladie dégénérative. Pour cela un mécanisme d'adaptation d'interfaces, allant d'interfaces simples, destinées à des demandes urgentes, à des interfaces plus élaborées, sera mis en place.
- Pour la participation des utilisateurs, l'utilisation de questionnaires en ligne et interviews à distance a été mise en place en considérant la situation sanitaire. Les questions de sécurité pour les interviews en ligne sont prises en compte pour se conformer au Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD).

- Le logiciel sera développé pour une utilisation sur tablettes en utilisant le mode d'interaction tactile et avec des analyses vocales et visuelles en sortie. L'adéquation des tailles des tablettes sera évaluée par des expérimentations.
- Une procédure de test du logiciel sera définie pour l'évaluation à distance. Cette procédure considère l'envoi des tablettes avec le logiciel pour les personnes atteintes de la maladie, une séance de présentation du logiciel à distance, puis l'utilisation de la tablette pour une période donnée dans l'environnement familial du patient parkinsonien avec des supports techniques à la demande. Pour l'évaluation du logiciel, nous prévoyons de prendre en compte, non seulement des critères d'utilisabilité, mais également d'acceptabilité.

Remerciements

Ce travail a été réalisé avec le soutien du fonds européen de développement régional Interreg et l'AVIQ (l'Agence pour une Vie de Qualité) de Wallonie, Belgique, que les auteurs remercient.

Bibliographie

- Abdallah W., Vella F., Vigouroux N., Van den Bossche A., Val T. (2019, July). A collaborative talking assistive technology for people with Autism Spectrum Disorders. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 3-12). Springer, Cham.
- Abib J. C., Anacleto J. C. (2015, November). Interaction design process for healthcare professionals: formalizing user's contexts observations. In *Proceedings of the 14th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-10).
- Alm N., Dye R., Gowans G., Campbell J., Astell A., Ellis M. (2007). A communication support system for older people with dementia. *Computer*, 40(5), 35-41.
- Anderson B., Zhu S., Yang K., Wang J., Anderson H., Tay C. X., ... Wang, Y. (2018, October). MANA: Designing and Validating a User-Centered Mobility Analysis System. In *Proceedings of the 20th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* (pp. 321-332).
- Ann O. C., Theng L. B. (2011, July). Biometrics based assistive communication tool for children with special needs. In *7th International Conference on Information Technology in Asia* (pp. 1-6). IEEE.
- Antona M., Ntoa S., Adami I., Stephanidis C. (2009). Chapter 15 - User Requirements Elicitation for Universal Access. In *The Universal Access Handbook*, C. Stephanidis (Ed.), 15.1-15.14, CRC Press.
- Bachlin M., Plotnik M., Roggen D., Maidan I., Hausdorff J. M., Giladi N., Troster G. (2009). Wearable assistant for Parkinson's disease patients with the freezing of gait symptom. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(2), 436-446.
- Bastien J.M.C., Scapin D. (2004). La conception de logiciels interactifs centrée sur l'utilisateur : étapes et méthodes. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie*, Paris : PUF.

- Batz V., Riess H., Gabele M., Michael Herzog D. S. (2019). Cuckoo—facilitating communication for people with mental and physical disabilities in residential communities. *International conference interfaces and human-computer interaction*.
- Benba A., Abdelilah A., Hammouch, A. (2016). A Review of the Assessment Methods of Voice Disorders in the Context of Parkinson's Disease. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, 8(9), 103-112.
- Boumpa E., Charalampou I., Gkogkidis A., Kakarountas A. (2017, September). Home Assistive System for Dementia. In *Proceedings of the 21st Pan-Hellenic Conference on Informatics* (pp. 1-6).
- Camargo M. C., Carvalho T. C., Barros R. M., Barros V. T., Santana M. (2019, July). Improving Usability of a Mobile Application for Children with Autism Spectrum Disorder Using Heuristic Evaluation. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 49-63). Springer, Cham.
- Cartaxo B., Pinto G., Vieira E., Soares S. (2016). Evidence briefings: Towards a medium to transfer knowledge from systematic reviews to practitioners. In *Proceedings of the 10th ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement, ESEM'16*, ACM, New York, NY, USA, pp. 57:1– 57:10
- Conte M. J., Gomes Ferreira M. G., Ramirez A. R. G. (2020). An AAC Mobile-Based Application for People with Intellectual Disability: A Case Study in Brazil. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2020.
- de Barros A. C., Cevada J., Bayés À., Alcaine S., Mestre B. (2013, December). User-centred design of a mobile self-management solution for Parkinson's disease. In *Proceedings of the 12th international conference on mobile and ubiquitous multimedia* (pp. 1-10).
- de Faria Borges L. C. L., Filgueiras L. V. L., Maciel C., Pereira V. C. (2014). The life cycle of a customized communication device for a child with cerebral palsy: contributions toward the PD4CAT method. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 20(1), 1-23.
- Dermawi R., Tolle H., Aknuranda I. (2018). Design and Usability Evaluation of Communication Board for Deaf People with User-Centered Design Approach. *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, 12(2), 197-206.
- Di Mascio T., Tarantino L., De Gasperis G., Pino C. (2019, June). Immersive virtual environments: a comparison of mixed reality and virtual reality headsets for ASD treatment. In *International Conference in Methodologies and intelligent Systems for Technology Enhanced Learning* (pp. 153-163). Springer, Cham.
- Doppler J., Gradl C., Sommer S., Rottermann G. (2018, July). Improving user engagement and social participation of elderly people through a TV and tablet-based communication and entertainment platform. In *International Conference on Computers Helping People with Special Needs* (pp. 365-373). Springer, Cham.
- Dos Santos M. M., Antonelli H. L., Rodrigues S. S., de O. Silva C. L., Fortes R. P., Castro P. C. (2016, December). Personalizing health-related ict interface and application: older adults and elderly caregivers preferences. In *Proceedings of the 7th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion* (pp. 331-338).
- Ehrenstrasser L., Spreicer W. (2013, July). KommTUi—a design process for a tangible communication technology with seniors. In *International Conference on Human Factors in Computing and Informatics* (pp. 625-632). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Gibson R. C., Bouamrane M. M., Dunlop M. (2019). Design requirements for a digital aid to support adults with mild learning disabilities during clinical consultations: qualitative study with experts. *JMIR rehabilitation and assistive technologies*, 6(1), e10449.
- Grigis D., Lazzari M. (2013, September). Augmentative and alternative communication on tablet to help persons with severe disabilities. In *Proceedings of the Biannual Conference of the Italian Chapter of SIGCHI* (pp. 1-4).
- Guerrier Y., Naveteur J., Kolski C., Poirier F. (2014, July). Communication system for persons with cerebral palsy. In *International Conference on Computers for Handicapped Persons* (pp. 419-426). Springer, Cham.
- Guffroy M., Vigouroux N., Kolski C., Vella F., Teutsch P. (2017). From human-centered design to disabled user & ecosystem centered design in case of assistive interactive systems. *International Journal of Sociotechnology and Knowledge Development*, 9(4), 28-42.
- Hoque M., Picard R. W. (2013, September). Automated Coach to Practice Conversations. In *Humaine Association Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction* (pp. 703-704). IEEE.
- Hosono N., Miyajima F., Inaba T., Nishijima M., Suzuki M., Miki H., Tomita Y. (2013, July). The urgent communication system for deaf and language dysfunction people. In *International Conference on Human Interface and the Management of Information* (pp. 269-274). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ikedo T., Hirokawa M., Suzuki K. (2020, September). A Multimodal Communication Aid for Persons with Cerebral Palsy Using Head Movement and Speech Recognition. In *International Conference on Computers Helping People with Special Needs* (pp. 429-436). Springer, Cham.
- Ilyas C. M. A., Rodil K., Rehm M. (2019). Developing a user-centred communication pad for cognitive and physical impaired people. In *Interactivity, Game Creation, Design, Learning, and Innovation* (pp. 124-137). Springer, Cham.
- Imbesi S., Mincoelli G. (2019, July). Monitoring older people: an overview of devices responding to significant needs of elderly affected by parkinson's disease. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (pp. 646-656). Springer, Cham.
- Islas L., González V. M., Mejía M. (2013, July). Developing a Mobile Application for Language Disabled Children with User Centered Design. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 236-240). Springer, Berlin, Heidelberg.
- ISO 9241-210 (2010). *Ergonomie de l'interaction homme-système — Partie 210: Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs*. ISO 9241-210:2010, ISO, Geneva.
- Kaimer F., Brune P. (2019). As They Like It-Outcome Of A User-Centric Design Approach For An Online Health-And Well-Being Service Platform For Transition-Agers. *Procedia Computer Science*, 160, 445-450.
- Keskinen T., Heimonen T., Turunen M., Rajaniemi J. P., Kauppinen S. (2012). SymbolChat: A flexible picture-based communication platform for users with intellectual disabilities. *Interacting with Computers*, 24(5), 374-386.
- Kitchenham B. A., Charters S. (2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering*. Version 2.3, EBSE Technical Report, EBSE-2007-01, Keele University.

- Kivimäki T., Liolis K., Yildizoglu U., Kaila L., Vainio A. M., Konakas S., ... Vanhala J. (2012, June). On an advanced ICT-enabled system for the social inclusion of the elderly. In *Proceedings of the 5th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments* (pp. 1-6).
- Kopetz J. P., Burgsmüller S., Vandereike A. K., Sengpiel M., Wessel D., Jochems N. (2018, August). Finding User Preferences Designing the Innovative Interaction Device “BIRDY” for Intensive Care Patients. In *Congress of the International Ergonomics Association* (pp. 698-707). Springer, Cham.
- Kor A. L., Yanovsky M., Pattinson C., Kharchenko V. (2016, December). SMART-ITEM: IoT-enabled smart living. In *2016 Future Technologies Conference (FTC)* (pp. 739-749). IEEE.
- Koumpouros Y., Toulia T. (2020, June). User centered design and assessment of a wearable application for children with autistic spectrum disorder supporting daily activities. In *Proceedings of the 13th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments* (pp. 1-9).
- Lee J. S., Liang S., Park S., Yan C. (2015, August). Hi grandpa! a communication tool connecting grandparents and grandchildren living apart. In *Adjunct Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (pp. 674-679).
- Lin F. S., Lin C. Y., Hsueh Y. J., Lee C. Y., Hsieh C. P. (2016, July). Graphical Tools for Doctor-Patient Communication: An App Prototype Design in Children’s Pain Management. In *International Conf. on Human-Computer Interaction* (pp. 318-323). Springer, Cham.
- Madeira R. N., Pereira C. M., Clipei S., Macedo P. (2016). ONParkinson–Innovative mHealth to support the triad: patient, carer and health professional. In *Pervasive Computing Paradigms for Mental Health* (pp. 10-18). Springer, Cham.
- Martins S. E., Maldonado P. (2019, July). Cubo: Communication System for Children with Autism Spectrum Disorders. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (pp. 353-365). Springer, Cham.
- Mazilu S., Blanke U., Hardegger M., Tröster G., Gazit E., Hausdorff J. M. (2014, April). GaitAssist: a daily-life support and training system for parkinson's disease patients with freezing of gait. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 2531-2540).
- McNaney R., Tsekleves E., Synnott J. (2020, April). Future Opportunities for IoT to Support People with Parkinson's. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-15).
- McNaney R., Vines J., Dow A., Robinson H., Robinson H., McDonald K., ... Wright P. (2018, April). Enabling the Participation of People with Parkinson's and their Caregivers in Co-Inquiry around Collectivist Health Technologies. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-14).
- Memedi M., Lindqvist J., Tunedal T., Duvåker A. (2018). A study on pre-adoption of a self-management application by Parkinson’s disease patients. In *39th International Conference on Information Systems (ICIS 2018)*, San Francisco, CA, USA, December 13-16, 2018.
- Memedi M., Tshering G., Fogelberg M., Jusufi I., Kolkowska E., Klein G. (2018). An interface for IoT: Feeding back health-related data to Parkinson’s disease patients. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 7(1), 14.

- Menzies R., Herron D., Scott L., Freeman R., Waller A. (2013, October). Involving clinical staff in the design of a support tool improve dental communication for patients with intellectual disabilities. In *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* (pp. 1-2).
- Morgan C., Rolinski M., McNaney R., Jones B., Rochester L., Maetzler W., ... Whone A. L. (2020). Systematic Review Looking at the Use of Technology to Measure Free-Living Symptom and Activity Outcomes in Parkinson's Disease in the Home or a Home-like Environment. *Journal of Parkinson's disease*, (Preprint), 1-26.
- Mourão E., Pimentel J. F., Murta L., Kalinowski M., Mendes E., Wohlin C. (2020). On the performance of hybrid search strategies for systematic literature reviews in software engineering. *Information and Software Technology*, 123, 106294.
- Ni T., Karlson A. K., Wigdor D. (2011, May). AnatOnMe: facilitating doctor-patient communication using a projection-based handheld device. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 3333-3342).
- Nuanmeesri S. (2020). *Mobile Application Development of Managing Elderly Household Accounts Using Speech Recognition*. Mobile Application Development of Managing Elderly Household Accounts Using Speech.
- Nunes F., Fitzpatrick G. (2015). Self-care technologies and collaboration. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 31(12), 869-881.
- Nunes F., Silva P. A., Cevada J., Barros A. C., Teixeira L. (2016). User interface design guidelines for smartphone applications for people with Parkinson's disease. *Universal Access in the Information Society*, 15(4), 659-679.
- Paredes H., Fonseca B., Barroso J. (2014, June). Developing iconographic driven applications for nonverbal communication: a roadside assistance app for the deaf. In *International Conf. on Universal Access in Human-Computer Interaction* (pp. 762-771). Springer, Cham.
- Patel R. A., Hartzler A., Pratt W., Back A., Czerwinski M., Roseway A. (2013, May). Visual feedback on nonverbal communication: a design exploration with healthcare professionals. In *2013 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare and Workshops* (pp. 105-112). IEEE.
- Pieri K., Cobb S. V. G. (2019). *Mobile app communication aid for Cypriot deaf people*. *Journal of Enabling Technologies*, 13(2), 70-81.
- Renyi M., Teuteberg F., Kunze C. (2018, July). ICT-based support for the collaboration of formal and informal caregivers—a user-centered design study. In *International Conference on Business Information Systems* (pp. 400-411). Springer, Cham.
- Saturno C. E., Ramirez A. R. G., Conte M. J., Farhat M., Piucco E. C. (2015). An augmentative and alternative communication tool for children and adolescents with cerebral palsy. *Behaviour & Information Technology*, 34(6), 632-645.
- Stamford J. A., Schmidt P. N., Friedl K. E. (2015). What engineering technology could do for quality of life in Parkinson's disease: a review of current needs and opportunities. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 19(6), 1862-1872.
- Tembaletu J., Jumbam N. D., Isabirye N. (2017). UCD Pre-design Research Methods in ICT for Development. *Proceedings of The 11th International Multi-Conference on Society, Cybernetics and Informatics (IMSCI 2017)*.

- Tricco A., Antony J., Zarin W., Strifler L., Ghassemi M., Ivory J., Perrier L., Hutton B., Moher D., Straus S.E. (2015). A scoping review of rapid review methods. *BMC Medicine*, 13.
- Tricco A. C., Langlois E. V., Straus S. E. et al. (2017). *Rapid reviews to strengthen health policy and systems: a practical guide*. World Health Organization, Geneva.
- Van Rijn H., van Hoof J., Stappers P. J. (2010). Designing leisure products for people with dementia: Developing “the Chitchatters” game. *American Journal of Alzheimer's Disease & Other Dementias*, 25(1), 74-89.
- Vines J., McNaney R., Holden A., Poliakov I., Wright P., Olivier P. (2017). Our year with the glass: Expectations, letdowns and ethical dilemmas of technology trials with vulnerable people. *Interacting with Computers*, 29(1), 27-44.
- Volkman T., Akyildiz D., Knickrehm N., Vorholt F., Jochems N. (2020, July). Active Participation of Older Adults in the Development of Stimulus Material in an Storytelling Context. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 84-95). Springer, Cham.
- Volkman T., Dohse F., Sengpiel M., Jochems N. (2018, August). Age-appropriate design of an input component for the historytelling project. In *Congress of the International Ergonomics Association* (pp. 672-680). Springer, Cham.
- Volkman T., Sengpiel M., Karam R., Jochems N. (2019). Age-appropriate Participatory Design of a Storytelling Voice Input in the Context of Historytelling. In *ICT4AWE* (pp. 104-112).
- Vona F., Torelli E., Beccaluva E., Garzotto F. (2020, September). Exploring the Potential of Speech-based Virtual Assistants in Mixed Reality Applications for People with Cognitive Disabilities. In *Proceedings of the Int. Conf. on Advanced Visual Interfaces* (pp. 1-9).
- Wannheden C., Revenäs Å. (2020). How People with Parkinson's Disease and Health Care Professionals Wish to Partner in Care Using eHealth: Co-Design Study. *Journal of medical Internet research*, 22(9), e19195.
- Weisblatt E. J., Langensiepen C. S., Cook B., Dias C., Plaisted Grant K., Dhariwal M., ... & Belmonte M. K. (2019). A tablet computer-assisted motor and language skills training program to promote communication development in children with autism: development and pilot study. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 35(8), 643-665.
- Wohlin C. (2014, May). Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In *Proceedings of the 18th international conference on evaluation and assessment in software engineering* (pp. 1-10).
- Wołk K., Wołk A., Glinkowski W. (2017). A cross-lingual mobile medical communication system prototype for foreigners and subjects with speech, hearing, and mental disabilities based on pictograms. *Computational and mathematical methods in medicine*.
- Yavuz S. U., Bordegoni M., Carulli M. (2015). A Design Practice on Communicating Emotions Through Visual, Tactile and Auditory Simulations. In *ICoRD'15-Research into Design Across Boundaries Volume 1* (pp. 279-289). Springer, New Delhi.
- Zhang L., Fu Q., Swanson A., Weitlauf A., Warren Z., Sarkar N. (2018). Design and evaluation of a collaborative virtual environment (CoMove) for autism spectrum disorder intervention. *ACM Transactions on Accessible Computing*, 11(2), 1-22.

Ingénierie d'une méthode pour évaluer l'impact d'un SI sur la démocratie d'une organisation

Raphaëlle Bour¹, Maryse Salles²

1. IRIT, Université Toulouse 1 Capitole
rbour@irit.fr

2. IRIT, Université Toulouse 1 Capitole
Maryse.Salles@ut-capitole.fr

Résumé. Le groupe de recherche pluridisciplinaire « Système d'information et démocratie » (SI2D) inscrit ses travaux dans le domaine de l'éthique informatique. Pendant trois ans, il a analysé en profondeur les liens entre système d'information numérique et démocratie dans les organisations. SI2D propose aujourd'hui un outil opérationnel : une méthode d'évaluation de l'Influence des Systèmes d'Information sur la Démocratie dans les Organisations (ISIDOR), qui est l'objet de ce texte. Cette méthode, structurée par un référentiel complet s'inscrivant dans le cadre de l'ingénierie des méthodes, s'articule autour de quatre axes : les paradigmes, les modèles, le processus de mise en œuvre et les outils supports. Dans ce texte, nous présentons le référentiel d'ingénierie des méthodes retenu, et également les différents éléments composant la méthode. La description des éléments de la méthode est accompagnée d'exemples appliqués à l'une des dimensions que le groupe SI2D a retenues pour définir la démocratie dans les organisations : l'existence et la garantie de l'accès à des représentations plurielles au travers du système d'information numérique de l'organisation.

ABSTRACT. The multidisciplinary research group "Information System and Democracy" (SI2D) is working in the field of computer ethics. For three years, we have been analyzing in depth the links between information systems (IS) and democracy in organizations for three years. Today, we propose an operational tool: a method for evaluating the Influence of IS on Democracy in Organizations (ISIDOR), which is the subject of this paper. This method is structured by a complete referential within the framework of methods engineering. It is articulated around four axes: paradigms, models, implementation process and support tools. In this paper, we present our referential and the different elements composing the method. We illustrate it with examples applied to one of the dimensions that the SI2D group has retained to define democracy in organizations: the existence and guarantee of access to plural views of the world through the organization's IS.

Mots-clés : Éthique informatique, ingénierie des méthodes, système d'information, organisation, démocratie.

KEYWORDS: computer ethics, method engineering, information system, organizations, democracy.

Introduction

L'éthique informatique, pour l'essentiel, s'intéresse assez peu à la vie des organisations (Salles, 2015), se centrant prioritairement sur les questions touchant les individus (protection de la vie privée, égalité d'accès à l'information, non-discrimination, etc.), ou, plus rarement, l'ensemble de la société. Par ailleurs, les sciences de gestion ou le domaine des systèmes d'information (SI) n'ont que très peu étudié l'influence que ces derniers ont sur la démocratie dans les organisations. Il faut souligner que la notion même de démocratie dans une organisation fait l'objet d'un faible nombre de travaux, en général parcellaires (portant par exemple sur le rôle des IRP1, ou encore sur l'autonomie des salariés). Le point de vue de ce papier est que les SI, en tant que systèmes normatifs, jouent un rôle déterminant dans le développement (ou l'empêchement) de la démocratie dans une organisation (Salles *et al.*, 2020). Enfin, les liens étroits qu'entretiennent démocratie dans la société et démocratie dans les organisations renforcent encore selon nous l'importance de cette thématique (Jaumier *et al.*, 2019 ; Jardat, 2012). Comme le souligne Caudron (2008), « la réalisation de la démocratie au travail (...) est, pour beaucoup d'auteurs, une condition sine qua non de la réalisation de la démocratie en général ».

L'outil présenté dans ce texte est issu de travaux menés au sein d'un groupe de recherche pluridisciplinaire, l'Atelier Systèmes d'Information & de Décision et Démocratie dans les Organisations (SI2D2), créé en 2017. Après trois ans passés à analyser les rapports entre SI et démocratie des organisations (SI2D, 2019 ; Salles *et al.*, 2020 ; SI2D, 2020), le groupe SI2D travaille actuellement à construire des outils opérationnels autour de cette question. Le premier de ces outils est une méthode d'audit pour évaluer l'influence qu'un SI numérique donné exerce sur la démocratie de l'organisation dans laquelle il fonctionne.

Outre l'objet même de cette méthode, inédit jusque-là, une originalité de la démarche est que la construction de cette méthode s'appuie sur un référentiel d'ingénierie de méthode du domaine de la conception des SI numériques (SIN) (Seligmann *et al.*, 1989). L'ambition est ici de proposer une méthode structurée, permettant un audit sur des critères explicites (et donc discutables). Nous souhaitons également que cette méthode puisse être appliquée assez aisément par des personnes de fonctions et compétences variées.

Ces caractéristiques supposent que tous les éléments de la méthode soient clairement définis, au premier rang desquels ce qu'est la démocratie dans une organisation. L'ambition de ce papier n'est donc pas de proposer un état de l'art sur la démocratie comme régime politique d'un état, laquelle a fait l'objet d'innombrables travaux depuis plus de 2000 ans. Mais, suite à un travail sur la démocratie dans les organisations (SI2D, 2019), il pose un ensemble de dimensions concrètes, certainement non exhaustif, mais approchant selon nous de façon suffisante (au regard de notre objet) cette démocratie particulière.

¹ Instances Représentatives du Personnel

² si2d.hypotheses.org

Ces dimensions ont été analysées dans la perspective de l'évaluation concrète de leur présence (et de leur intensité) dans une organisation.

Ce papier présente les différents éléments de la méthode ISIDOR (analyse de l'Influence d'un SI numérique sur la Démocratie d'une ORganisation). La première partie expose brièvement le référentiel d'ingénierie de méthode sur lequel nous sommes appuyés (Seligmann *et al.*, 1989). Il comprend quatre types d'éléments, désignés comme autant de « ways of » : le *way of thinking* (le paradigme, la vision du monde), le *way of modelling* (la construction des modèles), le *way of organizing* (le processus de mise en œuvre de la méthode), le *way of supporting* (les outils d'aide à la mise en œuvre de la méthode). La deuxième partie de ce papier décrit la méthode elle-même, en présentant successivement les quatre *way of* qui la composent. Un exemple y est déroulé, centré sur l'une des dimensions de la démocratie dont nous cherchons à évaluer l'existence dans une organisation.

1. L'ingénierie de méthodes et le cadre de référence choisi

1.1. L'ingénierie de méthodes

Nous avons choisi d'utiliser l'ingénierie des méthodes, décrite par Brinkkemper (1996) comme une discipline de conceptualisation, de construction et d'adaptation de méthodes, techniques et outils pour le développement des SIN, non pour proposer une méthode de construction de SIN, mais pour construire une méthode d'analyse d'un SIN donné, afin d'en évaluer l'impact sur la démocratie de l'organisation étudiée. Le cadre de réflexion que constitue l'ingénierie des méthodes propose de grands principes, qu'il nous a semblé indispensable de respecter pour la construction d'ISIDOR. Chacun de ces principes est présent dans l'un des *way of* du cadre de référence de (Seligman *et al.*, 1989) que nous avons choisi (1.2). Ainsi, Brinkkemper et Frank (1998) définissent d'abord une méthode comme une démarche, c'est à dire un cheminement de pensée spécifique composé de directives et de règles, et structuré de manière systématique dans des activités. Ce « cheminement de pensée spécifique » a pour nous une importance primordiale, et constitue un composant à part entière de notre méthode : le *way of thinking* (1.2.1). Par ailleurs, Brinkkemper et Frank ajoutent que les composantes d'une méthode doivent recouvrir aussi bien les aspects représentationnels que les aspects procéduraux d'une méthode. Ces aspects représentationnels constituent notre *way of modelling* (1.2.2), qui reprend ce qui peut être considéré comme notre « modèle de produit », tel que décrit par Ralyte (2006). La « structuration systématique dans des activités », les aspects procéduraux, sont quant à eux décrits dans le *way of organizing* d'ISIDOR (1.2.3). Enfin, les principes de réutilisation et de modularité ont également été respectés lors de la construction d'ISIDOR. Le découpage en « blocs réutilisables » (Ralyte, 2006) de notre méthode y est garanti par la décomposition que nous proposons : en dimensions de la démocratie puis en composantes du SIN à inspecter (voir partie 2). Nous garantissons ainsi le choix d'utiliser tout ou partie de la méthode lors de sa mise en œuvre. La réutilisation fait partie intégrante de la méthode au travers du *way of supporting* (1.2.4).

1.2. Le référentiel choisi

Les *way of modelling* (aspects représentationnels) et *way of organizing* (aspects procéduraux) sont des composants classiques de toute méthode de conception de SIN. Une des originalités, et, selon nous, l'intérêt majeur du référentiel que nous avons adopté (Seligmann *et al.*, 1989), réside dans la présence même, de façon explicite, des premier et dernier éléments (*way of thinking* et *way of supporting*), et surtout dans l'importance qui leur est donnée.

1.2.1. Le way of thinking

Le *way of thinking*, la manière de penser, concerne le ou les *paradigmes* dans lesquels la méthode s'inscrit. Ces paradigmes, visions du monde, grandes valeurs, sont explicités au travers d'apports théoriques qui sont convoqués pour la construction de la méthode. Notre travail a ainsi pour base la conviction assumée que la démocratie est le meilleur régime politique pour notre société, que démocratie dans l'organisation et démocratie dans la société sont indissociables, et que les SIN doivent soutenir la démocratie dans l'organisation (ou, a minima, ne pas l'entraver).

Dans la perspective des paradigmes adoptés, le *way of thinking* détermine les grands objets sur lesquels la méthode est bâtie, et en produit une définition. Dans notre cas, le *way of thinking* fournit notamment une description de ce qu'est la démocratie dans une organisation, en distinguant un ensemble de dimensions qui la composent (SI2D, 2020). Nous les passons en revue en partie 2. Enfin, le *way of thinking* affiche également clairement l'intentionnalité qui sous-tend la méthode. Dans le cas d'ISIDOR, la perspective est celle de l'accompagnement d'une organisation dans sa démarche d'autonomisation des salariés, de partage des décisions..., en un mot de démocratisation. La méthode ne cherche pas à établir des comparatifs ou des classements d'organisations en matière de démocratie.

1.2.2. Le way of modelling

Le *way of modelling*, la façon de modéliser, traite des *modèles* à produire dans le déroulement de la méthode, et de leurs modes d'élaboration et de formalisation. Les modélisations produisent une représentation des objets considérés comme pertinents. Rappelons que l'exigence de précision ne se confond pas avec celle de formalisation (Rolland, 2011). Dans notre cas, il s'agira de descriptions structurées, plus que de modélisations au sens classique des méthodes de conception de SIN. Un tableau de bord, un indicateur, une valeur (au sens éthique ou moral), le processus qui mène de l'identification d'un évènement à sa mesure quantifiée (Colletis *et al.*, 2020) font par exemple l'objet de « modélisations » dans notre méthode.

L'intérêt du *way of modelling* pour notre méthode est qu'il permet de produire une explicitation détaillée de la vision de chaque objet, rendant ainsi possible l'information de toutes les parties prenantes sur cet objet au travers d'une description unique, stable. Si, à court terme, il n'y aura pas de codage numérique de ces descriptions, à moyen terme la forme structurée de celles-ci sera utile lors du développement d'une plateforme support à la méthode.

1.2.3. *Le way of organizing*

Le *way of organizing*, la manière d'organiser, concerne l'organisation de la mise en œuvre de la méthode. Il se décompose en *way of working* (comment réaliser le travail) et *way of controlling* (comment en contrôler la réalisation). Le premier décrit le déroulement de la méthode (le processus), et notamment les enchaînements d'étapes, le second concerne le cycle de décision du projet. Dans le cas d'ISIDOR, dont un fondement est l'objectif de promouvoir la démocratie dans l'organisation, un souci particulier est porté au caractère démocratique du *way of organizing*.

1.2.4. *Le way of supporting*

Le *way of supporting* comprend les outils d'aide à la mise en œuvre de la méthode, qui n'en sont pas une partie annexe d'une méthode, mais un composant à part entière. Elles peuvent prendre diverses formes (non exclusives) : la formation des futurs utilisateurs de la méthode ; la proposition de guidage de la démarche, au travers de documents types, de cas complets, de listes de problèmes-types, etc. (ex. : une liste de points clés à vérifier tout particulièrement dans un SIN d'une organisation publique) ; des outils d'aide spécifiques à certaines tâches (ex. : le photolangage pour aider à l'expression des personnes interrogées (Bour, 2019), ou encore les « envisionning cards » (Friedman & Hendry, 2012) pour l'élicitation de valeurs éthiques) ; la fourniture d'éléments déjà constitués (ex. : les modélisations « sur étagère » d'un ensemble d'indicateurs respectant des valeurs démocratiques, pour des entreprises industrielles) ; la mise à disposition d'outils de type plateforme support à la méthode.

2. La méthode ISIDOR

Les différents éléments composant chacun des *way of* et leur articulation font l'objet de cette deuxième partie. La figure 1 présente l'ensemble de ces éléments. En partie haute du schéma, en couleurs, chaque élément est représenté dans le *way of* auquel il correspond (en colonne). Les éléments représentés en gris en bas du schéma sont les résultats de la méthode lorsqu'elle est mise en œuvre. Nous présentons dans le *way of thinking* nos paradigmes, les notions de base de notre méthode (telles que le SI, le SIN), ainsi que notre vision de ce qu'est la démocratie dans les organisations au travers de cinq dimensions (2.1). L'évaluation de l'impact du SIN examiné sur chaque dimension de la démocratie dans les organisations nécessite l'analyse d'une ou plusieurs composantes du SIN. Pour l'analyse de chacune de ces composantes, une ou plusieurs étapes ou tâches doivent être effectuées (2.2). Chaque étape ou tâche donne ensuite lieu à des sorties conformes à des structures-types. Ainsi, les descriptions d'objet instancient des structures-types (des « modèles ») de description. Celles-ci sont utilisées lors du renseignement de la grille d'évaluation d'une composante au regard d'une dimension de la démocratie, laquelle est une instance d'une structure-type de grille d'évaluation. En fin d'étape, un tableau de notation de la composante au regard de la dimension est produit, sous une forme prédéfinie dans une structure-type de tableau d'évaluation.

L'ensemble de ces éléments est décrit dans notre *way of modeling*, en partie 2.3. Enfin, des aides, des outils préexistants, représentent pour nous un appui dans l'élaboration ou la mise en œuvre de la méthode (*way of supporting* : 2.4.)

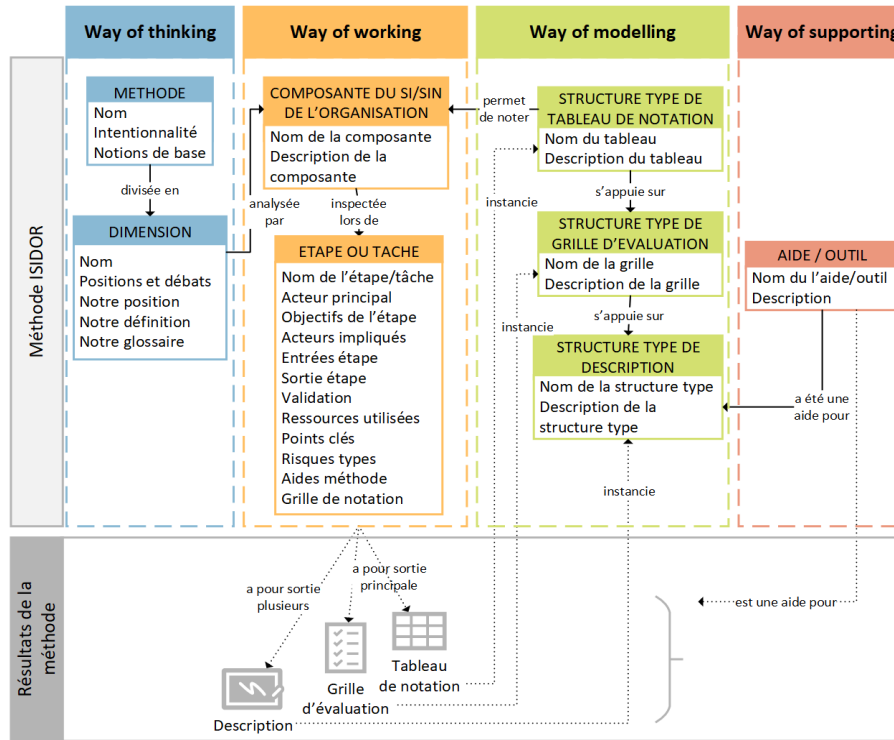


Figure 1 : Décomposition en way of de la méthode ISIDOR

2.1. *Way of thinking* : qu'est-ce que la démocratie dans les organisations ?

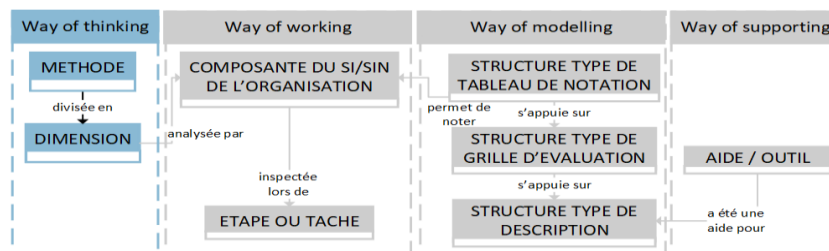


Figure 2 : Zoom sur le Way of thinking de la méthode ISIDOR

Avant de présenter comment ISIDOR considère la démocratie dans une organisation au travers de ses cinq dimensions (partie 2.1.2), notons que le *way of thinking* (cf. figure 2) précise aussi comment sont vus, dans la méthode, les SI et les SIN qui sont pour nous des notions de base (partie 2.1.1).

2.1.1. Notions de base : SI et SIN

Le SI est ici considéré comme un véritable langage de l'organisation (Salles *et al.*, 2020). C'est à travers le SI que celle-ci va se définir elle-même, définir son environnement, et les relations qui la lient à lui. Et, comme c'est le cas de tout langage, le SI ne code pas de façon neutre une réalité exogène, mais au contraire participe à *construire* la réalité dans laquelle fonctionnera l'organisation, au travers de doxas, de représentations, de croyances, de valeurs, etc. Le SIN, qui constitue un sous-ensemble du SI, est codé numériquement. Si le SI présente des effets performatifs et normatifs, le SIN, par sa nature même, les accroît sensiblement (Salles *et al.*, 2020).

2.1.2. Les dimensions de la démocratie des organisations retenues

Nous avons choisi de structurer la réflexion sur ce qu'est, selon nous, la démocratie dans les organisations autour de grandes dimensions. Dans la suite de cette partie, pour chaque dimension, nous exposerons la position qu'ISIDOR développe, issue du document « Nos paradigmes (*way of thinking*) » (SI2D, 2020).

Pour l'instant, cinq dimensions de la démocratie des organisations, telle que nous la définissons, sont prises en compte dans la méthode :

1. les citoyens (parties constituantes) de l'organisation,
2. l'organisation de la dispute démocratique,
3. l'expression de représentations plurielles,
4. l'autonomie des individus, des collectifs et de l'organisation dans sa globalité,
5. les processus de décision, la répartition des pouvoirs de décision, et la prise en compte de la responsabilité du ou des décideurs.

Toutes ces dimensions sont évidemment liées entre elles, voire se recouvrent partiellement. Mais dans un but d'opérationnalité, il nous a paru indispensable de les distinguer.

2.1.2.1. Les citoyens (parties constituantes) de l'organisation

Une des questions clés de la démocratie est « qui est citoyen ? », c'est-à-dire « qui a le droit de participer aux décisions ? ». Pour traiter de cette question, nous retenons la distinction opérée par (Favereau, 2018) entre parties prenantes et parties constituantes. Dans cette perspective, si les parties prenantes (internes ou externes) de l'organisation sont celles qui sont impactées par l'activité de l'organisation, les parties constituantes sont celles sans lesquelles l'organisation n'existe pas. Dans une entreprise, par exemple, les salariés seront ainsi pour nous des parties constituantes, au même titre que les actionnaires³.

³ Concernant l'entreprise, notons que cette posture n'est pas en accord avec le droit actuel, qui ne reconnaît pas (ou pas encore) l'entreprise comme entité juridique ou institutionnelle. Le droit ne connaît que la société et ceux qui en détiennent les parts (ou actions pour les sociétés anonymes). Les seules parties « constituantes » de la société sont ainsi, *de jure*, les détenteurs du capital. Nous nous situons ici dans le régime « dominant », c'est-à-dire hors du régime des

Dans ISIDOR, les parties constituantes sont les citoyens de l'organisation. En considérant que l'organisation peut être définie par son projet (son inscription dynamique dans son environnement), les parties constituantes, les citoyens donc, sont les bâtisseurs de ce projet. Être citoyen de l'organisation signifie donc être reconnu comme partie constituante lors de l'élaboration du projet de l'organisation. Notons qu'il en ira de même pour la représentation de ce projet dans le SI, puis du codage de ce dernier dans un SIN.

Mais outre des droits, être citoyen implique aussi un ensemble de devoirs : « L'exercice de la démocratie suppose l'effort. Une partie constituante a des droits mais ne devient citoyenne que si elle exerce ses droits et ses devoirs » (SI2D, 2020). Font partie de ces devoirs la participation à la construction du projet de l'organisation, et, plus généralement à la « dispute démocratique » (voir plus bas), mais aussi le recul sur ses propres valeurs et représentations, ou encore l'acceptation d'un certain niveau de responsabilité dans les prises de décisions collectives.

Le SI et le SIN peuvent représenter un obstacle, ou à l'inverse un levier, à la reconnaissance des salariés comme parties constituantes. Par exemple, la raison d'être de l'organisation, la mission d'un service, ou encore la définition de concepts clés comme la qualité, le travail bien fait, ou la performance, relèvent des parties constituantes. L'inclusion ou l'exclusion des salariés dans leur détermination va impacter très sensiblement la démocratie dans l'organisation.

2.1.2.2. L'organisation de la dispute démocratique

Si l'on accepte que la démocratie est « l'institutionnalisation du conflit » (Lefort, 1994), ce dernier doit être organisé. Un moyen central en est la dispute démocratique. Celle-ci, dans un cadre reconnu par l'organisation, et selon des règles acceptées par tous (cadre et règles qui doivent pouvoir être eux-mêmes discutés), doit permettre à n'importe quel citoyen de l'organisation de participer à la définition d'un problème, ou à la résolution d'un problème donné, en ayant la liberté de remettre en cause des interprétations, visions du monde, normes, critères... Il s'agit en effet non pas d'apporter « un choix entre des réponses proposées » à une question posée par un expert, un supérieur hiérarchique..., mais « d'inventer la question que personne ne se posait » (J. Rancière, 1995).

Un SIN peut être un support à une telle dispute au travers d'outils collaboratifs, comme il peut la limiter, voire la rendre impossible sur certains sujets, notamment parce que des contraintes techniques auront dominé les choix de management, mais aussi par le simple jeu des définitions des droits d'accès, des listes de diffusion, etc.

2.1.2.3. L'expression de représentations plurielles

« Représentation » est ici pris au sens de représentation mentale, de vision du monde. Dans une organisation, les représentations vont concerner des objets de niveau et d'importance variés : tâches, processus, stratégie de l'organisation, finalités, valeurs, etc.

très grandes entreprises (administrateurs salariés), hors du régime des entreprises publiques (administrateurs salariés) et hors du régime des entreprises de l'économie sociale et solidaire.

Ces représentations n'existent pas comme telles dans un SIN, mais s'expriment au travers des données et des informations qu'il stocke et/ou produit.

Notre position est que, dans un processus de démocratisation d'une organisation, le SIN doit garantir à tous l'accès à des représentations plurielles. Ceci afin de permettre l'autonomie à ses différents niveaux (voir plus bas), d'aider à former des citoyens de l'organisation qui soient éclairés et à même de participer pleinement à l'élaboration des projets de l'organisation, de soutenir le processus de dispute démocratique, et enfin de libérer la prise de décision d'un guidage excessif de la phase *Intelligence* du modèle IDC d'Herbert Simon, aidant à construire des représentations innovantes des problèmes auxquels se confronte l'organisation (Paradise, 2008). Cette dimension est selon nous essentielle. Le SI et le SIN sont porteurs de représentations, qui, de par leur caractère normatif, s'imposent à l'ensemble des acteurs de l'organisation et oriente leur activité.

Par exemple, quand les tableaux de bord d'un service hospitalier intègrent comme indicateur principal le nombre de séjours (et non des mesures de la qualité des soins), les soignants se voient imposer une vision comptable, voir financière, de leur activité. Et bien qu'ils considèrent qu'ils sont là avant tout pour « prodiguer des soins », et non « faire du séjour », ils sont contraints par ces chiffres (et leur valorisation : plus de séjours c'est bien, moins de séjours c'est mal) et peuvent connaître des conflits de valeurs très douloureux (en cherchant à libérer à tout prix des lits occupés par des personnes gravement malades)⁴.

2.1.2.4. L'autonomie des individus, des collectifs et de l'organisation

L'autonomie, au sens étymologique de capacité à définir ses propres normes, sa propre (αυτός) loi (νόμος), est une composante essentielle de la démocratie (Castoriadis, 1975). L'autonomie peut être celle, au sein de l'organisation, d'une personne ou d'un collectif. Elle peut concerner l'organisation elle-même comme entité globale. Elle suppose, pour l'entité concernée, la capacité de défendre ses propres valeurs, de construire ses propres représentations (d'un problème, d'une situation, de l'organisation dans son ensemble, de l'environnement de celle-ci, de l'avenir souhaitable pour l'organisation, etc.), d'élaborer des solutions à des problèmes, d'être à même de mener des actions, d'évaluer ses propres actions ou celles d'autres entités. Les champs d'application concrète de l'autonomie peuvent être classés en trois types (Weil & Dubey, 2020) : le *comment*, qui recouvre les « modalités d'exercice du travail, qu'elles soient individuelles (manière d'exercer la tâche) ou collectives (règles de fonctionnement, modalités de la coopération) » ; le *quoi*, qui concerne « l'activité elle-même (business modèle dans le cas d'une l'entreprise, stratégie, objectifs) » ; et enfin le *pourquoi*, qui porte sur la finalité de l'organisation, sa raison d'être. La question sera ici de vérifier si et en quoi le SIN limite l'autonomie, et, si c'est le cas, pour quelle(s) entités, et pour quel(s) champ(s).

⁴ « [...] je devenais une espèce de robot, à dire “quand est-ce qu'il sort ? quand est-ce qu'il sort ? quand est-ce qu'il sort ?” [...] Je ne suis plus éthique ». <https://amp.lesinrocks.com/2020/01/20/actualite/societe/video-le-discours-poignant-dun-chef-de-service-a-lhopital-expliquant-pourquoi-elle-demissionne/>

2.1.2.5. Les processus de décision, la répartition des pouvoirs de décision, et la prise en compte de la responsabilité du ou des décideurs

Cette dimension s'intéresse à la décision, et donc, bien évidemment à la répartition des pouvoirs de décision. Mais elle affirme aussi qu'une décision doit être le résultat de délibérations éclairées et qu'il doit être possible d'en rendre compte. La démocratie demande donc un espace de délibération en amont et un espace pour rendre compte en aval. Il n'y a pas de démocratie sans décisions assumées. Toute décision entraîne une responsabilité quant à ses conséquences, sans quoi le pouvoir de décision peut devenir démesuré, et donc empêcher la démocratie. Enfin, une décision doit être vue comme le résultat d'un processus dans lequel des caractéristiques humaines telles que la conscience, les émotions, les valeurs, jouent un rôle essentiel (Damasio, 1995). Un SIN, dénué de ces caractéristiques, et qui, en outre, ne peut assumer ses décisions, peut être un outil d'aide ou de support à une décision, mais ne peut pas prendre de décision au sens où nous l'entendons ici.

La méthode ISIDOR s'attachera à étudier les processus de décision à l'œuvre dans l'organisation (quel est l'espace de délibération en amont, quel est l'espace pour rendre compte en aval ?). Mais la méthode analysera aussi les décisions qui ont été « automatisées » lors de la mise en place d'un SIN, leur faisant perdre ainsi leur statut de décisions véritables (et supprimant donc la responsabilité afférente).

2.2. Way of working de la méthode ISIDOR

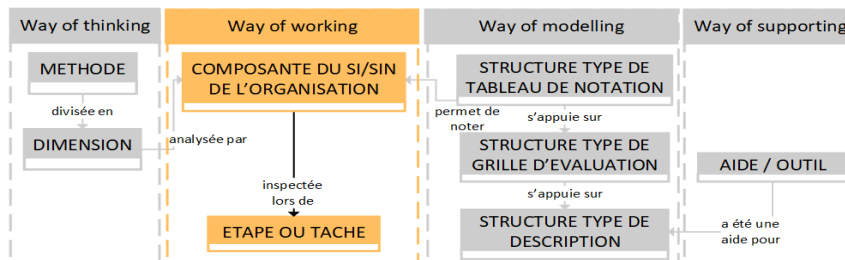


Figure 3 : Zoom sur le Way of working de la méthode ISIDOR

Comme décrit dans la partie 1.2.3, le way of working désigne la démarche suivie pour mettre en œuvre notre méthode. Nous ne traitons dans cet article que de cette sous partie du way of organizing, laissant ici de côté la sous-partie way of controlling. Notre way of working comporte deux parties (fig. 3) : les composantes du SIN pour chaque dimension de la démocratie (2.2.1), et les étapes ou tâches à effectuer pour l'analyse de chaque composante du SIN (2.2.2).

2.2.1. Composante du SIN de l'organisation

L'analyse de l'impact du SIN sur l'une des dimensions de la démocratie dans l'organisation nécessite l'identification préalable des composantes du SIN à inspecter. Ainsi, pour chaque dimension, plusieurs composantes seront retenues, certaines étant alors communes à plusieurs dimensions.

Nous entendons par composante du SIN toute partie identifiable, délimitée et concrète composant le SIN. Il peut s'agir par exemple d'un tableau de bord, d'un logiciel métier, d'une base de données, d'une interface homme-machine, d'une nomenclature, de comptes-rendus de réunions projets, de livrables de projet, etc.

Pour l'analyse de la dimension « Représentations plurielles » par exemple, nous avons choisi de nous pencher sur quatre composantes issues du SIN étudié : les tableaux de bord, les interfaces des logiciels métier, le site internet de l'organisation et les différents outils de *Shadow It*⁵ présents dans l'organisation (en lien avec les métiers objets du SIN étudié). Dans la suite du texte, les exemples de structures-types présentés concernent la composante « tableaux de bords ». Ceux-ci sont en effet constitués d'indicateurs, « abrégés du bon »⁶, performatifs, et qui rétroagissent puissamment sur l'organisation et ses acteurs (Salles *et al.*, 2020). Comme l'écrit Dominique Lorrain (2006), les indicateurs « présupposent des catégorisations [...] qui finissent par être intériorisées », ils « contribuent alors à forger le sens commun qui, en retour, renforce leur robustesse ». Nous reprendrons l'exemple cité plus haut d'un tableau de bord d'hôpital où les indicateurs financiers dominant, provoquant une modification de l'activité des soignants.

2.2.2. Étape ou tâche

Étape 1	Analyse des tableaux de bord (TdB)
Acteur	Consultant qui effectue l'audit
Objectifs	Identifier les représentations dominantes dans les TdB analysés Évaluer la présence de représentations alternatives dans les TdB analysés Objectif principal de l'étape : évaluer si les TdB analysés permettent l'existence de représentations plurielles et/ou la construction de représentations alternatives à la représentation dominante.
Acteurs orga.	Membres de l'organisation qui consultent et manipulent les TdB analysés. Membres de l'organisation qui sont impactés (évalués...) par les TdB analysés.
Entrées	Tableaux de bord retenus pour l'analyse Entretiens avec les membres de l'organisation qui consultent et manipulent les TdB analysés ou sont impactés par eux
Sorties	Liste des indicateurs présents dans les TdB du SIN analysé Liste des objectifs (explicites ou non) dont les indicateurs permettent de mesurer l'atteinte. Liste des valeurs dominantes dans l'organisation construite grâce à la liste des objectifs Liste des termes-clés et définition de ces termes clés Regroupement des chaînes (indicateurs, objectifs, valeurs) dans une ou plusieurs « visions du monde » Grille d'évaluation des TdB pour l'analyse de la dimension « représentations plurielles » Tableau de notation des TdB pour l'analyse de la dimension « représentations plurielles »
Risques types	Recueil de TdB ne comprenant que des indicateurs mesurant l'activité Non disponibilité de certains TdB
Aides	Typologie d'indicateurs

Figure 4 : Extrait de la fiche étape de la méthode ISIDOR

5 Le Shadow IT est l'ensemble des applications développées par les utilisateurs eux-mêmes, hors du périmètre du SIN défini par la Direction des Systèmes d'Information (DSI) de l'organisation (Rentrop et Zimmermann, 2012).

6 Selon la formule élégante de Michel Berry (*Une technologie invisible ? L'impact des instruments de gestion sur l'évolution des systèmes humains*, Centre de recherche en gestion (CRG) de l'École Polytechnique, Paris, 1983).

Pour chaque composante du SIN à analyser, nous avons choisi de définir des étapes, décrivant précisément le travail à effectuer. C’est au travers de la description d’une étape que l’on identifie notamment les sorties attendues (grille d’évaluation, tableau de notation...). La figure 4 présente un extrait de la fiche étape pour l’analyse des tableaux de bord de l’organisation, en vue de l’évaluation de la dimension « Représentations plurielles ».

2.3. Way of modelling de la méthode ISIDOR

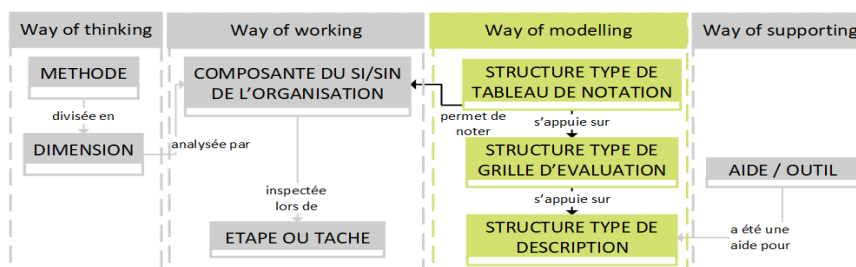


Figure 5 : Zoom sur le way of modelling de la méthode ISIDOR

Le way of modelling explicite la manière de construire les modèles pour représenter les « objets » reconnus pertinents par la méthode, au regard du way of thinking (cf. 1.2.1). Notre way of modelling se compose ici de trois éléments (fig. 5) : les structures-types de description (2.3.1), les structures-types de grille d’évaluation (2.3.2) et les structures-types de tableau de notation (2.3.3). En ingénierie des méthodes, la décomposition des modèles en syntaxe concrète et syntaxe abstraite (Fondement & Baar, 2005) nous permet de préciser cette notion de structure-type. Ainsi, la syntaxe abstraite décrivant le « vocabulaire et la taxonomie (i.e. les concepts) du langage » (Dupuy-Chessa *et al.*, 2014) est celle que nous explicitons dans ce way of modelling au travers de structures-types. La syntaxe concrète en revanche, qui décrit « la notation, c’est à dire la représentation des éléments du langage » n’est que très peu traitée dans cette version de la méthode.

2.3.1. Structure-type de description

Les descriptions sont des sorties d’étape, lors de l’analyse d’une composante du SIN. Nous avons fait le choix de ne pas contraindre ces descriptions avec des formalisations qui pourraient s’avérer réductrices, mais de décrire cependant précisément les objets concernés, en amont de l’application de notre méthode. Par exemple, pour la description des indicateurs (correspondant à l’une des sorties de l’étape évoquée en partie 2.2.2), nous avons choisi d’utiliser une structure-type, dont voici une partie de la description : le périmètre (projet, service, organisation globale) ; l’objet mesuré et le type de cet objet (objectif, variable d’action) ; l’objectif sous-tendu, le cas échéant ; le type d’objectif, tel qu’issu de la typologie de (Kaplan & Norton, 1996) : a posteriori (mesurant un résultat final ou intermédiaire), ou avancé (mesurant un déterminant de la performance future) ; la valeur ou la vision portée par l’indicateur, etc.

Dans un service donné d'un hôpital, l'indicateur de durée moyenne du séjour (DMS) pourrait être décrit comme suit pour les trois dernières rubriques. L'objectif sera une DMS en baisse de $n\%$ par rapport à l'année passée. Le type : a posteriori. La vision de la mission : celle d'un hôpital comme une organisation devant optimiser les flux de patients (Velut, 2020).

2.3.2. Structure-type de grille d'évaluation

Suite au travail de descriptions, l'élément analysé doit être évalué. Ainsi, pour chaque élément nous avons formalisé une structure de *grille d'évaluation* qui sera remplie en sortie d'étape, en s'appuyant sur les descriptions réalisées. L'objectif de ces grilles d'évaluation est de rendre explicites les critères sur lesquels reposent les notations effectuées ensuite lors de l'audit, mais également de nous assurer de la vérification précise de tous les points retenus comme pertinents pour l'analyse d'une composante du SIN. Chaque grille d'évaluation est donc propre à un couple élément du SIN/dimension de la démocratie.

Par exemple une grille pour l'évaluation des tableaux de bord (TdB) dans le cadre de la dimension « Représentations plurielles » comporte les questions suivantes (extraits) :

- Au sujet de l'élaboration du tableau de bord : quel a été le déclencheur de la mise en place du TdB ? Qui décide des composants du TdB ? (...)
- Au sujet des modifications, de l'évolution du TdB : L'utilisateur principal peut-il modifier lui-même le TdB ?
- Au sujet du contenu du TdB : Le TdB inclut-il un rappel explicite des objectifs concernés ? Inclut-il des indicateurs autres que quantitatifs ? (...)
- Au sujet du ressenti des personnes impactées par le TdB : Le TdB est-il compréhensible ? Quels ont été les changements dans la vie au travail suite à la mise en place du TdB ?

Dans le cas de l'hôpital, il est clair que les personnes dont l'activité est mesurée par le tableau de bord évoqué ne décident par de son contenu, qu'ils ne peuvent le modifier, que le TdB est exclusivement quantitatif, et surtout qu'il a entraîné des changements majeurs dans la vie au travail (et même participé à la démission de certains chefs de service).

2.3.3. Structure-type de tableau de notation

L'objectif poursuivi lors de l'audit d'un SIN ne peut pas être selon nous la seule obtention d'une note globale. Cependant, la décomposition en dimensions de la démocratie, puis en composantes à inspecter pour chaque dimension nous permet d'envisager plusieurs tableaux de notation précis et adaptés, conduisant *in fine* à une appréciation globale du SIN. Le but de celle-ci est d'accompagner l'organisation dans une démarche de démocratisation. En sortie de chacune des étapes, en s'appuyant sur la grille d'évaluation, nous obtiendrons donc un *tableau de notation* rempli. La méthode fournit une structure-type de chacun de ces tableaux de notation, propres eux aussi à un couple composante du SIN/dimension de la démocratie.

La figure 6 présente la structure-type du tableau de notation de la composante tableau de bord pour l'analyse de la dimension « Représentations plurielles ».

1	Les TdB soutiennent la vision dominante dans l'organisation et ne permettent ni l'existence, ni le développement de représentations alternatives
2	Les TdB soutiennent la vision dominante mais n'empêchent pas le développement de visions alternatives
3	Les TdB soutiennent principalement la vision dominante mais certains permettent l'accès à des représentations alternatives
4	Les TdB permettent l'existence de représentations alternatives dans l'organisation
5	Les TdB favorisent l'accès à des représentations alternatives dans l'organisation et à leur développement.

Figure 6 : Exemple de tableau de notation de la méthode ISIDOR

Si l'on poursuit l'exemple de l'hôpital, le tableau de bord centré sur la durée moyenne de séjour pourrait être « noté » 1. En effet, il porte la vision dominante de l'organisation et de sa mission, en contradiction avec celle d'une part importante des soignants, et, ne pouvant être amendé ni complété, il empêche de fait le développement de visions alternatives. Il est à noter que, pour une même composante du SIN, l'évaluation et la notation dépendront de la dimension au regard de laquelle la composante est analysée. L'évaluation et la note sont donc toujours liées à une question, ici celle de l'existence dans le SIN de représentations plurielles.

2.4. Way of supporting de la méthode d'audit

Nous avons défini en partie 1.2.4. le *way of supporting* comme l'ensemble des outils d'aide à la mise en œuvre de la méthode (cf. figure 7). L'objectif est ici de s'appuyer sur l'existant en sélectionnant des éléments de méthodes aussi bien pour la construction que pour la mise en œuvre d'ISIDOR, et quel que soit le domaine d'origine de ces méthodes (gestion, économie, ergonomie, anthropologie...).

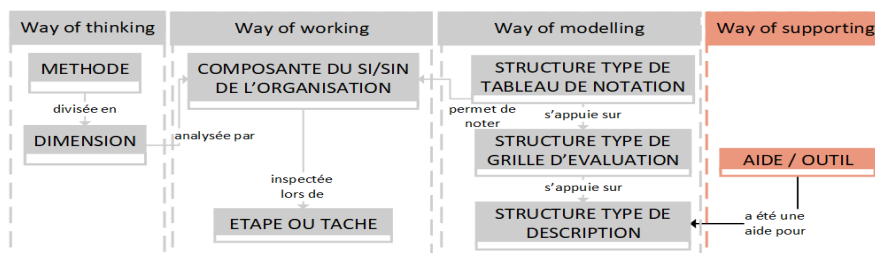


Figure 7 : Zoom sur le Way of supporting de la méthode ISIDOR

Qu'il s'agisse de décrire une étape, une tâche, ou une structure-type de description, nous recensons dans le *way of supporting* l'ensemble des éléments qui constituent pour nous une aide. Par exemple, pour l'élaboration des structures-types de descriptions d'indicateurs, nécessaires à l'analyse de l'élément tableau de bord pour la dimension « Représentations plurielles », nous nous sommes appuyés sur des typologies d'indicateurs existantes, en particulier celle de (Kaplan & Norton, 1996).

Conclusion

Nous avons présenté dans ce texte la méthode ISIDOR, qui permet l'analyse de l'influence d'un SIN sur la démocratie d'une organisation.

La méthode est actuellement testée en interne, par dimension de la démocratie des organisations. Une première mise en œuvre en réel est prévue d'ici la fin de l'été dans une entreprise qui affiche son ambition de démocratiser son fonctionnement (entreprise dite « libérée », entreprise de l'économie sociale et solidaire...).

Dans une logique de développement incrémental de la méthode, cette première application nous conduira à affiner les quatre *way of* qui composent ISIDOR, et, en particulier, d'en capitaliser l'expérience au sein du *way of supporting*.

Cette expérimentation nous permettra également d'apprécier l'acceptabilité de la méthode auprès des acteurs de l'organisation, et aussi bien entendu son efficacité. Cette dernière sera évaluée non seulement au regard de la capacité de la méthode à évaluer le niveau de démocratie d'une organisation en lien avec un SIN, mais aussi et surtout par rapport à son utilité pour accompagner l'organisation dans une démarche de démocratisation. C'est dans cette perspective que nous concevons l'éthique informatique appliquée aux organisations.

Bibliographie

- Bour R. (2019). *DEMOS : une méthode de conception participative de système d'information soutenant la démocratie des organisations*. Thèse de doctorat, Univ. Toulouse 1 Capitole.
- Brinkkemper S. (1996). Method engineering: Engineering of information systems development methods and tools. *Information & Software Technology*, 3, pp 275-80.
- Brinkkemper S., Frank H. (1998). Assembly techniques for method engineering. *Active Flow and Combustion Control*, 141:381-400, Cham: Springer International Publishing.
- Castoriadis C. (1975). *L'institution imaginaire de la société*, Éditions du Seuil, Paris.
- Caudron F. (2008). Lier pratiques démocratiques et efficacité économique : la rationalisation démocratique. *Revue internationale de l'économie sociale* (308), p. 56-69.
- Colletis G., Fieux E., Isla A., Peneranda A., (2020). De la donnée à l'information : de l'importance des conventions dans les organisations, *Revue Ouverte de l'Ingénierie des Systèmes d'Information (ROISI)*, Volume 20-1, n° 2.
- Damasio A.R. (1995). *L'erreur de Descartes : La raison des émotions*, Odile Jacob, Paris.
- Dupuy-Chessa S., Combemale B., Gervais, JP., Nodenot, T., Le Pallec, X., Wouters, L. (2014). Vers une approche centrée humain pour la définition de langages de modélisation graphiques, *Actes du congrès Inforsid 2014*, Lyon.
- Favereau O. (2018). *Rapport sur les modèles de gouvernance de l'entreprise. Évaluation et prospective des modèles actuels*, OIT.
- Fondement F., Baar T. (2005). Making Metamodels Aware of Concrete Syntax. *Model Driven Architecture – Foundations and Applications*, 3748:190-204, Springer, Berlin.

- Friedman B., Hendry D. (2012). The envisioning cards: a toolkit for catalyzing humanistic and technical imaginations, *Proceedings of the 2012 ACM*, New York, pp 1145–1148.
- Jaumier S., Daudigeos T., Huault I., Pasquier V., (2019). La démocratie organisationnelle autrement : L'exemple des hiérarchies à domination inversée. *Revue française de gestion*, 278(1), p. 19-36.
- Kaplan R. S., Norton D. P., (1996). *Balanced Scorecard, Translating Strategy into Action*, Harvard Business School Press.
- Lefort Cl., (1994). *L'Invention démocratique. Les limites de la domination totalitaire*, (Nouvelle édition revue et corrigée), coll. Le Livre de poche / Biblio Essais, Fayard, Paris.
- Lorrain D. (2006). La dérive des instruments. Les indicateurs de la politique de la ville et l'action publique, *Revue française de science politique*, vol. 56, n° 3, p. 429-455.
- Ralyte J. (2006). Méthodes et Ingénierie de Méthodes. *Encyclopédie de l'informatique et des systèmes d'information*, 1437-47.
- Rancière J. (1995). *La Méésentente*, Galilée, Paris.
- Rentrop C., Zimmermann S. (2012). Shadow IT - Management and control of unofficial IT, *ICDS 2012: The Sixth International Conference of Digital Society*.
- Rolland C. (2011). De la modélisation conceptuelle à l'ingénierie des exigences. *Techniques de l'ingénieur*, réf. H3250, 10 février.
- Salles M. (2015). La responsabilité économique et sociale des concepteurs de systèmes d'information : contribution à une éthique appliquée. *I-REMI*, vol. 1, n°46, pp. 197-226.
- Salles M., Bour R., Jardat R., (2020). Systèmes d'information numériques : supports ou entraves à la démocratie dans les organisations ? *Revue Ouverte d'Ingénierie des Systèmes d'Information*, Vol. 1, N. 2.
- Seligmann P.S., Wijers G.M., Sol H.G., (1989). Analysing the structure of I.S. methodologies, an alternative approach, *Proceedings of the 1st Dutch Conference in Information Systems*, Amersfoort, The Netherlands.
- SI2D, (2019). *Dimensions de la démocratie dans les organisations*, Doc. travail interne, 29 p.
- SI2D, (2020). *Nos paradigmes (way of thinking)*, Document de travail interne, 64 p.
- Velut St. (2020). *L'hôpital, une nouvelle industrie. Le langage comme symptôme*, Gallimard, Paris.
- Weil Th. et Dubey A.-S., (2020). *Au-delà de l'entreprise libérée, Enquête sur l'autonomie et ses contraintes*, Presses des Mines, Paris.

Gestion de crise et Défiance : étude d'un accident industriel en France

Elsa Negre

Paris-Dauphine University, PSL Research Universities, CNRS UMR 7243, LAMSADE,
75016 Paris, France
elsa.negre@lamsade.dauphine.fr

RESUME. La plupart des crises sont précédées de signaux annonciateurs qui permettent de déclencher des alertes. Ces alertes, si elles sont délivrées à temps, doivent permettre aux parties prenantes (décideurs, populations, ...) de se préparer de manière adéquate à la crise à venir. L'article résumé ici, (Negre, 2021), porte sur l'analyse de la défiance des populations face aux décisions/actions des pouvoirs publics lors de la gestion de l'incendie de l'usine Lubrizol, classée SEVESO, de Rouen (France), en Septembre 2019. À la suite d'interviews menées auprès de la population de l'agglomération Rouennaise, nous tentons d'examiner comment un système d'information pourrait réconcilier les populations et les décideurs.

ABSTRACT. Most crises are preceded by warning signals which make it possible to trigger alerts. These alerts, if delivered on time, allow stakeholders (decision-makers, populations, etc.) to prepare adequately for the coming crisis. The article summarized here, (Negre, 2021), deals with the analysis of the population distrust of the public authorities' decisions/actions during the management of the fire at the Lubrizol factory in Rouen (France), in September 2019. Following interviews with the population of the Rouen's agglomeration, we give some leads on how an information system could reconcile populations and decision-makers.

Mots-clés : Gestion de crise, Systèmes d'Information centrés utilisateur, Aide à la décision.

KEYWORDS: Crisis management, User-centered Information systems, Decision support systems

DOI:10.3166/RCMA.25.1-n © 2016 Lavoisier

Malgré le nombre croissant de publications et de connaissances acquises sur le risque, la vulnérabilité, la résilience et les systèmes d'alerte, les pratiques de gestion des crises restent des sujets délicats à penser et à mettre en œuvre. En effet, les crises sont considérées comme des événements exceptionnels, et, pour gérer une crise, un nombre important d'acteurs doit statuer sur des signaux d'alerte qui sont souvent le résultat d'une analyse de processus complexes. La vulnérabilité sociale, par exemple, peut être réduite en améliorant la capacité des populations à faire face au risque à travers leurs comportements. Nous considérons ici les comportements des populations en réaction à une alerte/crise autant comme un facteur de vulnérabilité des sociétés que comme un enjeu de résilience. En effet, certains comportements (panique, rumeurs, défiance face à l'alerte, ...), peuvent à la fois nuire à la réponse lors d'une crise et avoir des conséquences fortes à plus long terme, rendant difficile

Nom entier de la revue – n° 1/2017, 1-5

2 INFORSID 2021

le retour à une situation normale.

Dans cet article, nous nous intéressons à l'incendie de l'usine Lubrizol (SEVESO) de Rouen (France) du 26 septembre 2019. La première journée fut consacrée à la maîtrise de l'incendie et à la mise en place de mesures de protection de la population et de l'environnement. Les autorités se voulaient rassurantes au vu des premières mesures réalisées. Cependant, les craintes de la population tant en matière de santé que d'environnement s'amplifiaient et la parole publique peinait à être entendue. À la suite de cet incendie, nous avons interrogé la population de l'agglomération Rouennaise par le biais d'un questionnaire de 77 questions, en ligne. Les résultats de notre étude (237 répondants), spécifiques à l'usine Lubrizol, nous permettent d'observer des premiers éléments relatifs au manque de confiance et de la défiance des populations envers les décisions des pouvoirs publics lors d'une crise. En effet, au vu de l'analyse des réponses à la question "Selon vous, qu'est ce qui aurait pu être fait différemment ?" lors de l'incendie de l'usine Lubrizol de Rouen le 26 septembre 2019, il apparaît assez clairement que les répondants critiquent les décisions/actions des pouvoirs publics dans la gestion de la crise. Cela se traduit par un manque de confiance et une colère envers les décideurs. Cette défiance freine la résilience de la zone touchée.

La défiance des populations envers les politiques publiques peut s'expliquer de différentes manières (citoyens de plus en plus diplômés, de nombreux scandales ont entaché la confiance des populations, les réseaux sociaux fragilisent la crédibilité des experts, ...). Finalement, il ne s'agit pas de gagner la confiance des populations mais plutôt de faire avec la défiance et de l'incorporer dans le système (d'information) pour plus d'ouverture, de pertinence et de robustesse. A partir de ces différents constats, nous avons donc proposé des pistes d'amélioration des systèmes d'aide à la prise de décision existants et tenté d'identifier les caractéristiques qu'un système (d'information) devrait avoir afin de réconcilier populations et décideurs (transparence, explicabilité, responsabilité, rapprochement des cultures, ...).

Les résultats de notre étude sont un premier pas vers la réconciliation entre les populations et les décideurs. Une analyse complète du questionnaire nous permettra de faire quelques implications et recommandations (par exemple, concernant les actions des décideurs ou l'engagement communautaire). De nombreuses pistes de recherche sont envisageables sur la base de notre réflexion, notamment, quant aux caractéristiques attendues d'un système d'information (et de connaissance). Ces travaux devront être transversaux à la communauté scientifique faisant appel, entre autres, aux notions de traitement de données, gestion des connaissances, genre, culture, analyse des politiques publiques, ... Enfin, une discussion plus approfondie impliquant, entre autres, les populations et les décideurs, devrait également être menée sur les informations à diffuser et les moyens de le faire, en fonction de la population cible ou des informations à transmettre.

Bibliographie

Negre, E. *Crisis management and distrust: Study of an industrial accident in France*. 54th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), January 2021.

Je clique ou pas ?

Une étude des facteurs influençant la confiance et la défiance dans les courriels de hameçonnage

Pierre-Emmanuel Arduin

*Université Paris-Dauphine, PSL, DRM UMR CNRS 7088
Place du Maréchal de Lattre de Tassigny, 75775 Paris Cedex 16, France
pierre-emmanuel.arduin@dauphine.psl.eu*

RÉSUMÉ. Alors que le nombre de courriels échangés chaque jour continue d'augmenter, les utilisateurs de systèmes d'information peuvent être amenés à se poser des questions comme : je clique ou pas ? est-ce que je fais confiance ou me méfie ? Ce document est une synthèse d'une étude présentée en 2020 lors de la International Conference on Decision Support System Technology (Arduin, 2020). Les facteurs influençant la confiance et la défiance auprès de 249 participants confrontés à des courriels de hameçonnage ont été analysés. Des zones et des éléments invariants influençant la confiance et la défiance, aussi bien que des biais cognitifs des utilisateurs exploités par les attaquants, ont été mis au jour dans cette étude.

MOTS-CLÉS : Sécurité des systèmes d'information, Menace intérieure, Confiance, Interprétation, Management des connaissances, Prise de décision.

Lorsqu'il s'agit d'interagir avec des ordinateurs ou des artefacts numériques, les individus ont tendance à répliquer les mécanismes déployés pour faire confiance ou se méfier d'autres individus. Un tel calibrage de la confiance repose sur des processus cognitifs d'interprétation et de compréhension des informations perçues au travers du système d'information. Or ces informations peuvent avoir été créées par un attaquant afin de manipuler l'utilisateur qui constitue un point d'entrée dans le système.

En effet, la littérature académique aussi bien que les milieux professionnels s'accordent pour alerter sur l'existence de menaces provenant de l'intérieur du système et émanant des utilisateurs eux-mêmes (Willison, Warkentin, 2013). Pour les cabinets d'audit des systèmes d'information, 90% des attaques ayant réussi entre 2016 et 2018 reposaient sur du hameçonnage. Le destinataire est invité ou parfois fermement sommé de cliquer sur un lien, d'ouvrir un document ou encore de fournir une information à priori anodine. Le comportement des utilisateurs tend à négliger les préoccupations de sécurité notamment en raison d'un manque de compréhension. Dans cette étude, nous avons proposé d'analyser ces difficultés de compréhension en collectant les zones du courriel et les éléments identifiés par 249 répondants comme influençant la confiance et la défiance au moment où ils se disent : « je clique ou pas ? ».

Dans une première partie, la littérature mobilisée est présentée : (1) les processus cognitifs d'interprétation, en prenant appui sur des concepts du management des

connaissances comme les connaissances tacites ou les modèles mentaux ; (2) les menaces intérieures à la sécurité des systèmes d'information, en regardant l'actualité encore forte de constats parfois anciens (Loch *et al.*, 1992) aussi bien que les limites des standards internationaux (ISO/IEC, 2013) ; (3) la confiance et la défiance, en discutant de la pertinence d'approches faisant sens dans des communautés comme les sciences humaines et sociales et les sciences de gestion pour les systèmes d'information.

Dans une seconde partie, l'expérience est présentée : (1) le protocole expérimental et le profil des participants ; (2) le traitement des réponses en vue de construire des résultats au travers de diagrammes de température (voir exemple Fig. 1) et leur discussion ; (3) les perspectives que nous conduisons depuis ainsi que les questions éthiques soulevées par cette recherche.

Les résultats montrent l'existence de zones des courriels souvent identifiées comme influençant la décision de faire confiance (en-têtes et pieds de page), alors que d'autres sont associées à la défiance (corps du message). Des biais cognitifs exploités par les attaquants ont également été mis au jour (heuristique de reconnaissance, biais de conservation et négligence des taux de base), ainsi que des thèmes et mots-clés associés à la confiance ou la défiance. La décision de faire confiance, tout comme les techniques de manipulation, font partie des processus de prise de décision bien avant l'informatisation des systèmes d'information. La sensibilisation et la formation apparaissent comme des solutions, ce qui conclut finalement l'étude.

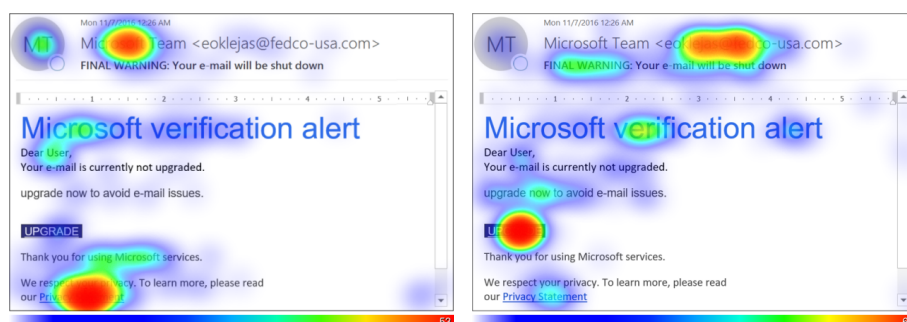


Figure 1. Zones inspirant la confiance (à gauche) et la défiance (à droite), $N = 249$.

Bibliographie

- Arduin P.-E. (2020). To click or not to click? Deciding to trust or distrust phishing emails. In J. M. Moreno-Jiménez, I. Linden, F. Dargam, U. Jayawickrama (Eds.), *Decision Support Systems X: Cognitive Decision Support Systems and Technologies. ICDSST 2020. LNBP*, vol. 384, p. 73–85. Springer International Publishing.
- ISO/IEC. (2013). *ISO/IEC 27001, Information Security Management*. Technical Report.
- Loch K. D., Carr H. H., Warkentin M. E. (1992). Threats to information systems: today's reality, yesterday's understanding. *MIS Quarterly*, p. 173–186.
- Willison R., Warkentin M. (2013). Beyond deterrence: an expanded view of employee computer abuse. *MIS Quarterly*, vol. 37, n° 1, p. 1-20.

Comment la Conformité au RGPD est intégrée dans les Pratiques de Gestion de Processus Métier (BPM) ?

Une revue systématique de la littérature

Jeyakumaran Sothiya¹, Rychkova Irina², Deneckere Rebecca²,

1. La caisse de retraite et de prévoyance des clercs et employés de notaires.
5 Bis rue de Madrid, 75008 Paris, France
Sothiya.jeyakumaran@crpcen.fr

2. Centre de Recherches en Informatique (CRI),
Université Paris 1 - Pantheon-Sorbonne
12 Place de Panthéon, 75005, Paris, France
rebecca.deneckere@univ-paris1.fr, irina.rychkova@univ-paris1.fr

RÉSUMÉ. Le règlement général sur la protection des données (RGPD) affecte considérablement la façon dont les organisations doivent aborder la confidentialité des données, les forçant à repenser et à mettre à niveau leurs processus métiers afin de se conformer au RGPD. À travers cette revue systématique de la littérature, nous examinons les études primaires concernant cette problématique, recensons les recherches effectuées et les méthodes proposées, appliquées et intégrées dans le cycle de vie d'un processus métiers (selon BPM) pour faire face à cette nouvelle réglementation.

ABSTRACT. The General Data Protection Regulation (GDPR) dramatically affects the way organizations approach data privacy, forcing them to rethink and upgrade their business processes in order to comply with GDPR. Through this systematic literature review (SLR) we examine the primary studies, identify the research carried out and the methods that are proposed, applied and integrated into a business process life cycle (as defined by BPM) to cope with this new regulation.

Mots-clés : Règlement général sur la protection des données (RGPD) – processus métiers – revue systématique de la littérature (SLR) – cycle de vie d'un processus métiers - modélisation
KEYWORDS: General Data Protection Regulation (GDPR) - business processes - systematic literature review (SLR) - business process life cycle - modeling

DOI:10.3166/RCMA.25.1-n © 2016 Lavoisier [AR_DO](#)

1. Introduction

De nos jours, la technologie informatique permet de stocker et de traiter pratiquement toutes les informations susceptibles d'intéresser une organisation. Cependant les utilisateurs ne contrôlent pas souvent la manière dont leurs données personnelles sont collectées, stockées et traitées. Le règlement général sur la protection des données (RGPD), entré en vigueur en mai 2018, constitue une étape importante dans la direction de la protection des données personnelles (EU, 2016). Le but du RGPD est de protéger les citoyens de l'UE contre les atteintes à la vie privée de leurs données personnelles. Le RGPD contrôle la manière dont les organisations traitent les informations personnelles de leurs clients et accorde aux individus des droits de protection renforcés en ce qui concerne ces données. Les organisations non conformes au RGPD doivent faire face à de lourdes sanctions. Le RGPD présente un impact majeur sur la plupart des processus métiers des entreprises dès sa mise en œuvre. Les entreprises sont tenues de mettre en œuvre correctement les politiques de gestion des données du RGPD et de prendre les mesures appropriées sur les données lorsque leurs clients le demandent.

La conception et le développement des nouveaux systèmes d'information ainsi que l'évolution des systèmes déjà existants vers la conformité aux normes RGPD est un enjeu important pour les entreprises d'aujourd'hui. En ingénierie des SI, des solutions peuvent être apportées par un ensemble de domaines différents. Dans ce travail, nous allons nous concentrer sur un seul domaine - celui de la Gestion des Processus Métier (BPM). Les entreprises adoptent de plus en plus les systèmes de gestion de processus métiers (BPMS) afin de gérer leurs activités et la gestion des données. Ainsi, pour atteindre la conformité au RGPD, les organisations doivent remodeler leur approche de la gestion des données personnelles stockées et échangées lors de l'exécution de leurs processus métiers. Bien que la modélisation des processus métier soit bien adaptée pour exprimer la collaboration des parties prenantes et les données échangées entre les activités des processus métier et les participants, il y a peu d'études concernant la conformité du RGPD et l'identification des violations potentielles de la vie privée dans le cycle de vie d'un processus métier.

Dans cette revue systématique de la littérature (SLR) nous analysons les solutions/approches évoquées par la communauté scientifique pour la mise en conformité des processus métiers au RGPD. Les objectifs sont de (i) examiner les recherches actuelles concernant l'intégration du RGPD dans les pratiques de gestion de processus métier et notamment dans les différentes phases de cycle de vie d'un processus métier et (ii) identifier les lacunes de la recherche actuelle afin de suggérer des domaines à approfondir.

L'article est organisé de la manière suivante. La section 2 donne une définition des éléments clés de cette revue. La section 3 présente le protocole de recherche utilisé. La section 4 présente les résultats de l'analyse. Nous discuterons les résultats obtenus dans la section 5 et concluons dans la section 6.

2. Définition des Termes Clés

Le règlement général sur la protection des données est la nouvelle loi de l'Union européenne pour la protection des données personnelles. Le RGPD définit les données

à caractère personnel comme toute information relative à une personne physique identifiée ou identifiable (“personne concernée”). Cela signifie qu'une personne concernée est une personne physique (un être humain vivant) dont les données sont gérées par un responsable du traitement (EU, 2016). Depuis 2018, le nouveau règlement a pour objectif de renforcer les droits des individus sur leurs propres données ainsi que de rendre les organisations plus responsables. Il contribue à l'harmonisation des précédentes lois fragmentées sur la protection des données à travers l'UE, afin d'assurer une protection égale des droits de l'Homme des citoyens européens.

Le RGPD définit les principes suivants concernant les données et leurs traitements : la **transparence** (les données doivent être traitées de manière équitable, licite et transparente) ; la **pertinence** (les données ne devraient être collectées qu'à des fins déterminées, explicites et légitimes, et non traitées ultérieurement à d'autres fins) ; la **minimisation** (les données traitées doivent être pertinentes, adéquates et limitées à ce qui est nécessaire au regard des finalités pour lesquelles elles sont traitées) ; la **précision** (les données traitées doivent être exactes et régulièrement mises à jour) ; la **conservation** (les données doivent être supprimées après une période limitée) ; le **consentement explicite** (les données ne peuvent être collectées et traitées que si la personne donne son consentement explicite).

Les processus métiers se réfèrent généralement à toute collection structurée d'activités ou de tâches connexes effectuée pour atteindre les objectifs visés d'une organisation. Il peut être structuré en un ou plusieurs ensembles définis d'activités qui représentent les étapes nécessaires pour atteindre des objectifs relatifs aux affaires, y compris les flux et utilisations d'informations et de ressources. **La gestion des processus métier (BPM)** comprend des concepts, des méthodes et des techniques pour prendre en charge la conception, l'administration, la configuration, la mise en œuvre et l'analyse des processus métier (Weske 2010). Le cycle de vie d'un processus métier, selon BPM, est composé de 4 étapes principales : le Design (phase de modélisation où l'on réfléchit sur comment modéliser le processus métier de manière informatique afin qu'il représente de manière la plus fidèle possible la réalité), la Configuration (phase de l'implémentation où l'on met en œuvre une solution de Business process management (BPM) reliée au système d'information de l'entreprise), l'Exécution (phase opérationnelle où la solution de BPM est mise en œuvre) et l'Évaluation (phase d'analyse de l'état des processus à travers des logs, tableaux de bord détaillant la performance, etc). **BPMN** (www.omg.org) est le formalisme de représentation des processus métiers qui est la norme de facto pour la modélisation des processus. Il s'agit d'un langage riche et expressif utilisé pour les tâches associées à la modélisation des processus.

3. Protocole de Recherche

Nous avons effectué une revue systématique de littérature (Brereton et al., 2007), (Levy et Ellis, 2006). La réforme du RGPD est un sujet récent, ici nous examinons comment ce sujet est intégré par la communauté de recherche BPM au travers des outils, méthodes, théories et leurs applications dans la pratique. Nous nous sommes basées sur la méthodologie proposée par (Kichenham et Charters, 2007).

3.1. Planification et définition de questions de recherche

Cette étude vise à examiner les récentes méthodes et solutions pour la conformité des processus métiers au RGPD. Il faut savoir qu'il n'existe aujourd'hui aucune pratique standardisée du RGPD. Il est exigé que les entreprises fournissent un niveau de protection de données personnelles raisonnable mais il n'y a pas d'exigence détaillée sur la manière dont les organisations doivent mettre en œuvre le RGPD au sein de leurs processus métiers. Ainsi, les organisations doivent elles-mêmes évaluer leurs processus métiers et mettre en œuvre un plan d'action pour s'y conformer.

La question de recherche centrale (QR) est la suivante. **QR : Comment la communauté scientifique BPM envisage la conformité des processus métiers aux RGPD ?**

Nous avons développé notre étude afin de répondre aux sous-questions plus spécifiques : *QR1 : La gestion des processus métiers offre-t-elle un ensemble suffisant de méthodes et outils pour assurer la conformité au RGPD dans les organisations ?* et *QR2 : A quelles étapes du cycle de vie d'un processus métier interviennent les impacts de la conformité au RGPD ?*

De plus, nous avons examiné séparément les impacts du RGPD sur la *conception de nouveaux processus* (avec un objectif d'intégrer les normes RGPD "by design") et sur *l'évolution des processus existants* (avec un objectif d'établir la conformité aux normes plus tard dans leur cycle de vie), ceci nous a permis de définir deux autres sous-questions : *QR3 : Comment les praticiens intègrent le RGPD dans les processus métiers existants ?* et *QR4 : Comment les normes RGPD sont intégrées à la conception du processus ?*

3.2. Étude de Sources bibliographiques

Nous avons choisi de suivre la méthode de recherche proposée par (Zhang et al., 2011) qui consiste à définir les termes et les chaînes de recherches pour la recherche automatique via les différents moteurs de recherche. Par la suite, nous avons complété par une recherche manuelle. En complétant et en évaluant dans les deux sens la recherche manuelle et la recherche automatique, il a été possible de définir un ensemble de publications pertinentes sur lesquelles nous avons effectué la technique nommée « effet boule de neige » qui repose sur les différentes références que les auteurs ont utilisées dans les publications qui constituent notre revue de littérature.

3.2.1. Recherche automatique

Les mots clefs utilisés pour la recherche reprennent les termes de "RGPD" et "Business process" avec certains synonymes de ce dernier comme "BP", "workflow", "workflow system", "Business Process System", "BPM", "Business process management". Nous avons utilisé quatre bases de données en ligne parmi les plus connues et représentatives du domaine en utilisant des chaînes de recherche à partir des syntaxes et des règles définies : IEEE Xplore, ACM Digital Library, SpringerLink et ScienceDirect (cf Tableau 1).

Nous avons ensuite établi une liste de critères à respecter pour chacun des articles à conserver pour notre étude, soit en critères d'inclusion, soit en critères d'exclusion.

Tableau 1. Résultat de la recherche automatique

Sources	Requêtes	Résultat
SpringerLink	("GDPR" OR "General Data Protection Regulation") AND ("Business process" OR "Business process system" OR "BPM" OR "BP")	145
IEEE XPLORE	((("Document Title":GDPR) OR ("Abstract":GDPR)) AND ((("Abstract":Business process) OR ("Document Title":Business process)) OR ("Abstract":BPM) OR ("Document Title":BPM)))	456
ACM DIGITAL	[Publication Title: gdpr] AND [Abstract: business process] AND [Abstract: business process management] AND [Abstract: general data protection regulation]	667
ScienceDirect	("GDPR" OR "General Data Protection Regulation") AND ("Business process" OR "Business process system" OR "Business Process Management" OR "BP")	130

Critères d'inclusion : la source (a) est un article de recherche ou conférence et accessible en ligne, (b) est en anglais, (c) le titre ou le résumé est conforme aux chaînes de recherche définie, (d) fait partie des bases de données définies ci-dessus et (e) comporte une réponse de conformité RGPD au processus métier.

Tableau 2. Résultat de la recherche manuelle

Étapes	Description de l'étape	Nombre d'articles
Recherche automatique	Elaboration de la liste des sources de recherche et des requêtes de recherches	SpringerLink : 145 IEEE XPLORE : 456 ACM Digital : 667 Science Direct : 130
Premier filtrage	Application des critères d'inclusions et d'exclusions, puis lecture des articles un à un (abstract, titre et mots-clefs) pour établir le QGS.	40
Recherche « boule de neige »	Méthodes de Snowballing : on se base sur les différentes références que les auteurs ont utilisées dans les publications qui constituent notre QGS.	51 : [1] - [51]

Critères d'exclusion : la source (a) n'est pas un article scientifique (article de Blog, Magazine ou Journal grand public), (b) est antérieure à 2005, (c) ne comporte pas de résumé, (d) est une étude dupliquée et (e) s'intéresse à la conformité du RGPD sans évoquer de solutions répondant aux problèmes pour les processus métiers.

3.2.2. Recherche manuelle

Une fois la sélection terminée, tous ces articles identifiés sont utilisés pour former le quasi-gold standard. A partir de celui-ci, nous allons effectuer la méthode de l'effet boule de neige pour étendre notre bibliographie.

Suite au protocole de recherche défini, nous avons établi une liste de 51 articles afin d'effectuer notre analyse. Pour la simplicité de présentation, nous avons regroupé ces articles dans la première partie de notre bibliographie et ajouté un index numérique.

4. Extraction et Analyse des Données

Nous examinons ici l'ensemble des 51 articles sélectionnés afin de caractériser la recherche de manière quantitative et qualitative. Nous avons extrait et exploité les données sur la *date de publication*, le *thème principal*, le *type de recherche* et le *rapport avec une étape spécifique du cycle de vie du processus selon BPM*.

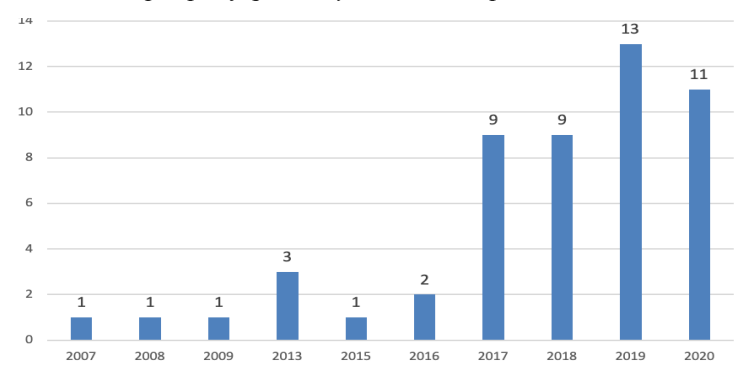


Figure 1 : Distribution des articles examinés par année de publication

La Figure 1 illustre la distribution des articles selon leur année de publication. Cette distribution démontre que l'intérêt par rapport aux problématiques de traitement de données personnelles dans le BPM a été exprimé avant l'apparition officielle du RGPD. Le nombre croissant de publications ces 3 dernières années démontre que la conformité au RGPD est un problème traité par la communauté BPM.

4.1. Classifications des articles selon des thèmes

Nous avons procédé à une lecture des articles sélectionnés et nous avons identifié 6 thèmes principaux (certains articles peuvent étudier plusieurs thèmes):

Modélisation : Ce thème comprend tous les articles présentant une méthode de modélisation, un outil de modélisation ou une proposition de modèle pour la conformité d'un processus métier au RGPD. En effet, il peut s'agir d'un outil de modélisation, de modèles existants sur le RGPD ou bien de modèles d'aide à l'élaboration de processus métiers.

Langage : Ce thème comprend principalement le langage BPMN et son évolution pour répondre à la conformité du RGPD. Ce thème comprend également les articles évoquant des langages permettant de rendre un modèle de processus conforme au RGPD.

Évaluation : Ce thème correspond à l'utilisation de méthodes et outils permettant d'évaluer les systèmes d'information des entreprises et les données afin d'élaborer des processus métiers conformes aux RGPD.

Exigences : Ce thème comprend toutes techniques et outils permettant de définir les exigences en lien avec le RGPD.

Contrôle : Ce thème comprend les méthodes et outils permettant de faire des contrôles sur les processus existants.

Exploration : Ce dernier thème comprend principalement les méthodes de fouille de processus au service du RGPD et des processus métiers.

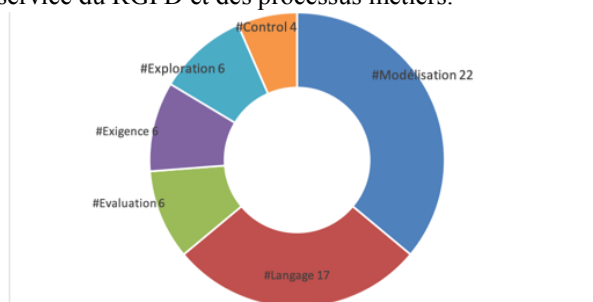


Figure 2 : Résultat de la classification par thème.

D'après nos résultats, le thème comportant le plus d'articles est « Modélisation » (22 articles). Plusieurs articles évoquent des solutions ou méthodes de modélisation (autres que BPMN) visant la conformité des PM aux RGPD. Certains articles proposent des modèles de conceptions de PM propres à chaque contrainte du RGPD. D'autres articles proposent des modèles UML ou modèles de conception d'aide à la modélisation - des modèles représentant les différentes contraintes du RGPD pour une meilleure compréhension des relations des diverses contraintes.

« Langages » est le deuxième thème le plus évoqué (17 articles). Une majorité d'articles évoque la conformité des processus métiers au RGPD via l'évolution du BPMN. BPMN est le formalisme le plus couramment utilisé pour représenter les processus métiers. BPMN est conçu pour être un langage extensible, il peut être utilisé pour créer des extensions pour de nouveaux artefacts dans les diagrammes BPMN. Un large nombre d'articles propose des solutions d'extensions de BPMN pour représenter les tâches liées à la protection des données. La deuxième solution la plus évoquée dans ce thème vise à intégrer le modèle juridique du RGPD dans un processus métier. Par exemple, le modèle DAPRECO [25][32][38] propose un formalisme et définit un référentiel de règles RGPD écrites en LegalRuleML - un standard pour représenter le contenu sémantique et logique des documents juridiques.

« Exploration », « Évaluation » et « Exigences » sont représentés par 6 articles chacun. Ces 3 thèmes présentent des solutions évoquées dans la mise à place de la conformité au RGPD des processus métiers. Concernant l'exploration, les solutions évoquées concernent la méthode de la fouille de processus. En effet, il s'agit d'explorer les logs des processus métiers pour viser la conformité du RGPD. Pour le thème de l'évaluation, les articles évoquent des méthodes d'évaluation des systèmes d'information par les acteurs afin d'élaborer des PM adaptés aux contraintes du RGPD. Et enfin le dernier thème concerne les exigences et les articles évoquent plus

précisément les exigences de sécurité et de confidentialité. En effet, les articles proposent des méthodes afin d'analyser ses exigences pour une meilleure compréhension de celles-ci afin de permettre une conception de PM plus efficace.

Le thème le moins évoqué par notre liste de sources est le thème du « Contrôle » (4 articles). Les seuls contrôles proposés concernant les processus métiers existants concernent les contrôles d'accès et d'habilitation afin d'effectuer des contrôles sur chaque activité exécutée.

Tableau 3. Analyse selon le thème

Thème	Articles du SLR
Modélisation	[1][3][4][5][7][8][11][13][14][15][17][22][23][24][26][31][32][33][42][44][47][48]
Langage	[1][2][5][6][14][19][21][30][35][36][37][38][39][40][42][43][47]
Évaluation	[2][4][18][25][34][45]
Exigences	[10][15][27][28][37][46]
Contrôle	[12][16][33][41]
Exploration	[9][20][29][49][50][51]

4.2. Classification des articles selon le type de recherche

Nous avons établi 3 types d'articles selon le type de recherche utilisée :

Recherche théorique : Ce type d'article a pour objectif d'établir une problématique ou question de recherche afin d'y répondre en déterminant les concepts clefs, les théories et les idées préexistantes en lien avec le sujet choisi sans proposer de solutions pratiques.

Recherche proposant une solution sans validation empirique : Ce type d'article consiste en une proposition de solutions à un problème ou question de recherche défini sans validation empirique c'est-à-dire aucune preuve d'observation ou d'expérimentation pour la solution proposée.

Recherche proposant une solution avec validation empirique : par ce type, nous avons regroupé les articles proposant une solution à un problème ou question de recherche défini avec une validation/preuve empirique (des exemples de cas pratiques, des expérimentations sont évoqués dans les articles).

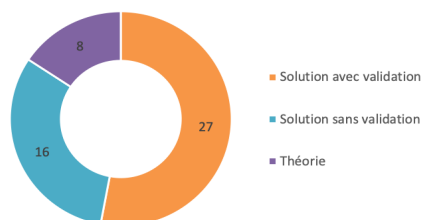


Figure 3. Résultat de la classification par type de recherche

Des “recherches proposant une solution avec validation empirique” sont présentées dans 27 articles. Parmi les travaux examinés, un grand nombre d'articles proposent des solutions pour la conformité des processus métiers au RGPD avec des preuves empiriques. Ces preuves sont principalement des démonstrations suite à des observations/expérimentations ou des validations par les pairs. Ces articles sont également accompagnés de cas pratiques pour démontrer les solutions proposées. Ainsi, ils proposent non seulement un aspect théorique avec une approche ou méthodologie bien définie mais également un aspect pratique en démontrant la mise en œuvre de leurs solutions et analysant les observations et résultats obtenus.

Tableau 4. Analyse selon le type de recherche

Type	Articles du SLR
Recherche théorique	[13][25][29][32][34][38][41][46]
Recherche proposant une solution sans validation empirique	[1][3][8][10][14][15][17][21][22][27][31][33][39][44][45][50]
Recherche proposant une solution avec validation empirique	[2][4][5][6][7][9][11][12][16][18][19][20][23][24][26][28][30][35][36][37][40][42][43][47][48][49][51]

4.1.3. Classification selon l'étape du cycle de vie d'un Processus Métier (d'après BPM)

16 articles présentent des “recherches proposant une solution sans validation”. Ces articles présentent des solutions qui ne sont pas (encore) implémentées ou validées ; aucune analyse des observations ou résultats obtenus suite à la mise en œuvre n'est évoquée.

Finalement, 8 articles présentent des “recherches théoriques”. Ce qui correspond bien à la nature très appliquée du sujet (conformité au RGPD). Ces articles ont principalement pour objectif de définir les concepts clefs et théories concernant les contraintes du RGPD et l'impact au niveau des processus métiers.

L'objectif de cette analyse est d'identifier les étapes du cycle de vie du PM comportant le plus grand nombre d'études et de recherches concernant la conformité au RGPD mais également en identifiant les étapes comportant des lacunes, un manque de recherche ou ne comportant pas de solutions bien définies. Les quatre étapes du cycle de vie d'un PM sont le Design, la Configuration, l'Exécution et l'Évaluation.

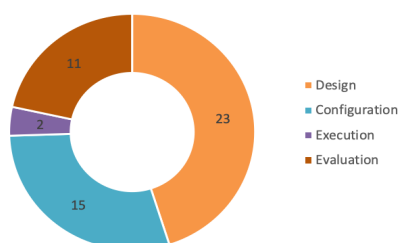


Figure 4. Résultat de la classification par étape du cycle de vie selon BPM

Le “*Design*” est l'étape la plus présentée par les articles scientifiques (23 articles). Les chercheurs proposent un grand nombre de modèles de PM conformes aux contraintes du RGPD. La notion de conformité s'articule autour de la notion de but / finalité. [12] propose d'associer les processus métiers avec un ou plusieurs objectifs permettant d'identifier les finalités et de classer les types de données collectées, en conformité avec le RGPD. [44] présente un modèle conceptuel du RGPD qui intervient comme un outil d'aide à la modélisation de processus métiers. C'est un outil pour aider à l'élaboration d'une politique de confidentialité organisationnelle. L'objectif est de l'utiliser comme un cadre de référence pour conduire la définition des règles de confidentialité car il fournit une vue d'ensemble pratique mais concrète du RGPD. En comprenant l'état existant des activités de traitement des données dans une organisation et en les instanciant dans le modèle, les zones de conformité partielle ou de non-conformité peuvent être identifiées à partir desquelles des politiques internes peuvent être construites et même renforcées et des actions peuvent être menées au niveau de l'élaboration des processus métiers. Une autre application potentielle de ce modèle peut être le développement d'extensions de langages de modélisation conformes au RGPD. [3] évoque les 7 principales contraintes du RGPD et un processus métier est défini pour chacun d'eux grâce aux langages BPMN.

L'étape de “*Configuration*” est considérée par 15 articles. Cette étape permet de s'intéresser à la configuration que nous pouvons mettre en place pour mettre en œuvre le processus métier (ressources organisationnelles, composants SI). L'intégration directe des exigences du RGPD dans la configuration et par la suite à l'exécution des processus métier représente un aspect clé à la fois pour la gestion de la confidentialité et la validation pour les entreprises. [11] et [19] proposent une approche qui utilise le modèle juridique du RGPD pour enrichir un processus métier d'annotations qui expriment des exigences de protection des données.

L'étape “*d'Évaluation*” est prise en compte par 11 articles. Ces articles évoquent principalement des techniques et méthodes d'analyse à partir des logs existants pour analyser les processus métiers et être conforme au RGPD. Une grande majorité des articles évoquent la nécessité de revoir la conception des processus métiers suite à l'analyse. [29][49][50] évoquent une solution de conformité RGPD orientée entreprise en se basant sur l'utilisation de fouille de processus (process mining). [29] prévoit d'utiliser et d'améliorer les techniques de fouille de processus pour résoudre les problèmes tels que le contrôle de conformité des processus métiers.

L'étape “*d'Exécution*” est présentée dans 2 articles. Les auteurs de [16] proposent une intégration directe des exigences du RGPD dans l'exécution des processus métiers via l'utilisation de services de sécurité tels que les contrôles d'accès. Cela peut représenter un aspect clé à la fois pour la gestion et l'assurance de la confidentialité. Le faible nombre d'articles centrés sur cette étape du cycle de vie peut indiquer que le retour d'expérience et les solutions pour une analyse de conformité RGPD en “run time” sont toujours en cours de développement.

Nous pouvons conclure que la communauté considère que l'élaboration d'un nouveau processus métier reste pour le moment une solution plus efficace pour répondre à la conformité du RGPD par rapport à l'évolution d'un processus déjà existant.

Tableau 5. Analyse selon la phase du cycle de vie

Phase	Articles du SLR
Design	[3][7][8][10][11][12][13][15][17][22][23][24][26][27][28][31][32][33][36][44][46][47][48]
Configuration	[1][2][5][6][14][19][21][30][35][37][38][39][40][42][43]
Exécution	[16][41]
Évaluation	[4][9][18][20][25][29][34][45][49][50][51]

5. Discussion

Suite à notre analyse, nous pouvons répondre à nos questions de recherche définies pour cette étude : **Comment la communauté scientifique BPM envisage la conformité des processus métiers aux RGPD ?**

QR1 : La gestion des processus métiers offre-t-elle un ensemble suffisant de méthodes et outils pour assurer la conformité au RGPD dans les organisations ?

Beaucoup de publications (Figure 1) illustrent un grand intérêt de la communauté scientifique BPM pour le sujet de protection de données. Les techniques et les méthodes de modélisation, d'analyse et d'évaluation de processus métiers sont considérées comme des outils des plus importants pour les entreprises afin d'assurer la conformité au RGPD. La plupart des contributions scientifiques étudiées proposent des solutions pratiques (avec ou sans validation) - ce qui illustre une grande valeur appliquée (Figure 3).

QR2 : A quelles étapes du cycle de vie interviennent les impacts de la conformité au RGPD ?

Toutes les étapes du cycle de vie d'un processus métier sont concernées par la conformité du RGPD et représentées par les articles de recherche (Figure 4). Il est important d'initier les processus métiers conformes au RGPD mais également de surveiller le fonctionnement et le flux des données dans la phase d'évaluation. Dans la classification par thème de l'analyse quantitative, les étapes les plus approfondies qui ont été remontées sont les étapes de design et de la configuration.

QR3 : Comment les praticiens intègrent le RGPD dans les processus métiers existants ?

D'après notre étude, peu de recherches rapportent des résultats sur des processus métiers déjà existants (étape d'exécution) et leur mise en conformité "at run time" (Figure 4). Certaines contributions sont axées sur le Contrôle et l'Exploration (Figure 2), où la conformité (ou l'absence de conformité) au RGPD peut être détectée en utilisant des techniques de fouille de processus.

QR4 : Comment les normes RGPD sont intégrées à la conception du processus ?

Le "Design" est l'étape la plus alimentée par la communauté scientifique (Figure 4). Elle comporte un nombre important de solutions pertinentes et d'aide à la modélisation des processus métiers conformes au RGPD. L'intérêt pour cette étape peut s'expliquer par l'effet qu'elle comporte un coût budgétaire plus faible. En effet, la prise en compte du RGPD dès le départ permet d'éviter plusieurs difficultés telles que le fait de retravailler sur plusieurs points du projet nécessitant la conformité qui peuvent impliquer des coûts supplémentaires mais également un retard dans la mise en production. De plus,

lorsque la conformité est prise en compte dès le démarrage, le risque de poursuites judiciaires pour cause de manquement est réduit comparé à la mise en place de la conformité sur des processus existants.

En examinant les différentes étapes de cycle de vie BPM, nous avons identifié les deux étapes les plus impactées par RGPD: l'étape de Design où la communauté scientifique cherche à assurer la conformité RGPD en amont, par des techniques de modélisations et d'analyse de modèles; et l'étape d'Évolution, où la communauté cherche à valider la conformité RGPD en aval, par exemple par des techniques de fouille de processus.

La communauté scientifique envisage le BPMN comme un langage adéquat pour viser la conformité du RGPD. Un grand nombre d'articles évoquent des solutions d'évolution du BPMN pour représenter les processus métiers. Suite à l'exécution des processus métiers, les méthodes d'explorations sont soulevées par certains articles pour surveiller et contrôler la conformité des processus métiers. L'objectif étant de s'assurer que les processus métiers liés au RGPD soient continuellement surveillés. Les écarts entre les processus modélisés et les traces générées par les journaux doivent être identifiés, optimisés et initier les changements des processus futurs conformes au RGPD.

Les techniques de fouille de processus sont très efficaces pour évaluer les processus métiers et envisager une re-conception après avoir fait une analyse des violations existantes dans le processus métier. L'objectif étant d'effectuer un suivi des processus liés au RGPD. Les étapes de surveillance sont très importantes pour les entreprises, car depuis la mise en place du RGPD, les entreprises ont l'obligation de prouver qu'elles se conforment à celui-ci. Ainsi, les logs et les techniques de fouille de processus permettent d'établir les preuves nécessaires (données supprimées, accès, finalités, etc.).

6. Conclusion

Traditionnellement, n'ayant pas d'obligation en place, les organisations et les entreprises traitent les données personnelles de personnes, dans quelques cas sans consentement explicite, avec des finalités d'utilisation non définies, les conservant pour des périodes illimitées et même les sous-louant à d'autres entreprises. Le règlement européen sur la protection des données impose depuis le 25 mai 2018 de nouvelles contraintes aux entreprises concernant le traitement des données à caractère personnel. Par conséquent, cela engendre de grands changements organisationnels comme le déploiement de personnes dédiées à la protection des données, la modification des politiques d'accès aux données, la formation du personnel pour améliorer la culture et la sensibilisation à la confidentialité, des modifications techniques comme la mise à jour des processus métiers.

Le RGPD influence fortement la façon dont les organisations doivent aborder la confidentialité des données, les forçant à repenser et à mettre à niveau leurs processus métiers afin de s'y conformer. Pour de nombreuses organisations, cela peut être une tâche complexe, car jusqu'à présent, très peu de travaux ont été réalisés pour identifier facilement les problèmes de confidentialité dans les processus métiers. Notre étude avait pour but d'examiner cette problématique afin de faire ressortir les solutions envisagées, les avantages et les limites des recherches scientifiques sur la conformité des processus

métiers au RGPD. Nous avons effectué un focus sur chaque étape du cycle de vie d'un processus métier afin d'y observer les recherches menées jusqu'à aujourd'hui. Nous constatons que la conformité est à prendre en compte dans toutes les étapes du cycle de vie d'un processus métier, notamment les étapes de modélisation et de configuration. Certaines recherches proposent des solutions alternatives dans les deux autres phases comme les contrôles d'accès ou la fouille de processus. Il est à noter que 40% des articles ne présentent pas de preuves empiriques et/ou solutions de mise en œuvre. En effet, l'entrée en vigueur du RGPD datant de 2018, les recherches concernant la conformité des processus métiers au RGPD n'en sont qu'à leurs débuts.

Par conséquent, l'objectif d'un grand nombre de chercheurs est de mettre en œuvre ces solutions afin d'analyser les résultats obtenus et d'effectuer une validation de la solution. Une fois avoir validé la solution, il s'agira d'établir une approche pour la mise en œuvre de celle-ci dans les entreprises. De plus, un deuxième domaine peu évoqué mais pouvant être intéressant dans les travaux futurs concerne le transfert des données à des tiers. Le RGPD a des règles précises concernant les acteurs qui peuvent transférer des données à d'autres parties, quand ces transferts peuvent avoir lieu et dans quelles circonstances les autres parties peuvent ou doivent supprimer, produire ou stocker des données. Ainsi, il serait intéressant de proposer des solutions pour les entreprises sur cet aspect du RGPD qui est peu évoqué actuellement.

Pour finir, ce présent travail est une étape préliminaire pour recenser les solutions visant la conformité des processus métiers au RGPD. Afin de poursuivre ce travail, il serait pertinent de s'intéresser également (a) au RGPD en amont des processus en se focalisant sur l'impact du règlement sur l'ingénierie des exigences et (b) à l'aspect infrastructure impactée par le RGPD, ainsi qu'aux problématiques de circulation et de stockage des données concernées. Nous souhaitons également étudier la mise en œuvre des solutions proposées par la communauté scientifique sur des cas pratiques réels pour les entreprises.

Bibliographie utilisée dans la revue systématique de la littérature

1. (Agarwal et al., 2017) Agarwal S., Kirrane S., Scharf J. (2017). Modelling the general data protection regulation. Internationales Rechtsinformatik Symposium (IRIS)
2. (Agarwal et al., 2018) Agarwal S., Steyskal S., Antunovic F., Kirrane S. (2018) Legislative Compliance Assessment: Framework, Model and GDPR Instantiation. Annual Privacy Forum (APF 2018), Barcelona, Spain
3. (Agostinelli et al., 2019) Agostinelli S., Maggi F.M., Marrella A., Sapio F. (2019) Achieving GDPR Compliance of BPMN Process Models. Information Systems Engineering in Responsible Information Systems (CAiSE 2019) Lecture Notes in Business Information Processing, vol 350. Springer, Cham.
4. (Ahmadian et al., 2018) Ahmadian A., Strüber D., Riediger V., Jürjens J. (2018). Supporting privacy impact assessment by model-based privacy analysis. Annual ACM Symposium on Applied Computing (SAC '18), pp 1467–1474
5. (Ahmed et Matulevičius, 2014) Ahmed N., Matulevičius R. (2014). Securing Business Processes using Security Risk-oriented Patterns. Computer Standards & Interfaces. Vol 36, Issue 4, pp 723-733
6. (Altuhhova et al., 2013) Altuhhova O., Matulevičius R., Ahmed N. (2013) An Extension of Business Process Model and Notation for Security Risk Management. International Journal of Information System Modeling and Design.

7. (Antignac et al., 2016) Antignac T., Scandariato R., Schneider G. (2016) A Privacy-Aware Conceptual Model for Handling Personal Data. *Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation: Foundational Techniques. ISoLA 2016*.
8. (Arba et Arba, 2019) Arba R. et Arba A. (2019) Business Process Modeling of a GDPR Compliant System for Research Project Management. *Journal of Applied Computer Science & Mathematics*. 13(2):14-18
9. (Arfelt et al., 2019) Arfelt E., Basin D., Debois S. (2019) Monitoring the GDPR. *Computer Security – ESORICS 2019. Lecture Notes in Computer Science*, vol 11735. Springer, Cham.
10. (Bartolini et al., 2017) Bartolini C., Muthuri R., Santos C. (2017) Using Ontologies to Model Data Protection Requirements in Workflows. *New Frontiers in Artificial Intelligence (JSAI-isAI 2015). Lecture Notes in Computer Science*, vol 10091. Springer, Cham
11. (Bartolini et al., 2019) Bartolini C. Calabrò A. Marchetti E. (2019). Enhancing Business Process Modelling with Data Protection Compliance: An Ontology-based Proposal. *International Conference on Information Systems Security and Privacy*. 421-428.
12. (Basin et al., 2018) Basin D., Debois S., Hildebrandt T. (2018) On Purpose and by Necessity: Compliance Under the GDPR. *Financial Cryptography and Data Security (FC 2018). Lecture Notes in Computer Science*, vol 10957.
13. (Besik et Freytag, 2020) Besik, S. I., & Freytag, J. C. (2020). Managing Consent in Workflows under GDPR. In *ZEUS* (pp. 18-25).
14. (Bonatti et al., 2020) Bonatti P.A., Kirrane S., Petrova I.M., Sauro L. (2020). Machine Understandable Policies and GDPR Compliance Checking. *KI - Künstliche Intelligenz*, vol. 34, pp. 303-315
15. (Buchmann et al., 2017) Buchmann E., Anke J. (2017). Privacy Patterns in Business Processes. *Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik (Informatik 2017)*, Germany
16. (Calabrò et al., 2019) Calabrò, A., Daoudagh, S., Marchetti, E. (2019) Integrating Access Control and Business Process for GDPR Compliance: A Preliminary Study. *Italian conference on Cyber Security (ITASEC 2019)*.
17. (Capodiceci et Mainetti, 2020) Capodiceci A., Mainetti L. (2020) A Structured Approach to GDPR Compliance. *Digital Transformation of Collaboration (COINs 2019). Springer Proceedings in Complexity*. Springer, Cham.
18. (Capodiceci et Mainetti, 2019) Capodiceci A., Mainetti L. (2019) Business process awareness to support GDPR compliance. *International Conference on Information Systems and Technologies (ICIST 2019)*.
19. (Bartolini et al., 2019) Bartolini C., Calabrò A., Marchetti E. (2019). GDPR and business processes: an effective solution. *International Conference on Applications of Intelligent Systems (APPIS'19)*. 1-5.
20. (Chitanut et Sotarat, 2020) Chitanut T., Sotarat T. (2020) A Data Masking Guideline for Optimizing Insights and Privacy Under GDPR Compliance. *International Conference on Advances in Information Technology (IAIT2020). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 22*, pp. 1–9.
21. (Gerl and Meier, 2019) Gerl A., Meier B. (2019) The Layered Privacy Language Art. 12 – 14 GDPR Extension – Privacy Enhancing User Interfaces . *Datenschutz Datensich. Vol. 43*, pp 747–752.
22. (Gonçalves et al., 2017) Gonçalves A., Correia A., Caviqve L. (2017) Data Protection Risk Modeling into Business Process Analysis. *Computational Science and Its Applications (ICCSA 2017)*
23. (Heuck et al., 2017) Heuck E., Hildebrandt T., Lerche R., Marquard M., Normann H., Strømsted R., Weber B. (2017) Digitalising the General Data Protection Regulation with Dynamic Condition Response Graphs. *BPMN 2017*.
24. (Kühnel et Zasada, 2018) Kühnel S. Zasada A. (2018). An Approach Toward the Economic Assessment of Business Process Compliance. *Lecture Notes in Computer Science*. pp 228-238.

25. (Lioudakis et al., 2020) Lioudakis G.V., Koukovini M.N., Papagiannakopoulou E.I., Dellas N., Kalaboukas K., Medeiros de Carvalho R., Hassani M., Bracciale L., Bianchi G., Juan-Verdejo A., Alexakis S., Gaudino F., Cascone D., Barracano P. (2020) Facilitating GDPR Compliance: The H2020 BPR4GDPR Approach. *Digital Transformation for a Sustainable Society in the 21st Century. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 573. Springer, Cham.
26. (Matulevičius et al., 2020) Matulevičius R., Tom J., Kala K., Sing E. (2020) A Method for Managing GDPR Compliance in Business Processes. *Advanced Information Systems Engineering (CAiSE 2020)*.
27. (Matulevičius et Ahmed, 2013) Matulevičius R., Ahmed N. (2013). Eliciting Security Requirements from the Business Processes Using Security Risk-Oriented Patterns. *Information Technology*.
28. (Menzel et al., 2009) Menzel M., Thomas I., Meinel C. (2009). Security Requirements Specification in Service-Oriented Business Process Management. *International Conference on Availability, Reliability and Security (ARES 2009)*. pp. 41 - 48.
29. (Mozafari Mehr, 2019) Mozafari Mehr A. (2019) Compliance to data protection and purpose control using process mining technique. *BPM Doctoral Consortium 2019: International Conference on Business Process Management*, pp. 108-113.
30. (Notario et al., 2017) Notario N., Ciceri E., Crespo A., Real E., Catallo I., Vicini S. (2017). Orchestrating Privacy Enhancing Technologies and Services with BPM Tools: The WITDOM Data Protection Orchestrator. *International Conference on Availability, Reliability and Security (RES '17)*. No.: 89 pp. 1–7
31. (Palmirani et Governatori, 2018) Palmirani M., Governatori G. (2018) Modelling Legal Knowledge for GDPR Compliance Checking. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, Vol. 313: Legal Knowledge and Information Systems
32. (Palmirani et al., 2018) Palmirani M., Martoni M., Rossi A., Bartolini C., Robaldo L. (2018) Legal Ontology for Modelling GDPR Concepts and Norms. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, Vol. 313: Legal Knowledge and Information Systems.
33. (Pilipchuk et al., 2018) Pilipchuk R., Seifermann S., Heinrich R. (2018) Aligning Business Process Access Control Policies with Enterprise Architecture. *Central European Cybersecurity Conference*, pp. 1-4.
34. (Priyadharshini et Shyamala, 2018) Priyadharshini G., Shyamala K. (2018) Strategy and Solution to comply with GDPR : Guideline to comply major articles and save penalty from non-compliance. *International Conference on IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud (I-SMAC 2018)*, pp. 190-195.
35. (Pullonen et al., 2017) Pullonen P., Matulevičius R., Bogdanov D. (2017) PE-BPMN: Privacy-Enhanced Business Process Model and Notation. *Business Process Management (BPM 2017)*. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 10445.
36. (Pullonen et al., 2019) Pullonen, P., Tom, J., Matulevičius, R. et al. Privacy-enhanced BPMN: enabling data privacy analysis in business processes models. *Softw Syst Model* 18, 3235–3264 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10270-019-00718-z>
37. (Ramadan et al., 2020) Ramadan, Q., Strüber, D., Salnitri, M., Jürjens J., Riediger V., Staab S. (2020) A semi-automated BPMN-based framework for detecting conflicts between security, data-minimization, and fairness requirements. *Software System Model*. vol 19.
38. (Robaldo et al., 2019) Robaldo L., Bartolini C., Palmirani M., Rossi A., Martoni M., Lenzini G. (2019) Formalizing GDPR Provisions in Reified I/O Logic: The DAPRECO Knowledge Base. *Journal of Logic Language and Information*. 29, pp 401–449.
39. (Robol et al., 2017) Robol M. Salnitri M., Giorgini P. (2017). Toward GDPR-Compliant Socio-Technical Systems: Modeling Language and Reasoning Framework. *IFIP Working Conference on The Practice of Enterprise Modeling*. pp. 236-250.

40. (Rodriguez et al., 2007) Rodriguez A., Fernández-Medina E., Piattini M. (2007). A BPMN Extension for the Modeling of Security Requirements in Business Processes. *IEICE Transactions on Information and Systems*. E90D. 10.1093/ietisy/e90-d.4.745.
41. (Roosendaal, 2020) Roosendaal A. (2020) DPIAs in practice – a strategic instrument for compliance . *Datenschutz Datensich*. vol. 44, pp. 166–168
42. (Salnitri et al., 2017) Salnitri, M., Dalpiaz, F., Giorgini, P. (2017) Designing secure business processes with SecBPMN. *Software System Model*. 16, 737–757.
43. (Sang et al., 2015) Sang K.S., Zhou B. (2015) BPMN Security Extensions for Healthcare Process, *IEEE International Conference on Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing*, Liverpool, pp. 2340-2345,
44. (Tom et al., 2018) Tom J., Sing E., Matulevičius R. (2018) Conceptual Representation of the GDPR: Model and Application Directions. *Perspectives in Business Informatics Research (BIR 2018) Lecture Notes in Business Information Processing*, vol 330. Springer.
45. (Toots et al., 2019) Toots A., Tuuling R., Yerokhin M., Dumas M., García-Bañuelos L., Laud P., Matulevičius R., Pankova A., Pettai M. Pullonen P., Tom J. (2019) Business Process Privacy Analysis in Pleak. *Fundamental Approaches to Software Engineering (FASE 2019)*. Lecture Notes in Computer Science, vol 11424. Springer, Cham.
46. (Voglhofer and Rinderle-Ma, 2020) Voglhofer T., Rinderle-Ma S. (2020) Collection and Elicitation of Business Process Compliance Patterns with Focus on Data Aspects. *Business and Information Systems Engineering*, vol. 62, pp. 361–377
47. (Winter et al., 2020) Winter, K., van der Aa, H., Rinderle-Ma, S., & Weidlich, M. (2020). Assessing the Compliance of Business Process Models with Regulatory Documents. In *International Conference on Conceptual Modeling* (pp. 189-203). Springer, Cham.
48. (Wolter et al., 2008) Wolter C., Menzel M., Meinel C. (2008). Modelling Security Goals in Business Processes.. *Modellierung 2008*. pp. 197-212.
49. (Zaman et al., 2019) Zaman R., Cuzzocrea A., Hassani M. (2019) An Innovative Online Process Mining Framework for Supporting Incremental GDPR Compliance of Business Processes. *IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, pp. 2982-2991,
50. (Zaman et Hassani, 2019) Zaman R., Hassani M. (2019). Process mining meets GDPR compliance: the right to be forgotten as a use case. *ICPM Doctoral Consortium 2019*
51. (Zaman et Hassani, 2020) Zaman R., Hassani M. (2020) On Enabling GDPR Compliance in Business Processes Through Data-Driven Solutions. *SN COMPUT. SCI*. vol. 1, pp. 210

Bibliographie utilisée dans l'article

- (Kitchenham et Charters, 2007) Kitchenham B.A., Charters S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering.
- (Zhang et al., 2011) Zhang H. Ali Babar M. Tell P. (2011) Identifying relevant studies in software engineering. *Information & Software Technology*. vol.53, pp. 625-637.
- (Brereton et al., 2007) Brereton, P., Kitchenham, B. A., Budgen, D., Turner, M., & Khalil, M. (2007). Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of systems and software*, 80(4), 571-583.
- (Levy et Ellis, 2006) Levy, Y., Ellis, T. J. (2006). A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research.
- (Weske, 2010) Weske M. (2010). *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures* (1st. ed.). Springer Publishing Company, Incorporated.
- (EU, 2016) Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation) <http://data.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>

Une Gestion de Ressources Sensible au Contexte & Opportuniste pour les Systèmes d'Information Pervasifs

David Beserra¹, Manuele Kirsch-Pinheiro¹, Carine Souveyet¹

1. Centre de Recherche en Informatique, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne
90 rue de Tolbiac, 75013 Paris, France

David-Willians.Beserra@univ-paris1.fr; Manuele.Kirsch-Pinheiro@univparis1.fr;
Carine.Souveyet@univ-paris1.fr

RESUME. Les Systèmes d'Information sont en train d'évoluer, en intégrant de ressources plus hétérogènes et mobiles, en complément aux ressources disponibles dans les centres de calcul et les plateformes cloud. Parmi les tendances conduisant à cette nouvelle génération, nommée Système d'Information Pervasif, se trouve le fog computing. Ce paradigme favorise une utilisation opportuniste des ressources en périphérie du réseau en déplaçant le traitement de données à proximité des utilisateurs et des sources de production. Néanmoins, l'hétérogénéité des environnements fog complexifie la gestion des ressources, et notamment l'ordonnancement des services nécessaires aux SIP. Nous proposons ici une architecture conceptuelle pour un gestionnaire de ressources d'un SIP qui favorise une gestion opportuniste de celles-ci, ainsi que son algorithme d'ordonnancement. Cette solution se caractérise par l'utilisation des informations de contexte pour : (i) guider l'ordonnancement de tâches dans ces environnements hétérogènes et dynamiques ; et (ii) exprimer les politiques relatives à l'usage des ressources et les exigences des services pour leur exécution).

ABSTRACT. Information Systems are evolving, integrating more and more mobile & heterogenous resources, in addition to those traditionally available on data centers and cloud platforms. Among the current trends leading to this new generation, called Pervasive Information Systems, we may cite the fog computing. This paradigm promotes an opportunistic use of devices on the edge of the network, by bringing computation nearest the user and the data production. Nevertheless, heterogeneity of fog environments complexify the resource management, and notably the task scheduling. In this paper, we tackle this issue by proposing a conceptual architecture supporting an opportunistic resource management of fog resources on PIS. The cornerstone of the solution is the use of context information for (i) guiding the tasks scheduling on heterogeneous & dynamic environment; and (ii) expressing the resources & services policies conditioning their use.

Mots-clés : Utilisation opportuniste de ressources, Gestion de Ressources Sensible au Contexte, Systèmes d'Information Pervasifs.

KEYWORDS: Opportunistic use of resources, Context-aware Resource management, Pervasive Information System.

1. Introduction

Les Systèmes d'Information évoluent rapidement ces dernières années, en intégrant de plus en plus de dispositifs mobiles et hétérogènes, ainsi que des capteurs et des dispositifs embarqués pour l'IdO (Internet des Objets) (Xu *et al.* 2014), en complément aux ressources issues des plateformes de *cloud computing*. Cette nouvelle catégorie de SI est appelée Système d'Information Pervasif (SIP). L'intégration d'environnements pervasifs au SI doit permettre d'améliorer les processus métier, les interactions avec les utilisateurs, mais également de capturer les données issues de l'environnement et des infrastructures informatiques de façon à adapter leur comportement selon la situation.

Plusieurs tendances technologiques peuvent être associées à ce phénomène : l'IdO, le *Big Data*, mais aussi le *fog computing*. Le terme *fog computing* est souvent utilisé pour exprimer l'idée de services proches des utilisateurs et des sources de production des données (Bonomi *et al.* 2012), permettant ainsi d'obtenir une expérience utilisateur de meilleure qualité et une latence réduite. Par exemple, les entreprises situées dans un centre commercial pourraient utiliser les ressources placées directement sur l'infrastructure informatique du centre pour fournir des services à la demande à leurs clients, sans avoir à déployer ces services sur des ressources distants. En ramenant le traitement des données à la frontière du réseau, le paradigme *fog computing* offre une alternative intéressante aux solutions complètement basées sur le *cloud computing*, notamment pour les applications de l'IdO (Hong et Varghese. 2019).

Le *fog computing* propose l'utilisation de dispositifs bas-de-gamme en tant que serveurs de proximité, lesquels peuvent exécuter des services basiques et prétraiter des données. Néanmoins, l'hétérogénéité et le caractère dynamique de tels dispositifs requièrent un placement pertinent des services (Breitbach *et al.* 2019). En effet, ces dispositifs peuvent avoir des capacités très différentes en termes de quantité de mémoire RAM, de performance de CPU, d'espace de stockage, et de bande passante réseau. De plus, la connectivité réseau de ces dispositifs ne peut pas non plus être garantie, car ils ne sont pas aussi fiables que les serveurs *cloud* (Hao *et al.* 2017). L'usage de ressources *fog* ouvre également la possibilité d'un partage de ressources entre organisations, comme dans l'exemple d'un centre commercial, où plusieurs entreprises pourraient se partager des ressources sur la même infrastructure. La gestion des ressources dans ce type d'environnement devient un problème majeur dans l'univers *fog* (Ghobaei-Arani *et al.* 2019).

Puisque les applications *fog* sont typiquement réparties sur plusieurs ressources hétérogènes, décider à quelle ressource est affectée l'exécution d'une tâche est plus difficile que dans les environnements *cloud* (Hao *et al.* 2017). Plus que jamais l'ordonnancement dans ces environnements doit prendre en compte les capacités des ressources disponibles ainsi que leur état actuel, ceci conduit à considérer la notion de contexte et sa gestion. La sensibilité au contexte peut être vue comme la capacité d'un système à observer son environnement et à adapter son comportement en fonction des changements observés (Baldauf *et al.* 2007). L'information de contexte peut être utilisée pour caractériser l'état actuel de la ressource dans cet environnement

dynamique, offrant des indications importantes sur la capacité qu'une ressource a pour exécuter (ou non) une tâche donnée. Utiliser ces informations pour l'ordonnancement de services ouvre de nouvelles perspectives pour un ordonnancement « intelligent » et opportuniste. Par exemple, dans l'exemple du centre commercial, on pourrait imaginer l'exécution d'un service appartenant à une entreprise A sur une ressource appartenant à une entreprise B, lors que les ressources appartenant à A sont surchargées et que celles de B seraient inoccupées (ou peu sollicitées).

Un ordonnancement opportuniste essaie de profiter des ressources disponibles, en fonction de leurs capacités et de leurs restrictions d'usage, d'une façon indéterministe. Au lieu de considérer l'optimisation d'un pool de ressources dédiées, comme dans l'ordonnancement traditionnel utilisé dans le calcul haute performance, l'objectif ici, est de permettre l'exécution de services sur des ressources de proximité lorsque cela est possible et sans les surcharger, alors que leur rôle initial n'est pas d'exécuter ce genre de tâche.

Néanmoins, pour qu'un tel ordonnancement sensible au contexte soit possible dans les SIP, une architecture conceptuelle supportant la capture, la gestion, et l'exploitation du contexte pour l'ordonnancement de services doit être proposée. Les caractéristiques de l'information de contexte comme l'incertitude et sa nature dynamique (Kirsch-Pinheiro et Souveyet, 2018) doivent être prises en compte dans l'algorithme de décision. De plus, le SIP doit pouvoir évoluer en fonction de l'organisation et de son environnement physique. L'extensibilité est un facteur clé pour les futures applications et infrastructures, car il faut pouvoir : (i) disposer d'une gestion modulaire permettant de modifier chaque élément de l'architecture ; (ii) changer les critères de décision de l'algorithme d'ordonnancement, si nécessaire, sans qu'il soit nécessaire de modifier l'algorithme d'ordonnancement. Donc, le gestionnaire de ressources doit pouvoir être aussi extensible.

Par ailleurs, les problèmes causés par une gestion centralisée des ressources sensible au contexte peuvent être accentués. En effet, plus la latence pour obtenir et traiter les informations de contexte et prendre une décision est importante, plus grand est le risque que ces informations deviennent obsolètes (puisque que le contexte évolue) et perdent leur utilité.

Dans cet article, nous proposons une architecture conceptuelle distribuée pour la gestion de ressources conçue plus particulièrement pour supporter l'hétérogénéité et la dynamique des environnements *fog*, ainsi que les besoins d'extensibilité des SIP. Nous discutons aussi des politiques qui s'expriment au niveau des ressources et des services pour la mise en œuvre d'un ordonnancement sensible au contexte pour les environnements pervasifs.

Cet article est organisé de la façon suivante : la section 2 est dédiée à l'état de l'art spécifique au *fog computing* ; la section 3 introduit notre architecture conceptuelle, alors que la section 4 présente les politiques qui peuvent être exprimées au niveau des ressources et des services, et l'algorithme d'ordonnancement utilisant ces politiques, avant de conclure par la section 5.

2. Etat de l'art

Plusieurs aspects affectent la gestion de ressources, nous commençons par l'organisation générale du gestionnaire. Généralement, les solutions adoptées par les plateformes *fog* s'appuient sur des serveurs centralisés, ce qui peut limiter l'évolutivité de ces solutions, car toutes les informations nécessaires à la prise de décision doivent être envoyées à une ressource centrale, ce qui peut surcharger le réseau si de nombreuses ressources doivent être gérées simultanément. De plus, la ressource utilisée pour gérer l'environnement peut devenir surchargée par l'excès de données à traiter, et cela peut entraîner une latence dans la prise de décision, ce qui peut augmenter la latence dans l'exécution des services. C'est aussi le cas de nombreuses solutions basées sur des topologies hybrides (Breitbach *et al.* 2019) (Edinger *et al.* 2017) (Garcia-Lopez *et al.* 2015), dans lesquelles un serveur est en charge d'un ensemble de ressources dans un certain périmètre.

En outre, les environnements *fog* peuvent être partagés entre plusieurs entités avec le but d'optimiser leur utilisation et leur efficacité énergétique. Les ressources peuvent héberger des applications appartenant à plusieurs utilisateurs (Hong et Varghese 2019), et pas nécessairement toutes ces applications seront exécutées par la plateforme *fog*. Le gestionnaire de ressources n'est pas nécessairement en charge de tous les services en exécution sur chaque ressource, ce qui rend essentiel l'observation de l'état de la ressource. Ainsi, le contexte d'exécution de ces ressources doit être considéré à des fins d'ordonnement.

La notion de contexte peut être définie comme toute l'information pouvant être utilisée pour caractériser la situation d'une entité (une personne, un endroit, un objet, etc.) considérée comme pertinente à l'interaction entre un utilisateur et un système (Dey 2001). Différentes informations peuvent être considérées comme étant des informations de contexte, selon l'objectif du système : la mémoire disponible, la charge de la CPU, le stockage disponible, la connexion réseau, etc. Des travaux comme (Cassales *et al.* 2016) (Kumar *et al.* 2012) démontrent l'intérêt de considérer des informations de contexte dans l'ordonnement de services pour des environnements hétérogènes. Différents auteurs, comme (Breitbach *et al.* 2019) (Edinger *et al.* 2017), ont traité cette question dans les environnements *fog*. Edinger *et al.* (2017) propose un ordonnanceur tolérant aux défaillances dans lequel un *broker* collecte des informations de contexte issues des nœuds *fog* et estime leur fiabilité afin de placer les services dans les nœuds les plus appropriés. Breitbach *et al.* (2019) se concentrent sur le placement des données, en essayant d'estimer la quantité de répliques nécessaires pour obtenir une certaine donnée ainsi que le degré de stabilité de chaque nœud. Là aussi, nous observons la présence d'un *broker* centralisé.

Nous pensons que, pour fournir une gestion de ressources opportuniste pour les environnements *fog*, il est nécessaire de fournir un ordonnement de services sensible au contexte et de considérer une organisation décentralisée où les ressources peuvent collaborer sans un élément central de manière à exécuter des services sur cet environnement sans nécessairement avoir de connaissances préalables sur ces services. Nous proposons ainsi une architecture capable de répondre à ces exigences. Cette architecture identifie un ensemble d'éléments permettant la mise en place de solutions évolutives et extensibles. Une telle architecture évolutive est une étape

obligatoire pour l'introduction de plateformes de *fog computing* dans les SIP, étant donné que ces systèmes doivent évoluer en même temps que les besoins et les restrictions de leurs organisations.

3. Une architecture de Gestion de Ressources Sensible au Contexte

Dans notre architecture, les entités gérées par le gestionnaire de ressources sont essentiellement les Ressources et les Services proposés par un SIP à ces utilisateurs. Les *Ressources* (c'est-à-dire les nœuds) sont définies par leur habilité à exécuter des services. Les *Services* sont des modules d'application autonomes qui sont proposés au gestionnaire de ressources à travers des mécanismes de sélection de services (hors du cadre de ce travail) et que doivent être ordonnancés et exécutés.

Dans l'architecture proposée, la gestion de ressources est répartie et le gestionnaire de ressources est idéalement présent sur chaque ressource. L'organisation physique des ressources est organisée dans un réseau pair à pair (P2P). L'architecture du gestionnaire est composée d'un ensemble de modules dont chacun est chargé d'accomplir une fonction spécifique, et chaque ressource exécute une instance de chaque module. Figure 1 illustre l'ensemble des modules composant l'architecture.

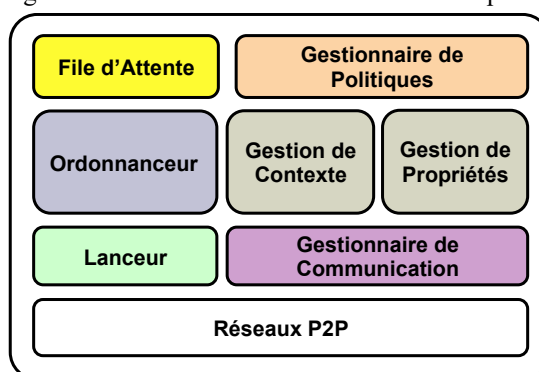


Figure 1. Architecture conceptuelle du gestionnaire de ressources.

Le composant « *Gestionnaire de Communication* » assure la communication entre les gestionnaires de ressources installés dans les nœuds voisins. Il maintient la liste de ressources voisines connues. Les communications possibles entre les ressources sont : (i) envoyer/recevoir une tâche à exécuter après une décision prise par un ordonnanceur ; et (ii) envoyer/recevoir des informations de contexte (ou des propriétés) depuis la ressource pour aider l'ordonnanceur dans sa décision.

À son tour, la « *File d'Attente* » est le composant responsable pour recevoir les services qui seront proposés à l'ordonnanceur local. Nous faisons l'hypothèse que certaines connaissances préalables sur les services sont disponibles avant leur soumission, comme son niveau de priorité et son propriétaire (l'organisation qui génère la tâche). Le composant File d'Attente notifie aussi l'ordonnanceur lorsque des nouveaux services arrivent.

Le service d'ordonnancement requiert, pour sa prise de décision, des informations sur la ressource et sur les services à exécuter. Nous considérons ces informations comme faisant partie de deux catégories distinctes : un ensemble de *propriétés*, et un ensemble d'*éléments de contexte*, nommé *contexte*. Le contexte et les propriétés sont définis pour chaque ressource ainsi que pour chaque tâche à exécuter. Les propriétés sont considérées comme des informations stables, ne changeant pas (ou peu) en fonction du temps, alors que les informations de contexte sont des informations plutôt dynamiques, que l'on observe en temps d'exécution.

Pour être en mesure de gérer les propriétés et les informations de contexte de façon à rendre ces informations utiles pour la gestion des ressources, nous avons ajouté deux autres composants à notre architecture : le « *Gestionnaire de Contexte* », et « *Gestionnaire de Propriétés* ». Le premier est responsable pour gérer le contexte de la ressource locale, accéder au contexte du service considéré et pour demander le contexte des ressources voisines quand nécessaire. Il est aussi responsable pour évaluer les exigences des services par rapport aux informations de contexte. Le second est responsable pour accéder et manipuler les propriétés d'une ressource locale ou d'une tâche considérée par l'ordonnanceur (local ou issu d'une ressource voisine).

Par ailleurs, dans notre architecture, les *politiques* doivent être définies extérieurement à l'algorithme de décision et au gestionnaire, à la fois au niveau des ressources comme au niveau des services. Du point de vue d'une ressource, les politiques sont utilisées pour exprimer des conditions qui permettent de contrôler (et de limiter) son utilisation de manière opportuniste (c'est-à-dire, on peut réduire « l'espace d'opportunités » d'utilisation d'une ressource). Du point de vue d'un service, les politiques expriment les conditions dans lesquelles le service peut être exécuté ou les conditions dans lesquelles il serait préférable de ne pas l'exécuter. Le composant de notre architecture en charge de l'accès et de la manipulation des politiques définies pour la ressource locale ainsi que les politiques liées aux services qui seront considérées par l'ordonnanceur est le « *Gestionnaire des Politiques* ».

L'élément central de l'architecture est l'« *Ordonnanceur* ». Il est chargé de décider si et quand un service pourra être exécuté dans la ressource locale. Pour prendre sa décision, il utilise le gestionnaires des politiques, de contexte, et de propriétés afin d'évaluer si les politiques de la ressource locale et du service en considération sont satisfaites ou non. En fonction de cette évaluation, le module d'ordonnancement peut décider de : (i) exécuter le service localement ; (ii) l'envoyer vers une autre ressource voisine ; ou (iii) le remettre dans la file d'attente locale.

Finalement, le composant « *Lanceur* » permet de mettre un service en exécution sur la ressource locale, après une décision favorable de l'ordonnanceur. Le défi ici reste l'hétérogénéité des technologies qui peuvent être utilisées pour implémenter les services. L'utilisation de micro-services représente une approche intéressante pour surmonter ce défi. Les services peuvent avoir des dépendances locales pour leur bonne exécution (p. ex : besoin d'une bibliothèque spécifique). Pour l'ordonnanceur ces dépendances sont considérées comme étant des propriétés liées aux ressources et aux services et qui peuvent être exprimées à travers les politiques. Ces concepts (propriétés, politiques) sont définis dans la section suivante. Le lanceur n'a à résoudre les dépendances qu'en cas d'exécution du service.

Comme nous l'avons vu dans cette section, l'architecture proposée a comme plus-value l'usage des notions de contexte, de propriétés, et des politiques. La prochaine section détaille ces trois notions et comment elles peuvent être utilisées pour gérer des ressources dans notre architecture.

4. Contexte, Propriétés, et Politiques pour la Gestion de Ressources

L'utilisation opportuniste de ressources requiert la définition de *politiques* à la fois pour l'usage des ressources et pour l'exécution des services. Ces politiques seront considérées lors du processus d'ordonnancement. Dans cette section, nous présentons et discutons un méta-modèle qui englobe toutes les entités gérées par le gestionnaire de ressources, ainsi que la formalisation de politiques de gestion.

4.1. Méta-modèle des entités manipulées par le gestionnaire de ressources

Le méta-modèle présenté dans la Figure 2 décrit un ensemble d'entités pertinentes pour la gestion de ressources. Dans celui-ci, nous considérons les entités gérées par le gestionnaire de ressources, à savoir les entités de type *Ressource* et *Service*. Les ressources sont des entités capables d'exécuter des services. À leur tour, les services représentent des modules d'application autonomes définis au niveau de l'entreprise (niveau métier). Ces services sont caractérisés par : (i) l'intention utilisateur satisfaite par leur exécution (c'est-à-dire, un objectif) (Najar *et al.* 2011) ; et (ii) les types de données qu'ils consomment (*input data*) et qu'ils produisent (*output data*) lors de leur exécution.

Ces deux entités sont caractérisées par un ensemble de *propriétés-types*, que nous appelons *propriétés*. Une propriété-type (désormais *propriété*) est définie par un *nom*, un *identificateur*, et une *spécification sémantique*. Pour une propriété avec une seule valeur, une *spécification de valeur* doit être ajoutée, permettant d'indiquer la nature des valeurs qu'elle supporte, alors qu'une propriété de valeur composite doit être désignée par la composition de plusieurs sous-propriétés. Les propriétés sont utilisées pour exprimer une information qui ne change pas (ou peu) en fonction du temps. Dans notre architecture, le gestionnaire de propriétés aide l'ordonnanceur à accéder aux propriétés de la ressource locale et des services analysés par l'ordonnanceur.

Par exemple, un service peut avoir les propriétés suivantes : *processus métier de référence*, *unité organisationnelle* (qui offre le service), *niveau de sécurité requis*, etc. Tous ces exemples peuvent être considérés comme étant des propriétés avec une seule valeur. Néanmoins, la propriété *mémoire installée* d'une ressource peut être définie comme une composition des propriétés *quantité installée* et *fréquence d'opération*. En plus des propriétés techniques de base normalement considérées par les ordonnanceurs (*mémoire installée*, *processeurs*, etc.), les ressources peuvent aussi avoir des propriétés issues du niveau métier, telles que : *unité organisationnelle* (qui dispose principalement de la ressource), et *administrateur*.

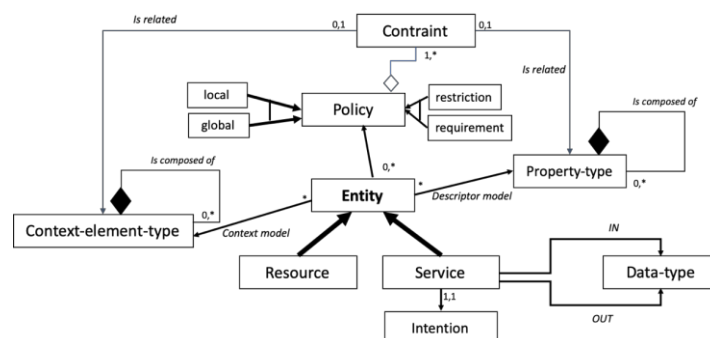


Figure 2. Méta-modèle d'entités utilisées par le gestionnaire de ressources

Les propriétés peuvent être propres à chaque ressource ou service, et leur usage offre plusieurs avantages : (i) permettre la caractérisation et la configuration de ces ressources et services ; (ii) ajouter des informations qui viennent aussi bien du niveau technique que du niveau métier ; et (iii) permettre d'exploiter les informations issues de ces deux niveaux pour la gestion de ressources.

Dans notre méta-modèle, le *modèle de contexte* concentre les informations de contexte relatives aux ressources et aux services. Ces informations évoluent fortement en fonction du temps et requièrent un mécanisme approprié pour les observer. Un modèle de contexte est exprimé comme un ensemble d'*élément-de-contexte-type* (désormais *élément de contexte*). Similairement aux propriétés, chaque élément de contexte doit être défini par un *nom*, un *identificateur*, et une *identification sémantique* correspondant à un modèle de contexte. En outre, un élément de contexte basique doit être caractérisé par une *spécification de valeur* et aussi une référence au *type de capteur* qui l'observe. Un élément de contexte composé est défini par le lien de composition avec ses sous-éléments.

Au niveau technique, nous pouvons observer plusieurs informations de contexte sur une ressource : *nombre de cœurs de processeur disponibles*, *occupation de mémoire*, *nombre de services invités en exécution* (des services appartenant à d'autres organisations, pas celle propriétaire de la ressource), sa *localisation* (pour les ressources mobiles), etc. Toutes ces informations sont considérées comme contexte parce qu'elles peuvent changer en fonction du temps, mais aussi parce que ces informations sont liées à un capteur spécifique afin d'être observées.

Le gestionnaire de contexte gère, pour les éléments de contexte observés, un descripteur de qualité aidant à déterminer la qualité de l'observation. Le gestionnaire de contexte permet ainsi à l'ordonnanceur d'accéder au modèle de contexte associé à la ressource locale et également à celui associé au service considéré. Les modèles de contexte permettent l'usage des informations de contexte sur les ressources et services afin d'exprimer des politiques qui seront utilisées par l'ordonnanceur pour la prise de décision. Ces politiques sont détaillées dans la section suivante.

4.2. Définition de Politiques

Une politique est définie comme une conjonction de contraintes simples, chacune d'entre elles basées sur un élément de contexte ou sur une propriété. Le but d'une politique est d'exprimer l'ensemble d'états souhaités dans lesquels un service peut être exécuté sur une ressource. Ces états sont appelés *exigences*, alors que les politiques exprimant des états interdits sont appelées *restrictions*. Chaque politique a un attribut de pondération (un poids) qui exprime son importance pour l'ordonnanceur.

Les *politiques attachées à une ressource* expriment comment la ressource peut être utilisée de façon opportuniste. Ce genre de politique peut établir une contrainte sur les services autorisés à être exécutés sur une ressource, ou sur le sous-ensemble de ses capacités qui pourront être utilisées pour cela.

Pour illustrer l'utilisation des politiques dans la gestion de ressources, considérons le scénario présenté dans l'introduction où deux entreprises situées dans un centre commercial partagent une infrastructure informatique pour fournir des services à la demande. Les ressources partagées par l'entreprise A sont : un serveur (RA1#), trois notebooks (RA2# à RA5#) et deux écrans tactiles (RA6#, RA7#) positionnés à des emplacements stratégiques du centre commercial. L'entreprise B, quant à elle, partage cinq écrans tactiles (RB#1 à RB#5).

Lors de la modélisation de ce scénario, l'entité *Ressources* a été spécialisée dans les entités *Serveur*, *Notebook*, *Smartphone* et *Écran-Tactile*. L'ensemble de propriétés de ce scénario a toutes les propriétés mentionnées dans les sections précédentes. De même, le modèle de contexte utilisé dans ce scénario contient tous les éléments de contexte mentionnés ci-dessus, ainsi que quelques autres qui peuvent être observés dans les Notebooks et dans les Smartphones : *source-alimentation-en-use*, *niveau-de-charge-batterie*, *temps-de-charge*, et *temps-de-décharge*, etc.

Afin d'assurer ses propres intérêts et donner la priorité à ses propres services (par rapport à ceux issus d'autres organisations), l'Entreprise A énonce les politiques suivantes (politiques de ressources, PR) pour toutes ses ressources :

- **PR1** : une ressource peut utiliser jusqu'à la moitié de ses processeurs pour effectuer des services invités (**exigence**) ;
- **PR2** : une ressource ne doit pas exécuter de services complémentaires si le nombre de cœurs disponibles est inférieur à 2 et si sa température est supérieure à 50 ° C (**restriction**) ;
- **PR3** : une ressource ne doit pas exécuter de services complémentaires si le niveau de charge de sa batterie est inférieur à 40% (**restriction**).

Ces politiques sont résumées comme suit (le premier paramètre est le poids de la politique, tandis que le deuxième correspond à l'entité qui possède la politique, et le troisième correspond aux contraintes associées à la politique) :

- PR1 : (1, Resource, DIF(*service.Owner*, "Enterprise-A") & GTEQUAL(*local_node.context.NumberOfCoresAvailable*, *local_node.property.NumberOfCores/2*));

- PR2 : (2, Resource, LT(*local_node.context.NumberOfCoresAvailable*, 2:0) & GT (*local_node.context.Temperature*, 50:5));
- PR3 : (2, Resource, LT(*local_node.context.BatteryChargeLevel*, 40:10));

Les politiques attachées à un service doivent expliquer ce qui est requis ou interdit sur une ressource pour exécuter le service. Une politique attachée à un service peut faire référence à des informations de contexte ou à des propriétés relatives à une ressource, car l'exécution d'un service sur une ressource donnée est attachée aux capacités disponibles de celle-là, ou à leurs caractéristiques (techniques et administratives).

Suivant notre scénario, l'Entreprise B dispose d'un service (ServiceB1) qui peut être exécuté dans des ressources appartenant à d'autres organisations. Afin de favoriser l'exécution de ses services de manière satisfaisante sur les différentes ressources, l'Entreprise B a défini certaines politiques liées à ce service (politiques de service, PS) :

- **PS1** : Le ServiceB1 nécessite 5 personnes devant la ressource afin d'être exécuté (**exigence**) ;
- **PS2** : Le ServiceB1 ne doit pas être exécuté sur des ressources avec moins de 512 Mo de mémoire disponible (**restriction**) ;
- **PS3** : Le ServiceB1 ne doit pas être exécuté sur des ressources dont le niveau de sécurité assuré est « faible » (**exigence**) ;

Ces politiques pour le ServiceB1 peuvent être résumées comme suit (le premier paramètre est le poids de la politique, tandis que le deuxième correspond à l'entité à qui appartient cette politique, et le troisième correspond à ses contraintes) :

- PS1 : (3, ServiceB1, GT(*local_node.context.Presence*, 5));
- PS2 : (1, ServiceB1, LT(*local_node.context.MemoryAvailable*, 512));
- PS3 : (1, ServiceB1, EQUAL(*local_node.descripteur.SecurityLevel*, *weak*));

Une politique peut être *locale* à un service ou à une ressource, mais elle peut également être *globale* sur un ensemble de services ou de ressources appartenant à une même organisation. Toujours dans l'exemple du centre commercial, les politiques définies pour le ServiceB1 sont des politiques locales à ce service, alors que les politiques définies pour les ressources de l'Entreprise A sont des politiques globales.

Dans une ressource, l'ordonnanceur local utilise les politiques afin de prendre sa décision sur l'exécution (ou non) d'un service localement. L'ordonnanceur fait appel au gestionnaire de politiques pour extraire l'ensemble des politiques (locales et globales) liées à la ressource et l'ensemble des politiques (locales et globales) liées au service. Afin d'aider l'ordonnanceur à évaluer les politiques, le gestionnaire de contexte et le gestionnaire de propriétés extraient respectivement les informations de contexte et les propriétés liées à la ressource *n* et au service *s* et les restreindront aux éléments utilisés dans les politiques.

Une API d'opérateurs est proposée afin d'opérationnaliser l'évaluation des politiques, en gérant la qualité du contexte observé et les éléments de contexte manquants (c'est-à-dire les éléments qui n'ont pas pu être observés). Le résultat renvoyé par ces opérateurs n'est pas un booléen traditionnel mais une valeur réelle entre 0 et 1. Cette valeur indique la proximité entre la valeur observée pour un certain élément de contexte et la valeur attendue pour ce même élément, tout en considérant la qualité de l'information de contexte observée. Des implémentations personnalisées de certains opérateurs fondamentaux sont fournies, tels que : l'égalité (EQUAL), la non-égalité (DIF), inférieure à (LT), supérieure à (GT), etc. Pour illustrer l'utilisation générale des opérateurs, considérons l'opération indiquée dans la politique PR2 EQUAL (*local_node.context.Temperature, 50:5*). Cette opération attend à ce que la valeur observée pour l'élément de contexte *Temperature* soit égale à 50 degrés, et accepte comme observations valables pour cet élément de contexte toutes les observations qui ne varient pas plus que 5 degrés (vers le haut ou vers le bas). Cette fonction renvoie une valeur comprise entre 0 et 1 en fonction de la valeur observée pour l'élément de contexte *Temperature*, de l'intervalle de précision donné, et du descripteur de qualité associé à l'observation.

Les critères utilisés pour les décisions d'ordonnement sont spécifiques à chaque ressource et à chaque service à prendre en compte. Cette personnalisation est soutenue dans notre architecture par la notion de politique et par la gestion du contexte dans la ressource. Dans la section suivante, nous présentons un algorithme d'ordonnement de services sensible au contexte et qui utilise les différents composants de l'architecture de gestionnaire de ressources que nous proposons, ainsi que politiques que nous venons de décrire.

4.3. Un Algorithme d'Ordonnement pour le composant Ordonneur

Au cœur du composant Ordonneur du gestionnaire de ressources il y a un algorithme de prise de décision (Figure 3). Cet algorithme décide de l'exécution (ou non) d'un service (appelé *s* dans l'algorithme) sur la ressource (appelée *local_node* dans l'algorithme). Il se déclenche lorsque le composant file d'attente informe l'ordonneur de l'arrivée d'une demande de service. Pour prendre sa décision, l'algorithme cherche à vérifier l'équilibre entre les exigences (issues de la ressource et du service lui-même) qui peuvent être satisfaites et les restrictions qui s'appliquent, afin d'identifier si l'exécution du service sur la ressource est possible et opportune.

L'algorithme de la Figure 3 prend sa décision sur la base du résultat de la soustraction de la moyenne pondérée de l'évaluation de toutes les restrictions et de la moyenne pondérée de l'évaluation de toutes les exigences. Cette somme représente la proportion des exigences qui ont été satisfaites par rapport aux restrictions satisfaites. Un bonus est appliqué sur ce résultat pour tenir compte de la priorité attribuée au service *s* (ligne rouge de la Figure 3). Si le résultat est supérieur ou égal au *seuil d'exécution local* qui représente la proportion des exigences à respecter par rapport aux restrictions satisfaites ; alors le lanceur est appelé pour exécuter le service localement (troisième ligne bleue de la Figure 3). Si le service ne peut pas être exécuté localement, alors sa priorité est augmentée, et l'incrément de priorité est plus

important si la ressource et le service ont le même propriétaire. Un seuil spécifique est utilisé pour déterminer si le service doit être transféré à un voisin. Si le résultat est inférieur à ce *deuxième seuil*, le service est remis dans la file d'attente locale (quatrième ligne bleue sur la Figure 3). Les seuils sont définis localement par le responsable de chaque ressource. On a deux seuils pour augmenter les possibilités de choix, mais rien n'empêche d'utiliser la même valeur pour le deux.

```

/*
The resource manager is installed on a resource called local_node
S= Service.
PolReq : Collection of requirements policies attached to local_node and service s
PolRest : Collection of restrictions policies attached to local_node and service s
ExecutionContext : Collection of Context elements of the local node and service s
used in the policies belonging to PolReq or PolRest
MissingContext : Collection of Missing context elements of local_node and service s
used in the policies belonging to PolReq or PolRest
Properties : Collection of Properties attached to local_node and service s
used in the policies belonging to PolReq or PolRest
*/
Scheduler.decide(s, PolReq, PolRest, ExecutionContext, MissingContext, Properties)
SUM_Req=SUM_Treq=SUM_Rest=SUM_Trest=SUM=0;

For each req IN PolReq do // requirements handling
SUM_Req = SUM_Req + (req.weight *
evaluationPolicy(req, ExecutionContext, MissingContextElements, Properties));
SUM_Treq = SUM_Treq + req.weight;

For each rest de PolRest do // restrictions handling
SUM_Rest = SUM_Rest + (rest.weight *
evaluationPolicy(rest, ExecutionContext, MissingContextElements, Properties));
SUM_Trest = SUM_Trest + rest.weight;
SUM = ((1 + s.getPriority()) * ((SUM_Req)/(SUM_Treq))) - ((SUM_Req)/(SUM_Trest));
// decide if the service will be executed on the local node
if(SUM >= Scheduler.getThresholdRun())
then Launcher.execute(s);
else
// Increment the priority of the service s
if(s.getOwner() != local_node.getOwner())
then s.setPriority(s.getPriority() + Scheduler.getPriorityIncrementOwner());
else s.setPriority(s.getPriority() + Scheduler.getPriorityIncrementNotOwner());
// Decide to put back the service to the local task queue or to transfer it to a neighbor
if(SUM < Scheduler.getThresholdNeighbor())
then TaskQueue.addAgain(s);
else
// Get the list of neighbors from the communication manager
L_neighbors = CommunicationManager.getNeighbors();
PolRests_Maxweight = PoliciesManager.getMaxWeight-Restriction (PolS);
PolReq_Maxweight = PoliciesManager.getMaxWeight-Re (PolS);
// select the appropriate neighbor.
target = SelectNeighbor(L_neighbors, PolReq, PolRest, Scheduler.getThresholdTransfer());
if (target != null)
then communicationManager.sendService(target, s); // transfer to the selected neighbor
else TaskQueue.addAgain(s);
// end of decide

```

Figure 3. Algorithme d'ordonnement sensible au contexte

Lorsque le service doit être transféré à un voisin, il faut obtenir la liste des voisins à partir du gestionnaire de communication, puis sélectionner le voisin qui sera sollicité. Cette liste de voisins est tenue par le gestionnaire de communication, se basant sur les informations issues du réseau pair-à-pair lui-même. Pour sélectionner le voisin, l'exigence et la restriction les plus pondérées sont sélectionnées dans l'ensemble des politiques attachées au service s . Le premier voisin satisfaisant ces deux politiques est sélectionné. Pour effectuer cette évaluation, le gestionnaire de communication est utilisé pour obtenir le contexte et les propriétés des voisins concernés. Cela implique que les gestionnaires de contexte et de propriétés de chaque voisin puissent fournir les informations requises. Le gestionnaire de communication

prend en charge le transfert de ces informations entre les deux ressources. La cinquième ligne bleue de la Figure 3 exprime la manière dont le service est transféré au voisin sélectionné. À la fin, le service est ajouté dans la file d'attente du voisin sélectionné.

Comme nous l'avons vu dans la section précédente, une politique est une conjonction de contraintes, et la Figure 4 montre l'algorithme d'évaluation d'une politique (*evaluationPolicy*) appelé par l'algorithme de prise de décision. Pour évaluer une politique, l'algorithme nécessite les informations issues de ces politiques (exigences et restrictions). À l'aide du gestionnaire de politiques, le composant Ordonnanceur rassemble dans une même collection les politiques locales et globales, liées soit à la ressource *local_node*, soit au service *s*, et les transmet en tant que paramètre à l'algorithme de prise de décision. Dans cet algorithme, cependant, le traitement est différent si la politique est une exigence ou une restriction ; c'est pourquoi nous avons deux collections appelées *PolReq* et *PolRest* (respectivement collection d'exigences et collection de restrictions attachées à la ressource *local_node* ou au service *s*). L'évaluation de ces politiques nécessite le contexte de *local_node* (appelé *ExecutionContext*). Cette collection est générée par le gestionnaire de contexte et est limitée aux éléments de contexte requis par les politiques de *PolReq* et *PolRest*. Un traitement similaire est effectué grâce au gestionnaire de propriétés afin de produire la collection appelée *Properties*. Le gestionnaire de contexte peut également fournir les éléments de contexte manquants en fonction des politiques à évaluer. Les éléments manquants sont utilisés lors de l'évaluation d'une politique pour calculer une pénalité (voir la deuxième ligne rouge de la Figure 4). Cette pénalité est appliquée pour augmenter l'impact des politiques avec plus d'informations disponibles au détriment des politiques où les informations sont moins disponibles lors de la prise de décision par l'ordonnanceur.

Cet algorithme renvoie un *taux de satisfaction* de la politique (une valeur réelle entre 0 et 1). L'évaluation de chaque contrainte d'une politique nécessite le contexte d'exécution et les propriétés ainsi que les éléments de contexte manquants. La fonction d'évaluation de contraintes invoque l'implémentation correspondante de l'opérateur selon le type des opérandes utilisés dans l'expression de contrainte. Il gère : (i) la situation où la contrainte est basée sur une propriété ; (ii) la situation où l'élément de contexte utilisé dans la contrainte est manquant ; et (iii) la situation où la qualité de l'élément de contexte à considérer doit être utilisée pour estimer sa satisfaction. L'évaluation de la politique est la moyenne de l'évaluation de ses contraintes. Une pénalité basée sur l'incomplétude du contexte d'exécution peut être appliqué à la valeur renvoyée (la troisième ligne rouge de la Figure 4).

Pour illustrer le fonctionnement de l'algorithme de prise de décision par l'ordonnanceur, supposons qu'à un certain moment une instance du ServiceB1 est arrivée à la file d'attente de la ressource RA1# de l'Enterprise A. L'ordonnanceur récupère le ServiceB1 de la file d'attente et va prendre une décision sur son exécution. Pour le faire, il : (i) extrait les exigences et les restrictions du ServiceB1 et de la ressource RA1# avec l'aide du gestionnaire de politiques ; (ii) observe le contexte et les propriétés de RA1# avec l'aide des gestionnaires de contexte et de propriétés ; (iii) appelle l'algorithme de prise de décision pour prendre sa décision.

```

/* policy p
ExecutionContext : Context elements required for all the policies
attached to the local_node and the service s
MissingElements : Missing context elements for all the policies
attached to the local_node and the service s
POR : Properties attached to the local_node and the service s
*/
evaluationPolicy( p, ExecutionContext, MissingElements, POR )
Constraints = p.getConstraints() // Constraints composing the policy p
NbConst=constraints.size() ;
NbContextElements= Constraints.getNbContextElements () ;
RequiredContextElements=Constraints.getRequiredContextElements () ;
NbMissingElement=0;

// Determine the number of missing context elements for the policy p
for each ec in RequiredContextElements do

    if MissingElements.contains(ec)
        then NbMissingElement= NbMissingElement++ ;
SUM=0 ;
for each cons IN Constraints do
    // Evaluation of each constraint
    SUM = SUM + cons.evaluate (ExecutionContext, MissingElements, POR);
//Value must be between 0 and 1
SUM = SUM/NbConst ;
//penalty applied is proportional to the number of missing context elements
penalty = NbMissingElement / NbElementsContextePol ;

//Result is a value where 0 is completely not satisfied and 1 is completely satisfied
satisfactionRate = SUM * (1 – penalty);

RETURN satisfactionRate;
//end of evaluationPolicy

```

Figure 4. Algorithme d'évaluation de politiques

Lors de l'étape (iii), l'algorithme de prise de décision appelle l'algorithme d'évaluation d'une politique décrit par la Figure 4 pour évaluer la conformité entre les politiques et les informations (contexte/propriétés) observées. Supposons qu'à ce moment on vérifie que la politique PS3 du ServiceB1 est satisfaite par la ressource RA1# car le niveau de sécurité assuré par cette ressource (*SecurityLevel*) est élevé. Par contre, les politiques PS1 et PS2 ne sont pas complètement satisfaites par la ressource RA1#, car il n'y a personne devant la ressource (*Presence*) et il n'y a que 256 Mo de mémoire disponible (*AvailableMemory*). En plus, les politiques de la ressource PR1 et PR2 ne sont pas satisfaites non plus car il n'y a pas assez de cœurs de processeur disponibles. Supposons donc que la somme de décision soit inférieure au seuil d'exécution local, mais qu'elle soit encore suffisamment importante pour éviter d'être renvoyée dans la file d'attente local. Dans ce cas, l'ordonnanceur de la ressource RA1# décide de transférer le service à un voisin. Le premier voisin qu'il trouve est la ressource RA4# (un Notebook), mais l'information de contexte *Presence* est manquante et ne permet pas de satisfaire les politiques du ServiceB1, et l'algorithme cherche donc un autre voisin. Finalement, on trouve que le voisin RA6# (un EcranTactile) peut satisfaire les politiques du ServiceB1, car elle a une présence de dix personnes, sa mémoire disponible est de 625 Mo, et son niveau de sécurité est moyen. Par conséquent, l'ordonnanceur de RA1# décide de transférer le ServiceB1 vers la file d'attente de RA6#.

Notre exemple illustre comment l'algorithme d'ordonnancement que nous proposons permet une utilisation opportuniste des ressources. L'idée originale de cet algorithme est d'exploiter des informations issues d'un modèle de contexte ou/et d'un ensemble de propriétés sur les ressources et les services afin d'utiliser une ressource lorsqu'il est possible. Enfin, sa mise en œuvre est extensible car le modèle de contexte, l'ensemble de propriétés, et les politiques peuvent être modifiés.

5. Conclusions

L'un des principaux défis liés au *fog computing* est de fournir des mécanismes d'ordonnancement de services qui puissent faire face à l'hétérogénéité et à la dynamique ce type d'environnement. Dans cet article, nous abordons ce problème en considérant une architecture conceptuelle dans laquelle plusieurs composants collaborent pour proposer un ordonnancement sensible au contexte. Notre objectif avec une telle architecture est de promouvoir une utilisation opportuniste des ressources disponibles en fonction des capacités de chaque ressource et de son contexte d'exécution. Par conséquent, notre objectif n'est pas nécessairement de terminer l'exécution des services plus tôt ou d'optimiser l'utilisation d'un pool de ressources, mais de faire de notre mieux pour exécuter les services chaque fois que cela est possible sans surcharger excessivement les ressources disponibles.

Nous supposons que pour rendre possible ce type de gestion de ressources dans les SIP, des politiques provenant du niveau métier ainsi que du niveau technique doivent être exprimées et le contexte d'exécution des ressources et des services doit être géré de manière appropriée. Une des limitations de notre algorithme d'ordonnancement est qu'il est incapable de résoudre avec précision les incohérences entre les politiques. Il se limite à utiliser les poids des politiques pour favoriser une politique en relation à une autre. Il s'agit d'une conséquence du caractère opportuniste de la proposition : l'algorithme essaie de trouver un équilibre entre les exigences et les restrictions, sans vouloir résoudre les possibles incohérences entre elles, puisque ce qui est évalué est le degré de satisfaction global d'un ensemble de politiques. Néanmoins, l'existence d'un module de gestion des politiques dans notre architecture rend possible la mise en œuvre ultérieure d'un mécanisme de gestion d'incohérences entre politiques avant qu'elles ne soient évaluées par l'ordonnanceur.

Nos travaux futurs consistent, dans un premier temps, à simuler l'algorithme d'ordonnancement proposé afin de valider sa pertinence dans l'objectif de faire un usage opportuniste des ressources dans les SIP. Deuxièmement, nous réfléchissons à la manière d'améliorer la description des exigences, des services et des ressources elles-mêmes afin de faire face aux contraintes des SI, telles que la sécurité.

Bibliographie

- Baldauf, M., Dustdar, S., Rosenberg, F. (2007): A survey on context-aware systems. *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, vol. 2, n° 4, p. 263-277.

- Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J., Addepalli, S. (2012): Fog Computing and Its Role in the Internet of Things. In: Proceedings of the 1st MCC Workshop on Mobile Cloud Computing, p. 13-16. ACM.
- Breitbach, M., Schäfer, D., Edinger, J., Becker, C. (2019): Context-Aware Data and Task Placement in Edge Computing Environments. In: 2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), p. 1-10. IEEE.
- Cassales, G.W., Schwertner Charão, A., Kirsch-Pinheiro, M., Souveyet, C., Steffemel, L.A. (2016): Improving the performance of Apache Hadoop on pervasive environments through context-aware scheduling. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* vol. 7, n° 3, p. 333-345.
- Dey, A. (2001): Understanding and using context. *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 5 n° 1, p. 4-7.
- Edinger, J., Schäfer, D., Krupitzer, C., Raychoudhury, V., Becker, C. (2017): Fault-avoidance strategies for context-aware schedulers in pervasive computing systems. In: 2017 IEEE Int. Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), p. 79-88.
- Garcia Lopez, P., Montresor, A., Epema, D., Datta, A., Higashino, T., Iamnitchi, A. *et al.* (2015): Edge-centric Computing: Vision and Challenges. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 45, n° 5, p. 37-42, ACM.
- Ghobaei-Arani, M., Souri, A., Rahmanian, A. A. (2019): Resource Management Approaches in Fog Computing: a Comprehensive Review. *Journal of Grid Computing*, DOI 10.1007/s10723-019-09491-1.
- Hao, Z., Novak, E., Yi, S., Li, Q. (2017): Challenges and Software Architecture for Fog Computing. *IEEE Internet Computing*, vol. 21, n° 2, p. 44-53.
- Hong, C.-H., Varghese, B. (2019): Resource Management in Fog/Edge Computing: A Survey on Architectures, Infrastructure, and Algorithms. *ACM Comput. Survey*, vol. 52, n° 5, Article n° 97.
- Kirsch-Pinheiro, M., Souveyet, C. (2018): Supporting context on software applications: a survey on context engineering (Le support applicatif à la notion de contexte : revue de la littérature en ingénierie de contexte). *Modélisation et utilisation du contexte*, vol. 2, n° 1, ISTE OpenScience. <https://www.openscience.fr/Le-support-applicatif-a-la-notion-de-contexte-revue-de-la-litterature-en/>.
- Kumar, K. A., Konishetty, V. K., Voruganti, K., Rao, G. V. P. (2012): CASH: context aware scheduler for Hadoop. In: Proceedings of the International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, p. 52-61. ACM.
- Najar, S., Kirsch Pinheiro, M., Souveyet, C. (2011): "The Influence of Context on Intentional Service". 5th Int. IEEE Workshop on Requirements Engineerings for Services (REFS'11), IEEE Conference on Computers, Software, and Applications (COMPSAC'11), Munich, Germany, p. 470-475.
- Xu, B., Da Xu, L. Cai, H., Xie, C., Hu, J., Bu, F. (2014): Ubiquitous data accessing method in iot-based information system for emergency medical services. *IEEE Trans. Industrial Informatics*, vol. 10, n° 2, p. 1578-1586.

Architectures des lacs de données et gestion des métadonnées

Pegdwendé N. Sawadogo, Jérôme Darmont

*Université de Lyon, Lyon 2, UR ERIC
5 avenue Pierre Mendès France, F69676 Bron Cedex, France
{pegdwende.sawadogo, jerome.darmont}@univ-lyon2.fr*

RÉSUMÉ. Bien que le concept de lac de données ait émergé il y a une dizaine d'années, il n'existe pas à ce jour d'architecture ni de système de métadonnées standards. Dans cet article, nous dressons donc une synthèse des différentes approches de conception et de mise en œuvre d'un lac de données (Sawadogo, Darmont, 2021).

ABSTRACT. Although the data lake concept emerged about a decade ago, there are nowadays no standard architecture nor metadata system. Thus, in this paper, we propose a summary of the various approaches for designing and implementing data lakes (Sawadogo, Darmont, 2021).

MOTS-CLÉS : Lacs de données, architectures de lacs de données, gestion de métadonnées

KEYWORDS: Data lakes, data lake architectures, metadata management

Au cours des dernières décennies, nous avons assisté à une croissance exponentielle de la quantité de données produite dans le monde. Ces mégadonnées, communément appelées *big data*, sont caractérisées par des problématiques de volume, de vélocité et d'hétérogénéité qui surpassent les capacités des systèmes traditionnels pour leur stockage et leur analyse. Pour y remédier, Dixon (2010) a introduit le concept de lac de données (LdD). Cependant, ce dernier demeure parfois flou, notamment en ce qui concerne sa mise en œuvre. C'est pourquoi nous proposons dans cet article une analyse des principales approches de conception d'un LdD. Nous nous intéressons en particulier aux architectures de LdD et à la gestion des métadonnées, qui constituent des composantes fondamentales dans la conception d'un LdD.

Nous définissons un LdD comme un système évolutif de stockage et d'analyse de données de tous types, dans leur format natif, utilisé *principalement* par des spécialistes des données (*data scientists, data analysts*) pour l'extraction de connaissances (Sawadogo *et al.*, 2019). Bien qu'étant générique, cette définition n'est toutefois pas la seule dans la littérature. En effet, le concept de LdD est toujours en maturation et il existe différentes façons de le percevoir et de le concevoir.

Ainsi, du point de vue architectural, nous proposons une typologie mettant en exergue deux principales approches de conception. D'une part, les architectures fonctionnelles subdivisent le LdD en couches qui reflètent des fonctions de base : couche

d’ingestion, couche de stockage, couche de traitement, couche d’accès, etc. L’architecture Lambda fait partie de cette catégorie. Elle propose en effet une organisation suivant des couches de stockage et d’accès uniques, ainsi qu’une double couche de traitements, selon la nature des données (en flux ou massives). D’autre part, les architectures basées sur la maturité sont organisées suivant le niveau de raffinement des données. Dans ces architectures, les couches sont communément appelées “zones” et peuvent inclure, par exemple : une zone de transit, une zone de stockage de données brutes, une zone de stockage de données raffinées, une zone de stockage de données fiables, une zone de consommation des données, etc. C’est typiquement le cas du LdD de LaPlante et Sharma (2016). Les approches fonctionnelle et basée sur la maturité proposent chacune une vision pertinente, mais partielle de l’architecture du LdD. Une architecture hybride, spécifiant à la fois les composants fonctionnels et les étapes de maturation des données paraît donc nécessaire pour une meilleure conception du LdD.

À l’image des architectures, plusieurs approches d’organisation des métadonnées des LdD coexistent, principalement basées sur des graphes. Une première approche par graphes se focalise sur le traçage de la provenance des données. Les données sont représentées par des nœuds et les traitements par des arêtes. De cette façon, il est possible de conserver des informations telle que l’utilisateur ou même le script ayant participé à la création de nouvelles données dans le LdD. On peut ainsi assurer la reproductibilité des traitements dans le LdD. Une autre approche d’organisation des métadonnées trace les relations entre données. Par exemple, de telles relations peuvent être des mesures de similarité pour des documents textuels ou des liens de type clé primaire-clé étrangère entre deux tables relationnelles. Elles servent plus tard à la réalisation de tâches telles que la recommandation de données connexes. La modélisation par graphes est particulièrement adaptée au contexte des LdD, car elle offre la flexibilité indispensable à la gestion de données hétérogènes. Cependant, le choix d’un modèle par graphes plutôt qu’un autre n’est pas aisé. Pour guider le choix de l’approche la plus appropriée à chaque cas d’usage, nous proposons un ensemble de six fonctionnalités permettant de comparer les modèles de métadonnées entre eux. Nous montrons ainsi qu’aucune des approches de la littérature n’intègre l’ensemble des métadonnées possibles dans un LdD. De nouveaux modèles de métadonnées plus complets sont donc nécessaires.

Bibliographie

- Dixon J. (2010). *Pentaho, Hadoop, and Data Lakes*. Consulté sur <https://jamesdixon.wordpress.com/2010/10/14/pentaho-hadoop-and-data-lakes/>
- LaPlante A., Sharma B. (2016). *Architecting Data Lakes*. O’Reilly.
- Sawadogo P. N., Darmont J. (2021). On data lake architectures and metadata management. *Journal of Intelligent Information Systems*, vol. 56, n° 1, p. 97-120.
- Sawadogo P. N., Scholly E., Favre C., Ferey É., Loudcher S., Darmont J. (2019). Metadata Systems for Data Lakes: Models and Features. In *1st International Workshop on BI and Big Data Applications (BBIGAP@ADBIS 2019)*, Bled, Slovenia. *Communications in Computer and Information Science*, vol. 1064, p. 440-451. Springer.

Génération automatique de smart contracts avec B-Merode

Victor Amaral de Sousa¹, Corentin Burnay¹, Monique Snoeck²

1. PReCISE Research Center, Université de Namur, Belgique

2. LIRIS Research Center, KU Leuven, Belgique

RÉSUMÉ. La blockchain et les smart contracts offrent diverses opportunités pour le développement et l'amélioration de processus métiers inter-organisationnels. Ce papier est un résumé haut-niveau de l'approche B-Merode. Elle permet de générer des smart contracts supportant ce type de processus sur base de modèles créés avec un langage dédié. Le papier complet a été présenté et publié à CAiSE 2020 (c.f. Amaral de Sousa et al., 2020).

Mots-clés : blockchain, gestion des processus métier, smart contract, ingénierie dirigée par les modèles, MERODE, B-MERODE, méthode

Keywords : blockchain, business process management, smart contract, model-driven engineering, MERODE, B-MERODE, method

DOI:10.3166/RCMA.25.1-n © 2016 Lavoisier [AR_DOI](#)

La blockchain et les smart contracts offrent différentes opportunités pour la gestion des processus inter-organisationnels, entre autres pour leur implémentation, leur exécution et leur surveillance/contrôle. Cependant, lors du développement de telles solutions, les concepteurs et développeurs font face à plusieurs difficultés telles que le manque d'outils adéquats, la courbe d'apprentissage raide derrière ces technologies et le manque de personnes ayant les connaissances et l'expérience requises.

Une approche prometteuse pour le développement de smart contracts dans ce contexte est l'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM). Elle permet de générer du code exécutable sur base d'un ensemble de modèles fournis en entrée. Dans notre article, nous présentons de manière détaillée une approche et un langage permettant de modéliser des processus inter-organisationnels, et de générer automatiquement des smart contracts supportant ces processus sur la blockchain. Le langage et l'approche proposés sont dérivés de MERODE (c.f. Snoeck, 2014) et organisés en plusieurs couches et sous-modèles afin de tenir compte des spécificités de la blockchain, comme illustré sur la Figure 1.

La couche inférieure (domaine) définit les différents « business artefacts » (les entités tangibles ou conceptuelles qui sont clés dans le processus), avec leurs attributs, leurs relations (à l'aide du graphe d'existence-dépendance) et leurs cycles de vie (avec des machines à états finis). Le tableau objet-événement permet de faire le lien entre les deux et de synchroniser les cycles de vies de différents business artefacts.

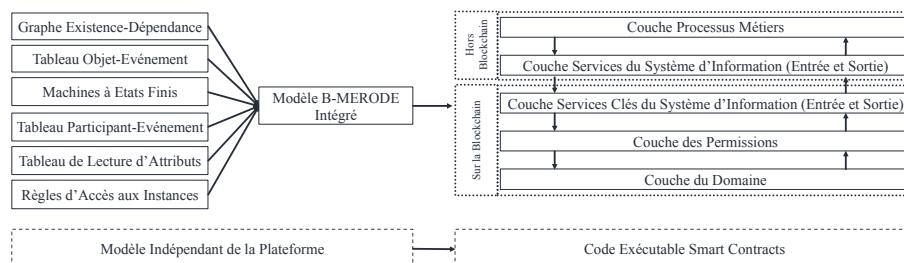


Figure 1 - Couches et Modèles B-Merode

La seconde couche permet de définir les permissions du processus, avec trois modèles différents : le tableau participant-événement, les règles d'accès aux instances et la table de lecture des attributs. La troisième couche représente l'interface des smart contracts qui sont générés. Elle est composée de services clés du système d'information, qui permettent de récupérer des données du domaine (services de sortie) et de manipuler ces données (services d'entrée). Ces trois premières couches sont gérées sur la blockchain, et sont partagées entre les participants du processus. Pour générer le code exécutable de ces trois premières couches, il est nécessaire de spécifier les sous-modèles mentionnés. Ces modèles, ainsi que le modèle B-MERODE intégré, sont indépendants de la plateforme de destination.

La quatrième couche définit les services du système d'information. Ces services peuvent être utilisés pour gérer les appels aux services clés du système d'information. Ils restent à la discrétion des différents participants du processus. Enfin, la dernière couche (supérieure) définit les processus métiers (activités et leurs séquences) internes des participants. Les activités peuvent faire appel aux services du système d'information pour interagir avec la blockchain et/ou d'autres systèmes. Ces processus restent également à la discrétion des participants, mais ne pourront en aucun cas violer les règles définies au niveau du domaine et des permissions. Les deux dernières couches ne sont pas gérées sur la blockchain.

Un cas d'étude visant à démontrer la faisabilité de l'approche a été développé autour du contexte d'une chaîne d'approvisionnement de riz. Comparé aux approches existantes qui appartiennent au même paradigme, B-Merode offre davantage de flexibilité, de possibilités de réutilisation, et tire davantage profit de l'IDM. Ce faisant, cette solution permet de faciliter le développement et le prototypage de solutions utilisant la blockchain pour supporter des collaborations inter-organisationnelles.

Bibliographie

- Amaral de Sousa V., Burnay C., Snoeck M. (2020). B-MERODE: A Model-Driven Engineering and Artifact-Centric Approach to Generate Blockchain-Based Information Systems. *Actes de l'International Conference on Advanced Information Systems Engineering 2020*, Grenoble, France.
- Snoeck M. (2014). *Enterprise information systems engineering. The MERODE Approach*. Switzerland, Springer International Publishing.

A Preliminary Study of IoT Multidisciplinary View in the Industry

Rebeca Campos Motta^{1,2}, Káthia Marçal de Oliveira¹ and
Guilherme Horta Travassos²

1. Univ. Polytechnique Hauts-de-France, LAMIH, CNRS, UMR 8201,
F-59313 Valenciennes, France
rebeca.camposmotta@etu.uphf.fr ; kathia.oliveira@uphf.fr

2. Universidade Federal do Rio de Janeiro, PESC, COPPE
Rio de Janeiro, Brazil
rmotta@cos.ufrj.br ; ght@cos.ufrj.br

RÉSUMÉ. Cet article présente une étude menée auprès de professionnels afin d'extraire leur perception de la pluridisciplinarité impliquée dans des projets pour l'Internet des Objets. Les résultats préliminaires montrent que toutes les facettes proposées (qui représentent la multidisciplinarité) ont été identifiées comme pertinentes. La Connectivité, le Comportement et l'Interactivité étant signalées comme les facettes les plus pertinentes. De plus, il a été suggéré de définir Données séparément de la facette Comportement.

ABSTRACT. This short article presents a study conducted with professionals to extract their perception of the multidisciplinary involved with the Internet of Things projects. Preliminary results show that all proposed facets (that represent the multidisciplinary) were identified as pertinent, being Things, Connectivity, Behavior, and Interactivity pointed out as the most pertinent ones. Moreover, it was suggested to define Data separately from the Behavior facet.

Mots-clés : Internet des objets; génie logiciel fondé sur des preuves

Keywords: Internet of Things; evidence-based software engineering

1. Introduction

IoT Internet of Things (IoT) allows composing software systems from uniquely addressable objects (Things) equipped with identifying, sensing, or actuation behaviors and processing capabilities that can communicate and cooperate to reach a goal (Motta *et al.*, 2019). Being a multidisciplinary domain, it comprises many areas from technical to societal and business. This multifaceted view of IoT was captured in the IoT Conceptual Framework with IoT Facets' concept (Motta *et al.*, 2018). This paper presents a study based on interviews with IoT professionals to observe their perception of the pertinence of the defined IoT facets and recover their current concerns.

This article is part of more comprehensive research. Its main contribution is validation of the IoT Facets to strengthen all this research, paving the way for other experimental studies and directing evidence-based software engineering in this research.

2. The IoT Conceptual Framework

The IoT Conceptual Framework was proposed based on the evidence of different experimental studies (Motta *et al.*, 2018; Motta, 2019). The Framework organization has three core concepts adapted for the IoT context: (i) the IoT Facets (Motta *et al.*, 2018), (ii) the Systems Engineering Life Cycle (BKCASE Governing Board, 2014), (iii) and the Zachman Framework (Sowa and Zachman, 1992). The organization aims to give an overview of IoT requirements and activities considering the knowledge areas and disciplines related to different engineering phases. Having such a conceptual structure provides a clear view of relevant information to support IoT engineering.

This article is concerned only with the IoT Facets defined in the first concept that is the one to deal with the IoT multidisciplinary. The Facets emerged from data analysis from inputs of technical literature, practitioner's workshops, and a Government Report (Motta *et al.*, 2018) being flexible enough to cover IoT particularities. The two other concepts are out of the scope of this article.

The first concept is often overlooked during the development but is crucial for successful IoT solutions (Giusto, 2010). Considering a specific problem domain, different knowledge areas, and disciplines involved in IoT engineering. We named those areas and disciplines IoT Facets. We define Facets as "one side of something many-sided" (Oxford Dictionary), "one part of a subject, a situation that has many parts" (Cambridge Dictionary). From a literature review (Kitchenham, 2004) that considered 15 secondary studies, we defined the following IoT Facets (Motta *et al.* 2018): Connectivity, Things, Behavior, Smartness, Interactivity, and Environment. Figure 1 presents the IoT Facets definition.

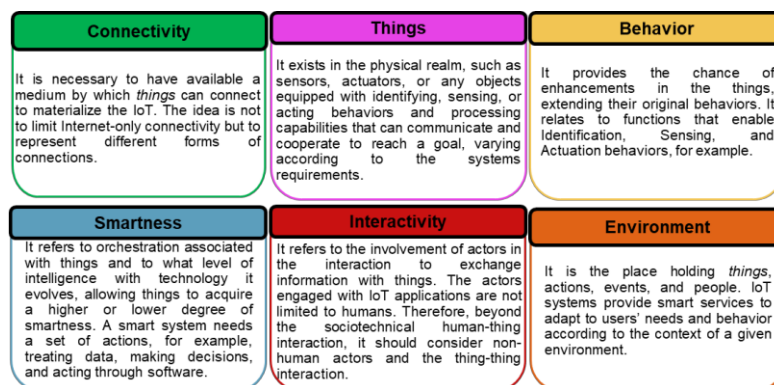


Figure 1. IoT Facets.

3. A Study in Industry: Structured Interviews

After defining the IoT Facets, we wanted to confirm this proposition and strengthen it with an industry perspective. Therefore, we conducted a study to understand the pertinence of the facets identified according to software practitioners' perception of IoT software systems' engineering. The pertinence was observed through the applicability, influence, and usage of each facet. For this, we interviewed professionals working on the early stages (problem definition, requirements analysis, and initial planning) of IoT software systems projects to observe their perception. We decided to focus on the early stages since translating a problem into a software solution is the primary challenge. During this conception phase, decisions and directions affect the overall solution (Pfleeger and Atlee, 1998).

Material. The study package¹ is available online and included an invitation explaining its objectives, a consent form to be signed by the participants, and a questionnaire. The questionnaire was divided between a characterization section and an evaluation section with three main questions. The questions were:

- RQ1: Are the facets **pertinent** to IoT software systems engineering at the project's early stages?
 - RQ1.1: Are the facets **applicable** to IoT software systems engineering at the project's early stages?
 - RQ1.2: Do the facets **influence** decision-making in IoT software systems engineering at the project's early stages?
 - RQ1.3: Are the facets **used** in IoT software systems engineering at the project's early stages?
- RQ2: How are the facets taken into account in the early stages of IoT software systems projects?
- RQ3: Is there any additional facet pertinent to IoT software systems engineering at the project's early stages that is not present in this set?

The facets were evaluated individually. According to the dictionary, pertinent is to have clear decisive relevance to the matter in hand (Merriam-Webster) and can be observed through applicability, influence, and usage – as we used in this study. This part of the questionnaire contained the facet definition and a Visual Analogue Scale (continue line with labels in each extreme from "Not Applicable" to "Totally Applicable") to capture the perception expressed in subjective values for the applicability, influence, and usage of such Facet. The RQ2 and RQ3 were performed as open questions in a structured interview style. It could enable a freer discussion and capture information such as the impact of the facets in the development and which facet is harder to achieve or measure.

Pilot interview. Two collaborators with relevant experience in IoT and software development participated in the pilot. The purpose was to verify the materials and

¹ <http://bit.ly/3sHDwq9>

procedures before applying them. Their feedback was used to refine the process before the execution.

Structured Interview. Two researchers performed this series of interviews at the end of 2019. Six participants selected by convenience (using professional contacts) participated in the study from three different enterprises in France. All the participants received all the material from the study package. The interviews took place between the researchers and participants on different days regarding their schedules. The interviews lasted one hour, on average.

Results. The characterization section presented the participants' experience with IoT; as shown in Figure 2-A, the most presented role was a software engineer with three responses, but we also had researchers from R&D divisions (with 2 participants) and managers (with one participant). It is interesting to have different roles in capturing more insights on the topic (Figure 2A).

In Figure 2-B, we can briefly view the organization, with most of the participants reporting 15 projects. Figure 2-C shows the participant's experience in developing IoT projects. The most experienced participant had 15 years of experience, and the least had four years of experience. The media was more than seven years of experience. The last characterization is regarding their IoT-related projects. The most experienced had participated in 15 projects, and the least had worked three projects. The mean was more than 7 IoT projects. These results give our population a good maturity on the IoT subject.

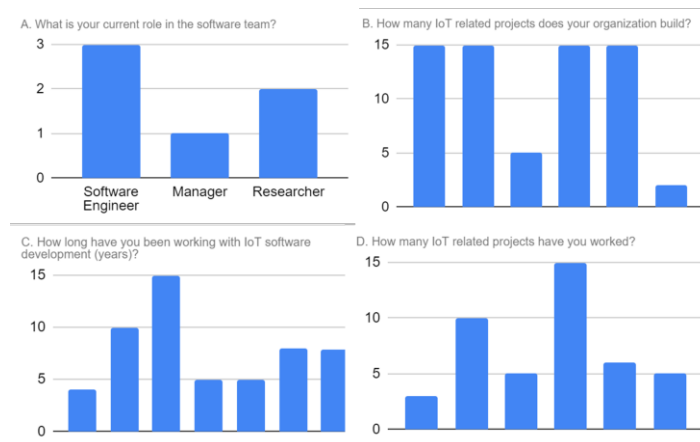


Figure 2. Characterization results.

The pertinence was observed through Applicability, Influence, and Usage (Figure 3). In general, the participants' perception is that all facets are pertinent for IoT projects. From the results, Connectivity, Smartness, and Behavior Facets are the most applicable. The Things and Connectivity are the facets the influence the most. Also, Things, Connectivity, and Behavior are the most used facets, according to the participants.

RQ2 and RQ3 were open questions to foster the discussions. With RQ2, we observed the technologies (methods, techniques, artifacts) used in practice. From their experience, we retrieved valuable information such as how to decide whether to build or adapt a new device, how the technical limitations (such as a battery) are taken into account during the development, and strategies to deal with the growing project complexity. With RQ3, we hoped to observe the completeness of the proposal that relies on the facets. One of the participants reported that "all these concepts are relevant. I do not see anyone working with IoT saying anything different from that". However, a crucial discussion was presented related to Data. "The use, processing, what to do with what was received, how to present it to the user" were some of the issues presented by a participant during the interview.

Our initial idea was that the data would be treated along with the system's behavior. For example, a system with environmental sensing should capture the relevant data and handle it to be valuable for the system. However, we separated behavior and data concepts from the interviews' results, thus creating the Data Facet.

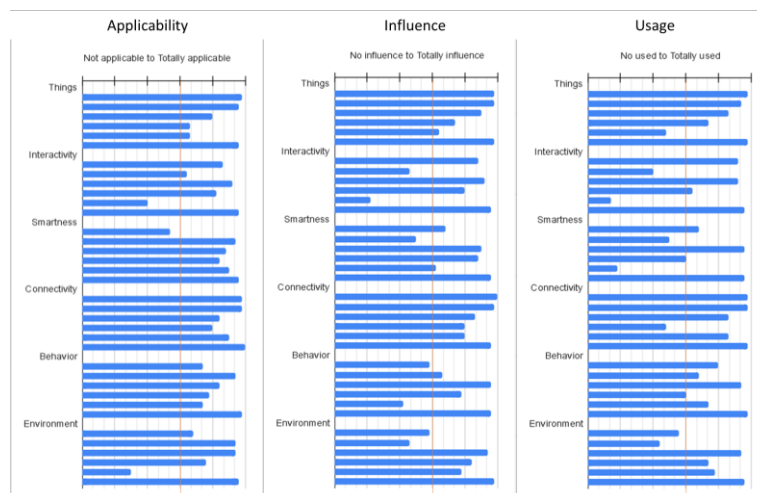


Figure 3. Pertinence results.

With the study results presented, we propose an update in the IoT Conceptual Framework (Motta *et al.* 2018; Motta 2019) to include the Data Facet, as presented in Figure 4 with its description. Therefore, the final set has eight facets representing the multifaceted concerns for IoT software systems development, observed from experimental studies.

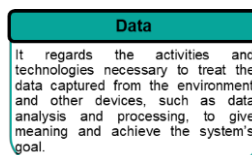


Figure 4. Definition for Data Facet.

4. Conclusion

This article presented the IoT professionals' perception of the pertinence of IoT Facets. One of this work's contributions is to clarify the need for a multifaceted view for IoT software systems and the adequate artifacts to deal with it. The research's next steps are to reinforce the results by performing more experimental studies and developing an artifact to support professionals working with IoT projects.

Remerciments

We thank the interview participants and collaborator companies that contributed to this research. This study was financed in part by CNPq and the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001. Prof. Travassos is a Brazilian CNPq researcher (grant 304234/2018-4).

Bibliographic

- BKCASE Governing Board. 2014. "Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) v. 1.3.1," 945.
- Giusto, D. 2010. *A. Lera, G. Morabito, I. Atzori (Eds.) The Internet of Things*. Springer.
- Kitchenham, Barbara. 2004. "Procedures for Performing Systematic Reviews." *Keele, UK, Keele University* 33 (TR/SE-0401): 28. <https://doi.org/10.1.1.122.3308>.
- Motta, Rebeca C. 2019. "An Evidence-Based Framework for Supporting the Engineering of IoT Software Systems." *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes* 44 (3): 22–23.
- Motta, Rebeca C., Káthia M. de Oliveira, and Guilherme H. Travassos. 2018. "On Challenges in Engineering IoT Software Systems." In *Journal of Software Engineering Research and Development*, 42–51. Sao Carlos, Brazil: ACM Press. <https://doi.org/10.5753/jserd.2019.15>.
- Motta, Rebeca Campos, Valéria Silva, and Guilherme Horta Travassos. 2019. "Towards a More In-Depth Understanding of the IoT Paradigm and Its Challenges." *Journal of Software Engineering Research and Development* 7 (August): 3. <https://doi.org/10.5753/jserd.2019.14>.
- Pfleeger, Shari Lawrence, and Joanne M Atlee. 1998. *Software Engineering: Theory and Practice*. Pearson Education India.
- Sowa, J. F., and J. A. Zachman. 1992. "Extending and Formalizing the Framework for Information Systems Architecture." *IBM Systems Journal* 31 (3): 590–616. <https://doi.org/10.1147/sj.313.0590>.

AI: To interpret or to explain?

Jinfeng ZHONG, Elsa NEGRE

*Paris-Dauphine University, PSL Research University,
CNRS UMR 7243, LAMSADE 75016 Paris France
jinfeng.zhong@dauphine.eu
elsa.negre@lamsade.dauphine.fr*

ABSTRACT. Recent years, the need and demand for explainable/interpretable artificial intelligence (AI) has been growing with the ubiquitous application of AI in our daily life. Human beings tend not to trust an AI system that cannot justify how the results have been generated, which is viewed as a "black box" system. People want that an AI system not only can provide high-quality results but also be transparent in the result generating process, which is called "explainable AI" or "interpretable AI". Most of the state-of-art works about what are explanations and interpretations in AI systems are based on researchers' subjective intuitions without solid theory support, neither common consensus nor mathematical definitions have been achieved, which may be the cause of ill definitions and ambiguity in the use of the two terms: interpret and explain. In this paper, we seek to disambiguate the use of interpret and explain in the context of AI with the help of solid theory support from knowledge management. We also discuss possible evaluation methods for interpretability and explainability in AI systems respectively.

RÉSUMÉ. Ces dernières années, les besoins en intelligence artificielle (IA) explicable/interprétable ont augmenté avec l'utilisation omniprésente de l'IA dans la vie quotidienne. Les femmes/hommes ont tendance à ne pas faire confiance à un système d'IA incapable de justifier la façon dont les résultats ont été générés et le considèrent comme un système de «boîte noire». Les utilisateurs veulent qu'un système d'IA puisse non seulement fournir des résultats de haute qualité, mais aussi qu'il soit transparent dans le processus de génération de résultats, appelé «IA explicable» ou «IA interprétable». La plupart des travaux actuels sur ce que sont les explications et les interprétations dans les systèmes d'IA sont basés sur les intuitions subjectives des chercheurs sans support théorique solide, ni consensus commun, ni définition mathématique, ce qui peut être la cause d'une mauvaise définition et d'une ambiguïté dans l'utilisation des deux termes: interpréter et expliquer. Dans cet article, nous cherchons à lever cette ambiguïté dans le contexte de l'IA à l'aide d'un solide support théorique issu de la gestion des connaissances. Nous discutons également des méthodes d'évaluation possibles pour l'interprétabilité et l'explicabilité dans les systèmes d'IA.

KEYWORDS: interpretability, explainability, artificial intelligence.

MOTS-CLÉS : interprétabilité, explicabilité, intelligence artificielle.

1. Introduction

Recent years have witnessed ubiquitous application of artificial intelligence (AI), it has made great changes to people's daily life and has become the core technique of many real-world applications, such as recommendation, image processing, etc. People may wonder whether they can trust these techniques or will they work in deployment (Lipton, 2018). In some cases, especially where AI is used to make high-stake decisions such as health care and criminal justice, people wish to know why a system makes certain decisions to control risks since it is hard for them to trust a system without explanations. Besides, since 2018, European Union requires that algorithms used in decision support systems should provide explanations, which is known as "right to explanation" (Voigt, Bussche, 2017). People wish that AI systems could provide high-quality results and reasonable explanations at the same time. The definition, design, optimization and evaluation of such AI systems have attracted lots of attention. Researchers frequently claim that their models are interpretable or explainable, indicating *interpretability* and *explainability* respectively. However, no strict definitions concerning what is *interpretability* and what is *explainability* have been achieved. Some researchers distinguish them (Lipton, 2018; Doshi-Velez, Kim, 2017; Montavon *et al.*, 2018) while some use them interchangeably (Miller, 2019; Molnar, 2020; Du *et al.*, 2019). These claims are usually based on researchers' subjective intuitions (Miller, 2019) without solid theory support and until now no consensus has been achieved. The ill definitions and ambiguity in the use of the two terms: *interpretability* and *explainability* have made problem formulation difficult in defining, designing and evaluating AI systems that can provide explanations for the results generated.

In order to boost the research of *interpretability* and *explainability* in AI, the definitions of these two terms must be critically and seriously engaged and should become a "rigorous science" (Doshi-Velez, Kim, 2017). In this paper, we seek to disambiguate the use of *interpret* and *explain* in the context of AI and propose two frameworks for evaluating *interpretability* and *explainability* in AI systems.

The remainder of this paper is structured as follows. In Section 2 we summarize state-of-art works concerning *interpretability* and *explainability* in the context of AI by answering the following questions: what is *interpretability* and *explainability*?; why *interpretability* and *explainability*?; how to evaluate *interpretability* and *explainability*?. In Section 3, we propose definitions of *interpretability* and *explainability* in the context of AI and discuss possible evaluation methods. Lastly, we conclude and highlight several major challenges for future work.

2. Related work

2.1. What is interpretability and explainability?

As described in Section 1, in AI the research community, neither common consensus nor strict definitions concerning *interpretability* and *explainability* exist even if

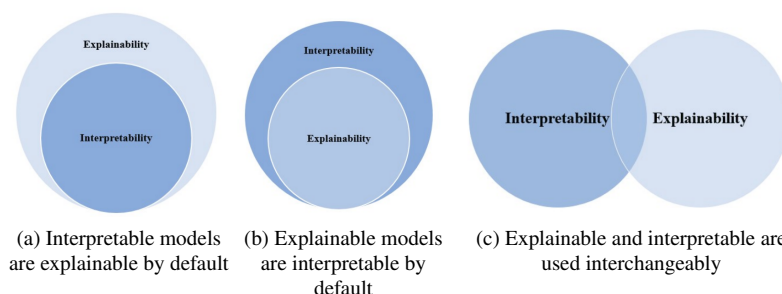


Figure 1. Relationships of interpretability and explainability in state-of-art works

lots of efforts have been devoted to this research subject. In AI research community, there have been numerous discussions about the definitions of the two terms.

According to Lipton (2018), interpretable models fall into two categories. The first category is transparent models meaning that how models work exactly can be explained and understood by humans. The second category is the models that can provide post-hoc explanations (suggesting post-hoc interpretability) without elucidating precisely how models work. The author distinguishes *interpretability* and *explainability* in that the former enhances the latter. Gilpin *et al.* (2018) argued that *interpretability* and *explainability* should be distinguished in that explainable models are interpretable by default, but the reverse is not always true. The authors argued that explaining explanations is an approach to evaluating *interpretability*. Apparently, in this claim, explanations are strictly defined in that explanations should be able to be justified. In another line of research, some researchers use *interpretability* and *explainability* interchangeably. Miller (2019) discussed explanations in AI from a social science point of view. To the best of our knowledge, this is the very first attempt to link explanation research in AI to psychology research, social science and cognitive science. The author thoroughly surveyed philosophy, psychology and cognitive research related to explanation. According to him, *interpretability* is the degree to which an observer can understand the cause of a decision, which is widely cited. The author equated *interpretability* and *explainability*. The listed surveys and reviews above are not exhausted, they represent three different relationships concerning *interpretability* and *explainability* identified from state-of-art works, which is presented in Figure 1. For more reviews and surveys about *interpretability* and *explainability* in the context of AI, we refer to (Hoffman *et al.*, 2018; Zhang, Chen, 2018; Mittelstadt *et al.*, 2019).

Figure 1a shows that *interpretability* is a subset of *explainability* meaning that *interpretability* enhances *explainability*. This is the case for Lipton (2018); Montavon *et al.* (2018); Guidotti *et al.* (2018); Mittelstadt *et al.* (2019). In these works, the authors argued that in the context of AI, interpretation concerns the internal mechanisms of models and how models work while explanation concerns why certain re-

sults have been generated. An interpretable model is explainable by default, since the reasoning process behind the results (e.g., a recommendation or a classification) generation is clear indicating that the results can be explained following understandable logic. Figure 1b shows another suggested relationship between *interpretability* and *explainability* that distinguishes them, the reverse. Gilpin *et al.* (2018) can be referred. The author defined that explainable models are interpretable by default, but the reverse is not always true, suggesting that *explainability* implies *interpretability*. In this sense, explanations correctness should be justified, revealing causality relationships behind. Figure 1c shows that two terms can be used interchangeably. According to Molnar (2020), in terms of models, interpretable is more often used; in terms of results, explainable is more often used. Interpreting a model could also mean producing explanations for individual predictions (Molnar, 2020).

2.2. Why interpretability and explainability?

Reasons or goals of research in *interpretability* and *explainability* are defined differently depending on application domain, as asserted by (Miller, 2019; Hoffman *et al.*, 2018), explanations and interpretations are context-aware. Another reason for this diversity is the elusive definitions of these two terms, the reasons and goals may have been defined according to authors' subjective intuitions.

Many researchers have summarized the reasons why research in the two terms are vital in developing responsible AI (Arrieta *et al.*, 2020) in a general and abstract level. Lipton (2018) defined five desiderata of interpretability research: (i) trust, (ii) causality, (iii) transferability, (iv) informativeness, (v) fair and ethical decision making. According to Arrieta *et al.* (2020), the reasons why research about the two terms are needed can be summarized as promoting: (i) trustworthiness, (ii) causality, (iii) transferability, (iv) informativeness, (v) confidence, (vi) fairness, (vii) accessibility, (viii) interactivity and privacy awareness. When it comes to real application, as suggested by Hall (2019), the reasons can be summarized as intellectual and social motivations. We believe that they can further be classified into three drives, namely commercial drive, regulation drive and technique drive.

The most important may be commercial drive. Nowadays, AI has become the core competency of many companies, they rely on AI techniques to provide fascinating services. Human beings are curious and adept at learning, they tend not to trust a decision without logical reasoning. Therefore, consumers will not simply trust a system without explanation especially when AI is used to make high-stake decisions, they hope to get explanations or reasonings to support their decision, which means that explanation concerns trust building (Arrieta *et al.*, 2020). For example, it is easier for people to trust a recommendation that is well explained compared to a recommendation made by a black-box model.

More importantly, regulation such as GDPR (General Data Protection Regulation) (Voigt, Bussche, 2017) demands that consumers have the legal right to obtain explanations, which makes it necessary to provide explanations to users.

Another drive is from technique. After years of research and real-world applications, researchers have come to know that a model simply based on prediction accuracy cannot always be trusted, since accuracy is an incomplete description of the real-world tasks (Doshi-Velez, Kim, 2017). Not knowing the reasoning process behind result generation may make model builders end up making wrong models. On the contrary, knowing the real reasoning behind models helps designers to debug and improve models, which requires interpretability of models.

2.3. *How to evaluate interpretability and explainability?*

There has been a considerable amount of work on *interpretability* and *explainability* in the context of AI, which urged authors to propose corresponding evaluation methods.

Existing evaluation methods usually concern the following: model *interpretability*, how well people can understand a model; quality of explanations, to what extent the provided explanations meet up with design goals. Nguyen and Martínez (2020) proposed a set of objective measurements for simplicity, broadness and fidelity of interpretations. The authors further proposed a taxonomy for metrics according to feature extractor. Hoffman *et al.* (2018) proposed to evaluate explainable artificial intelligence (XAI) by measures for the goodness of explanations and the curiosity in the search for explanations, users' satisfaction and understanding concerning explanation, users' trust and reliance concerning XAI systems, and human-XAI work system performances. The authors further proposed corresponding investigation forms and rating scales.

State-of-art methods for evaluating *interpretability* and *explainability* can also be resumed as automated quantitative methods and human-centered evaluation methods. The former usually involve metrics defined by authors while the latter usually involve human-centered experiments. It should be noted that automated quantitative methods and human-centered methods are both indispensable. The former is designed to guide the selection of a small subset of tasks in human-centered experiments to reduce the overall financial and time cost of such experiments (Nguyen, Martínez, 2020). Automated quantitative measurements can be referred to as functionally grounded evaluation (Doshi-Velez, Kim, 2017), which does not require human involvement. For example, Abdollahi and Nasraoui (2016) proposed *Explainability Precision* and *Explainability Recall* to measure *explainability* of recommendations. Another line of research requires human involvements. For example, Mohseni *et al.* (2018) proposed six measurements for evaluating XAI: (i) human mental model evaluation, (ii) explanation usefulness and satisfaction evaluation, (iii) user trust and reliance, (iv) human task performance, these four evaluations are aimed at users; (v) explainer fidelity, (vi) model trustworthiness these two methods are aimed at developers. The methods proposed here require human involvement and can be time consuming and expensive.

As we discussed in Section 2.1, neither common consensus nor strict definitions concerning *interpretability* and *explainability* exist. This ambiguity also exists in the

evaluation methods. On the one hand, there is no golden rule for evaluation methods, neither strict objective metrics nor standard human evaluations exist. They vary across application domains. On the other hand, due to the elusive definitions of *interpretability* and *explainability*, state-of-art evaluation methods can be misleading. Some claimed to evaluate interpretability of an AI system may end up evaluating the quality of explanations (Doshi-Velez, Kim, 2017). The ambiguity also urges that the definitions of *interpretability* and *explainability* should be seriously engaged in order that the assertions of evaluations could be meaningful.

2.4. Summaries of state-of-art works

There are two popular directions in *interpretability* and *explainability* research: (i) Developing transparent (interpretable) models, the result generation process follows a certain reasoning process that can be expressed in human understandable terms, explanation for model result can be faithful to the original model; (ii) Simply provide explanations to prediction of models while the internal mechanisms of model are not clear, which constitutes post-hoc explanation techniques. Model results are explained by finding the links between the features of input data and the results or by building a simpler model to approximate the original model. The two methods may stem from human cognitive and psychology science.

As Miller (2019) pointed out that explanation in the context of AI involves AI itself, social science and human computer interaction. Seeking for reasons for decisions is the nature of human beings. When human beings must decide something, if permitted, they may consider all the factors to analyze the situation where they are so that they can control the decision to be made; when situation becomes too complicated for them to reason clearly, they may first decide, and latter try to find an explanation for this decision to convince themselves (Lipton, 2018; Zhang, Chen, 2018).

The first decision process is totally transparent, and human beings can fully control it, this is similar to interpretable models, where the internal mechanisms are clear, and it is possible to trace how a result is generated. The second is similar to the post-hoc explanation techniques mentioned above. How the original model works exactly is not elucidated. The model training and result explanation can be separated, a considerable amount of research has been done to develop post-hoc explanation techniques due to the flexibility it offers. For example, Ribeiro *et al.* (2016) proposed *LIME* (Local Interpretable Model-agnostic Explanation) to seek for explaining a single prediction by training interpretable linear models to approximate the original model. According to Ribeiro *et al.* (2016) the explanations provided can reveal how the original model works. On the other hand, some researchers call for designing interpretable models instead of explaining black box models, especially for high-stake decisions. According to Rudin (2019), some post-hoc explanation techniques simply show the trends of results related to features as explanations, which may not be faithful to the original model and cannot reveal how the original model works exactly. Therefore, it would

be less confusing to call them “summaries of predictions”, “summary statistics” or “trends” instead of “explanations” (Rudin, 2019).

In this section, we reviewed state-of-art works concerning *interpretability* and *explainability* in the context of AI. The definitions of the two terms given by former researchers cannot be fitted to general cases and lack solid theory support, therefore the proposed definitions are to some extent subjective. In order to boost the research in *interpretability* and *explainability*, the formulation of problems concerning the two terms must be critically and seriously engaged.

3. Our definitions

In this section, we will first propose general definitions of interpretability and explainability by combining linguistics, interpretative frameworks (Tsuchiya, 1993) and mental model (Jones *et al.*, 2011). Then we propose a *Interpret/Explain schema* in AI systems. Then, we give the definitions of *interpretability* and *explainability* in AI systems. Lastly, we propose evaluation frameworks for the definitions proposed.

3.1. A general definition

The ambiguity in use of *interpretability* and *explainability* may root from linguistics. According to *Merriam-Webster Dictionary*, interpret (Dictionary, n.d.-b) means to explain or tell the meaning of: present in understandable terms while explain (Dictionary, n.d.-a) means to make plain or understandable, or to give the reason for or cause of. Indeed, the two words have similar meanings, which may have been the reason why they are used interchangeably. However, there are subtle differences that exist between them. For example, some articles in GDPR can be interpreted as “right to explanations”, meanwhile explaining GDPR may mean answering why certain articles should have been regularized as such. It seems that to interpret means answering a “what” type question while to explain tends to answer a “why” type question. Accordingly, something being interpretable means that it is decided to have a certain meaning and can be presented in understandable terms; something being explainable means that it can be made understandable.

Human beings possess interpretative framework (Jones *et al.*, 2011) also called mental model (Tsuchiya, 1993) through which new information is filtered and stored, thus allowing them to interact with the world around them, filter information and finally create knowledge. Each person has his own interpretative framework, so two men, even though they see the same thing and have the same data, can interpret it differently. Arduin *et al.* (2015) further pointed out that interpretation is central in knowledge management. Constantly, human beings are interpreting information in the process of sense-reading (Polanyi, 1967). For example, right now I am texting information out to you and each of you are receiving this information that you are going to interpret. Through my interpretative frameworks, I give meaning to the information I create to share my knowledge, sense-giving (Polanyi, 1967); and each of you,

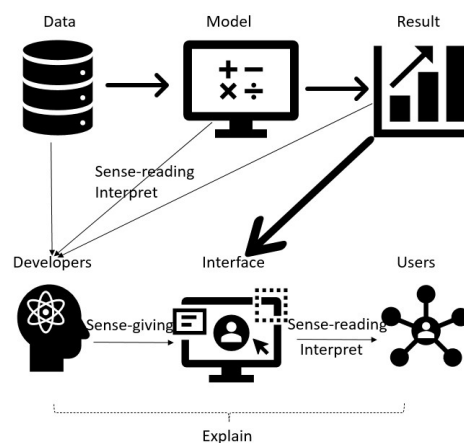


Figure 2. Explain and interpret in AI systems

through the information you perceive and interpret, you will read a meaning to create your knowledge, sense-reading (Polanyi, 1967). This means that it is through interpretation that human beings select data that they have perceived from information and they interpret that data, allowing them to create their own knowledge. By combining the sense-giving and sense-reading, an explanation is realized. This accords with the assertion of Miller (2019): "Explanations are social and involve conversations." From this philosophical perspective, interpretation is a subjective action, while explanation involves interactions.

Combining the linguistic definitions and interpretative framework, definitions of *interpretability* and *explainability* from a general and philosophical perspective can be given as below:

DEFINITION 1. — *Explainability: the ability to make an event understandable; the ability to give the reason or cause of an event.*

DEFINITION 2. — *Interpretability: the degree to which an observer can understand the meaning of an event.*

3.2. Interpret/Explain schema in AI system

Since AI technologies aim at creating human intelligence in machines enabling them to think like humans and mimic their actions, it is logical to define *interpretability* and *explainability* in the context of AI based on interpretative frameworks and mental model.

Usually, an AI system has three components (apart from people), the input data, the model and results, as presented in Figure 2. The results of an AI system are displayed to users via an interface. System developers are expected to interpret information from data, model and results through their interpretative frameworks (sense-reading). This information is displayed via an interface to users through developers' interpretative frameworks (sense-giving). Users perceive the information (sense-reading) displayed via this interface. The information conveyed by developers and displayed through the interface constitutes an explanation, as presented in Figure 2. To conclude, in an AI system, developers interpret information from data, model and results to explain to users why certain results have been generated.

3.3. Proposed definitions

In an AI system presented in Figure 2, the input data is interpretable in the sense that developers can extract information from it through statistical analysis or data visualization. Regarding the models, some are transparent while others are not. For transparent models, developers can tell the explicit meanings of each part of models, for example the weights in linear models. In this case, concerning a certain result, they can easily explain to users why this result has been generated to him or even at a higher level, how the whole system works. If the adopted models are not transparent, even developers cannot tell the explicit meanings of parameters. For example, the exact meanings of parameters in deep neural networks. In this case, they may explain why the results are such by finding the links between the features of input data and the results or by building a simpler model to approximate the original model, which constitutes post-hoc explanation techniques.

Therefore, we argue that in the context of AI, explanation is aimed at users and concerns why certain results have been generated. In terms of interpretation, it contains the following aspects: (i) interpretation of input data; (ii) interpretation of model; (iii) interpretation after model training (post-hoc interpretation); (iv) interpretation of explanation. Interpretation of results is closely related to interpretation of data and models. Combining the general definitions of *interpretability* and *explainability* proposed in Section 3.1, we propose the following definitions:

DEFINITION 3. — *Explainability of model results: the ability to make model results understandable; the ability to give the reason or cause of model results.*

DEFINITION 4. — *Interpretability of data: the degree to which one (mainly a developer) can understand the information contained in data, which usually consists of data analysis and data visualization.*

DEFINITION 5. — *Interpretability of model: the degree to which one (mainly a developer) can understand the mechanisms of model*

DEFINITION 6. — *Post-hoc interpretability: the degree to which one (mainly a developer) can explain model results without elucidating precisely how it works*

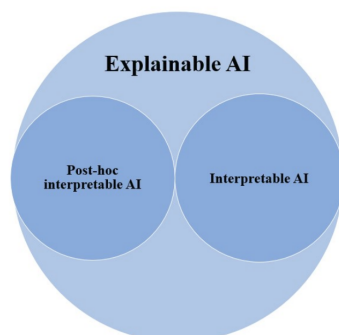


Figure 3. Explainable AI system, Interpretability AI system, Post-hoc interpretable AI system

DEFINITION 7. — *Interpretability of explanations: the degree to which one (mainly a user) can understand a given explanation.*

Based on the definitions above, we believe that “interpret” and “explain” should be distinguished. Interpretation is a subjective action, while explanation involves interactions. Therefore, an explainable AI system refers to an AI system that can explain why certain results have been generated. If the model used in this system is interpretable then the system can further be viewed as an interpretable AI system. If the model used in the system is post-hoc interpretable, the system is a post-hoc interpretable AI system. The relationship is presented in Figure 3.

Besides, we argue the following three questions should be clarified when using the definitions of *interpretability* and *explainability* in the context of AI:

- 1 Who is concerned about interpretation and explanation?
- 2 Why *interpretability* and *explainability*?
- 3 When using interpretable or explainable models?

(1) Concerning the first question, who is concerned about interpretation and explanation? From system developers’ perspective, they are interested in all parts of an AI system since they conceptualize the system, they are expected to be clear about the meaning of each part of the system while plain users usually care more about why certain results appear. *Interpretability* of data is mainly aimed at developers and concerns the information contained; *interpretability* of models is mainly aimed at developers and concerns the internal mechanisms of models; model’s post-hoc *interpretability* is needed when internal mechanisms of models are not clear and is aimed at developers; *interpretability* of explanations is mainly aimed at users and concerns the quality of explanations. Therefore, how well users can interpret an explanation can reflect the quality of this explanation. *Explainability* of model results is mainly aimed at users and concerns why certain results have been generated.

(2) In terms of the second question, why *interpretability* and *explainability*? The reasons why human beings need interpretability and explainability have been discussed in Section 2.2.

(3) Concerning the third question, when using interpretable or explainable models? In cases where the price of a decision made by a system is negligible, less transparent models such as deep learning techniques can be applied to guarantee the quality of results and provide explanations to users using post-hoc explanation techniques. For example, this is the case for movie recommendation. In cases where the price of a wrong decision can be high, interpretable models are preferred to black-box models (Rudin, 2019).

3.4. Evaluation of interpretability and explainability

Having defined *interpretability* and *explainability* in the context of AI, we now discuss possible evaluation methods for the two terms in order that different systems can be compared meaningfully. According to the definitions in Section 3.3, interpretation and explanation are human-centered process. Besides, explanations and interpretations are context-aware (Miller, 2019; Hoffman *et al.*, 2018), they are heavily influenced by humans' prior knowledge. They can vary from person to person and across application domains. Therefore, it is difficult to find general metrics that fit all cases. As discussed in Section 2.3, few objective metrics have been proposed due to the ill definitions of these two terms. State-of-art research focuses on human-centered methods to evaluate the two terms in AI systems, which requires human's participation. Under our definitions, the evaluation of *interpretability* and *explainability* should be separated. Instead of proposing a specific evaluation method whose application may be limited to a certain domain, we will lay out two potential evaluation frameworks.

3.4.1. Evaluation of interpretability

As defined in Section 3.3, interpretation in an AI system contains: (i) interpretation of input data; (ii) interpretation of model; (iii) interpretation after model training (post-hoc interpretation); (iv) interpretation of explanation. Methods for evaluating interpretation of explanations will be discussed in Section 3.4.2. We now discuss methods for evaluating *interpretability* of input data, *interpretability* of model and post-hoc *interpretability* which usually aim at developers as presented in Figure 2.

Evaluation: interpretability of input data Interpretation of input data is independent of the model adopted in an AI system and is usually conducted before model construction. It aims to explore data to extract useful information such as interactions between features. Data analysis techniques such as *Principal Component Analysis*, *Clustering* are widely adopted. Data visualization can represent these interpretations via graphics to simplify the understanding of information contained in data. Therefore, this level evaluation aims to determine whether humans can correctly understand information extracted from input data. User studies can be potential experiments to evaluate these interpretations. Here is a concrete example: Given a dataset, humans

are presented interpretations of it and must indicate the degree to which they can understand these interpretations. This evaluation can be conducted even with lay humans without turning to developers and domain experts who are not always available.

Evaluation: interpretability of model As defined in Section 3.3, *interpretability* of model is the degree to which one (mainly a developer) can understand the mechanisms of model. Lipton (2018) defined three levels of transparency of interpretable models: (i) simulatability; (ii) decomposability; (iii) algorithmic transparency. Simulatability means that humans can produce a prediction in a reasonable time with input data and parameters of models. Evaluating simulatability concerns whether the entire model can be contemplated at once by a human. Decomposability means understanding of a model on a modular level, for example how each feature affects the final results, positively or negatively. Algorithmic transparency applies to the learning algorithm that generates a model. Therefore, we argue that evaluation of model *interpretability* requires application domain knowledge, expertise in AI. Interviewing independent domain experts and developers would be a potential approach. Experiments with them are non-trivial, therefore the questions in the interview should be well designed and should be adapted to the application domain.

Evaluation: post-hoc interpretability As discussed in Section 2.4, post-hoc *interpretability* can be achieved by finding the links between the features of input data and the results or by building a simpler model to approximate the original model. Therefore, interpretation of data can be aggregated to yield post-hoc interpretation. However, the assertions made from these interpretations should be careful. Since post-hoc interpretations do not elucidate a model's internal mechanism, they may not be faithful to the original model and cannot reveal how the original model exactly works. Evaluating these interpretations would be non-trivial for lay persons. Therefore, we suggest the involvement of independent domain experts and developers in condition that the experiments are adapted to the application domain.

3.4.2. Evaluation of explainability

Under our definitions, a “good” explanation should: (i) be easy to understand, this is in accordance with the assertion of Miller (2019): "simplicity is one important criterion to evaluate explanation"; (ii) be able to help users understand why certain results have been generated and gain their trust, etc.; (iii) help improve system performances or human performances according to application domain.

When designing explanations concerning a certain result for a user, the following questions are usually considered: how to explain, what to present and what is the effectiveness of the explanations provided in a real-world application. Here, we propose a multilevel evaluation framework for evaluating explanations to guide the design of explanation in an AI system. As presented in Figure 2, how well users interpret the explanations implies the quality of explanation. Therefore, evaluating *interpretability* of explanation also means evaluating the quality of explanation. As explanation is a human-centered process, before an automated quantitative evaluation metric has been adopted, human-centered evaluation methods would be a practical approach.

Table 1. Scaled response to questions

5	4	3	2	1
I agree strongly	I agree somewhat	I am neutral about it	I disagree somewhat	I disagree strongly

Evaluation: how to present? The first level evaluation concerns humans' comprehension of explanation. Mental models are personal and inner presentations of external facts that allow people to interact with the world around them (Tsuchiya, 1993; Jones *et al.*, 2011; Arduin *et al.*, 2015). Therefore, this level involves evaluating how well humans can understand an explanation presented to them, which can be heavily influenced by presentation style (e.g., text, graphic, etc.) of explanations (Gedikli *et al.*, 2014). Since this evaluation is a subjective perspective of users, asking them directly would be a useful way (Mohseni *et al.*, 2018; Hoffman *et al.*, 2018). Such an evaluation can be conducted by lay humans. A concrete example can be: humans are presented different types of explanations (e.g., text, graphic, etc.) containing the same information, question such as (not limited to) "The explanation is easily understandable to me?" (Hoffman *et al.*, 2018) can be asked. Humans must select an answer presented in Table 1 to reflect their agreement degree for the question posed, also suggested by Hoffman *et al.* (2018). According to answers of users the most suitable present style can be selected for a certain application domain. The questions in experiments can vary from different application domains and should be well adapted.

Evaluation: what to present? This evaluation concerns whether humans are satisfied with the explanations provided, whether the explanations provided help them understand why certain results have been generated and whether they trust the explanations, which can be reflected by satisfaction and trust of humans (Mohseni *et al.*, 2018). Therefore, it is necessary to evaluate whether explanations have helped to reach these goals, these goals depend heavily on what has been included in explanations (Gedikli *et al.*, 2014), for example, scores of other movies and characteristics of movies in a movie recommender system. Satisfaction, trust and reliance are personal feelings, therefore asking humans directly would be an intuitive method. Such methods include but are not limited to Likert-scale questionnaires with scaled responses presented in Table 1, where humans are asked to what extent they are satisfied with or trust the explanations provided. A concrete example question in the Likert-scale questionnaire for evaluating trust can be: "I trust this explanation?" Humans must select an answer presented in Table 1 to reflect the degree to which they trust the explanation. It should be noted that the questions in the Likert-scale questionnaire should be adapted according to the application domain. Users' trust, satisfaction can also be implicitly evaluated by real task applications, which will be discussed later.

Evaluation: real application experiment Application-level evaluation involves real application to verify whether explanations have improved system performances or

human performances depending on the applications domain. For example, in a news recommender system, system performances can be evaluated by CTR (Click Through Rate). Therefore, explanation evaluations can be realized through A/B tests (Dixon *et al.*, 2011), etc. Measuring the difference of performance of system without explanation and system with explanation would be a potential approach. While for human performances, explanations are expected to help humans gain performances when doing specific tasks. Imagine an AI system has been created to train medical students recognizing tumor images. The performance gain of students such as prediction accuracy when the system provides explanations can be a criterion for evaluating the quality of explanations. Better system performances or human performances usually mean improved user satisfaction, trust and reliance.

The framework proposed above is incremental and is ordered by the workflow of designing explanations in AI systems. User studies and real application experiments can be costly and time consuming, they should be well designed to minimize these costs (Doshi-Velez, Kim, 2017). The first level evaluation helps developers know the most suitable style of explanation given an application domain. Then by carrying out the second level evaluation, what to present in explanations can be decided. With the former two evaluations, possible explanations are selected in real application experiments, for example, A/B tests (Dixon *et al.*, 2011). Designing questionnaires is challenging for the first level evaluation and the second level evaluation, it should be adapted to the application domain. Application-level evaluation is not simple since simulation of realistic settings is non-trivial, which requires expertise in AI and human-computer interaction.

In Section 3.4, we discussed potential evaluation methods for *interpretability* and *explainability* in the context of AI. Since no general objective metrics have been adopted, the two frameworks we propose above are both human-centered. The potential experiments should be well designed and should be adapted depending on the application domain.

4. Conclusions and future works

The key contributions of this paper are the following: (i) a review of state-of-art works on *interpretability* and *explainability* in the context of AI; (ii) a *Interpret/Explain schema* in AI system to present *interpret* and *explain* in an AI system; (iii) based on this schema we propose the definition of *interpretability* and *explainability* in the context of AI. Our definitions are based on interpretative frameworks (Tsuchiya, 1993), mental model (Jones *et al.*, 2011), with solid theory support from knowledge management domain. With the definitions proposed, problem formulation such as definition, design, evaluation of explainable AI can be seriously engaged, which will in turn make AI system more transparent when making decisions; (iv) proposition of two potential evaluation frameworks for *interpretability* and *explainability* in AI systems. The limits of our work are: (i) we limit our discussion in the context of AI. For non-AI models such as physics based or symbolic models, similar issues concerning

interpretability and *explainability* exist and worth further studies by domain experts; (ii) the evaluation frameworks we proposed here require the involvements of human, which can be time consuming and costing.

For future work, the following direction can be promising: (i) more in-depth work to be continued to verify the utility and applicability of the proposed definitions such as in recommender systems (**information systems for decision support**); (ii) objective metrics to evaluate *interpretability* and *explainability* in AI systems should be proposed to make up for the disadvantages of human-centered experiments: time consuming and costly; (iii) design and use of interpretable models should be encouraged. More and more researchers have proposed to design responsible AI (Arrieta *et al.*, 2020), which requires logical reasoning and transparency of models. This is especially required for high-stake decisions, where the prices of wrong decisions are high; (iv) since explanations involve interactions, the way and style of displaying them is a promising direction which worth further research.

Acknowledgements

This paper would not have been possible without the insightful discussions with Michel Grundstein and Camille Rosenthal-Sabroux. The authors sincerely appreciate their support and feedback.

References

- Abdollahi B., Nasraoui O. (2016). Explainable matrix factorization for collaborative filtering. In *Proceedings of the 25th international conference companion on world wide web*, pp. 5–6.
- Arduin P.-E., Grundstein M., Rosenthal-Sabroux C. (2015). *Information and knowledge systems* (Vol. 2). Wiley Online Library.
- Arrieta A. B., Díaz-Rodríguez N., Del Ser J., Bennetot A., Tabik S., Barbado A. *et al.* (2020). Explainable artificial intelligence (xai): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible ai. *Information Fusion*, Vol. 58, pp. 82–115.
- Dictionary M.-W. (n.d.-a). *Definition of explain*. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/explain>.
- Dictionary M.-W. (n.d.-b). *Definition of interpret*. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/interpret>.
- Dixon E., Enos E., Brodmerkle S. (2011, July 5). *A/b testing of a webpage*. Google Patents. (US Patent 7,975,000)
- Doshi-Velez F., Kim B. (2017). Towards a rigorous science of interpretable machine learning. *arXiv preprint arXiv:1702.08608*.
- Du M., Liu N., Hu X. (2019). Techniques for interpretable machine learning. *Communications of the ACM*, Vol. 63, No. 1, pp. 68–77.
- Gedikli F., Jannach D., Ge M. (2014). How should i explain? a comparison of different explanation types for recommender systems. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 72, No. 4, pp. 367–382.

- Gilpin L. H., Bau D., Yuan B. Z., Bajwa A., Specter M., Kagal L. (2018). Explaining explanations: An approach to evaluating interpretability of machine learning. *arXiv preprint arXiv:1806.00069*.
- Guidotti R., Monreale A., Ruggieri S., Turini F., Giannotti F., Pedreschi D. (2018). A survey of methods for explaining black box models. *ACM computing surveys (CSUR)*, Vol. 51, No. 5, pp. 1–42.
- Hall P. (2019). *An introduction to machine learning interpretability*. O'Reilly Media, Incorporated.
- Hoffman R. R., Mueller S. T., Klein G., Litman J. (2018). Metrics for explainable ai: Challenges and prospects. *arXiv preprint arXiv:1812.04608*.
- Jones N. A., Ross H., Lynam T., Perez P., Leitch A. (2011). Mental models: an interdisciplinary synthesis of theory and methods. *Ecology and Society*, Vol. 16, No. 1.
- Lipton Z. C. (2018). The mythos of model interpretability. *Queue*, Vol. 16, No. 3, pp. 31–57.
- Miller T. (2019). Explanation in artificial intelligence: Insights from the social sciences. *Artificial Intelligence*, Vol. 267, pp. 1–38.
- Mittelstadt B., Russell C., Wachter S. (2019). Explaining explanations in ai. In *Proceedings of the conference on fairness, accountability, and transparency*, pp. 279–288.
- Mohseni S., Zarei N., Ragan E. D. (2018). A multidisciplinary survey and framework for design and evaluation of explainable ai systems. *arXiv*, pp. arXiv–1811.
- Molnar C. (2020). *Interpretable machine learning*. Lulu. com.
- Montavon G., Samek W., Müller K.-R. (2018). Methods for interpreting and understanding deep neural networks. *Digital Signal Processing*, Vol. 73, pp. 1–15.
- Nguyen A.-p., Martínez M. R. (2020). On quantitative aspects of model interpretability. *arXiv preprint arXiv:2007.07584*.
- Polanyi M. (1967). Sense-giving and sense-reading. *Philosophy*, Vol. 42, No. 162, pp. 301–325.
- Ribeiro M. T., Singh S., Guestrin C. (2016). " why should i trust you?" explaining the predictions of any classifier. In *Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining*, pp. 1135–1144.
- Rudin C. (2019). Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead. *Nature Machine Intelligence*, Vol. 1, No. 5, pp. 206–215.
- Tsuchiya S. (1993). Improving knowledge creation ability through organizational learning. In *Ismick'93 proceedings, international symposium on the management of industrial and corporate knowledge*, pp. 87–95.
- Voigt P., Bussche A. Von dem. (2017). The eu general data protection regulation (gdpr). *A Practical Guide, 1st Ed.*, Cham: Springer International Publishing.
- Zhang Y., Chen X. (2018). Explainable recommendation: A survey and new perspectives. *arXiv preprint arXiv:1804.11192*.

Table ronde

SI & responsabilité environnementale et sociale

Claudia Roncancio¹, Philippe Roose²

1. LIG, Université Grenoble Alpes

2. LIUPPA, E2S, Université de Pau

Panelistes:

Amal Alsayed (RTE, Paris 1 Panthéon Sorbonne)

Romain Rouvoy (CRISAL, Université de Lille, Institut Universitaire de France),

Cécile Favre (Eric, Université Lyon 2),

Laurent Lefevre (LIP/INRIA Avalon, Ecole Normale Supérieure de Lyon)

Le numérique en général, et les systèmes d'information en particulier, sont omniprésents et font aujourd'hui partie intégrante du cœur des organisations et de la société.

Véritables moteurs d'innovation et des services, ils ont malheureusement aussi un rôle d'accélérateur du changement climatique qui affecte la planète.

Cette table ronde propose un moment d'échange et de réflexion collective pour identifier les voies par lesquels nos travaux autour des systèmes d'information peuvent contribuer à plus de responsabilité et d'éthique vis-à-vis des impacts sur l'environnement et la société.

Les champs et la portée de nos actions sont variés et vont de notre sphère individuelle à une échelle potentiellement très large au travers de nos enseignements et recherches. Les questions sont nombreuses... Quelle recherche en SI pour plus d'écoresponsabilité? Comment favoriser l'écoconception des SI ? Comment appréhender le cycle de vie complet des SI pour une amélioration de leur impact sociétal et environnemental ? Comment aller vers un quotidien bas carbone ? Quelles métriques, outils, pratiques, pour accélérer l'économie d'énergie ?

Parce qu'il est urgent d'agir et que collectivement nous pouvons avoir un impact significatif, nous vous invitons à venir partager sur ces aspects lors de cette table ronde.

Author Index

A	
Amaral de Sousa, Victor	141
Apedo, Kodzo	71
Arduin, Pierre-Emmanuel	105
B	
Beserra, David	123
Bour, Raphaëlle	87
Burnay, Corentin	141
C	
Chemli, Zakaria	23
Chevalier, Max	23
D	
Darmont, Jérôme	139
Delcroix, Veronique	71
Deneckere, Rébecca	107
Dousset, Bernard	23
E	
Ezzedine, Houcine	71
G	
Gillet, Annabelle	7
Gitto, Jean-Philippe	23
Guerrier, Yohan	71
Guyot, Alexis	7
I	
Irina, Rychkova	107
J	
Jeyakumaran, Sothiya	107
K	
Kirsch-Pinheiro, Manuele	123
Kolski, Christophe	71
L	
Leclercq, Eric	7
Lepreux, Sophie	71
M	
Maitre, Elliot	23
Motta, Rebeca	143
N	
Negre, Elsa	103, 149
Nihoul, Bérengère	55
O	
Oliveira, Kathia	143

Oliviera, Kathia	71
P	
Ponsard, Christophe	55
R	
Roncancio, Claudio	165
Roose, Philippe	165
S	
Salles, Maryse	87
Sawadogo, Pegdwendé N.	139
Snoeck, Monique	141
Souveyet, Carine	123
T	
Teste, Olivier	23
Touzani, Mounir	55
Travassos, Guilherme	143
V	
Viseur, Robert	39
Z	
Zhong, Jinfeng	149