
Traitement des événements complexes pour une gestion proactive des instances d'un processus métier

Abir Ismaïli-Alaoui^{1,2}, Khalid Benali¹, Karim Baïna²

1. *Université de Lorraine, CNRS, Inria, LORIA, F-54000 Nancy, France*

2. *Rabat IT Center, ENSIAS, Université Mohammed V, Rabat, Maroc*

abir.ismaili-alaoui@univ-lorraine.fr , khalid.benali@loria.fr, karim.baina@um5.ac.ma

RÉSUMÉ. Le management des processus métier (Business Process Management – BPM) est vu comme la solution adéquate qui aide les organisations à s'adapter aux évolutions stratégiques, organisationnelles et techniques. Le BPM aide à avoir plus de visibilité et de contrôle sur les processus métier, de la modélisation des processus métier jusqu'à l'exécution et l'optimisation en cas de besoin. Cependant, la transformation digitale et l'essor de plusieurs nouvelles technologies telles que les big data, le cloud computing, et l'internet des objets (IoT), etc, engendrent de nouveaux défis, dans le domaine du BPM, liés entre autres aux ressources (humaines / machines) limitées et à la nécessité d'optimiser davantage l'utilisation de ces ressources, ainsi que l'exploitation des données et événements. La notion d'événement est très importante dans le BPM. En effet, au cours de son exécution, un processus métier génère beaucoup de données (event data/event logs). En plus, ses instances sont généralement déclenchées par des événements. C'est pourquoi, l'analyse et le traitement de ces événements ont une grande importance dans l'amélioration de la gestion de processus métier. Dans ce papier, nous essayons de montrer comment les techniques et méthodes proposées par le domaine du traitement des événements complexes (Complex Event Processing – CEP) peuvent être exploitées afin d'améliorer certains aspects du BPM, principalement pour les processus métier basés sur les événements.

ABSTRACT. Business Process Management – BPM helps organizations adapt to strategic, organizational and technical changes, as it enables more visibility and control of business processes and their activities, from modeling to execution and optimization if required. However, the new digitalized era and the rise of several new technologies such as big data, fast data, cloud computing, Internet of Things (IoT), etc, implies new business process challenges linked basically to limited (human / machine) resources and the need to use these resources in an optimal way. During process execution a lot of data and event data are generated. Moreover, business process instances are mostly triggered by events. That is why analysing and processing these events is of great importance in improving business process management. In this paper, we try to explain that techniques and methods proposed by the field of Complex Event Processing (CEP) can be exploited to improve certain aspects of BPM, mainly for event-driven business processes. In fact, these techniques can help to

process and filter these events, to optimize their management during the execution of business process instances. A case study is presented and the obtained results from our experimentations demonstrate the benefit of our approach and allowed us to confirm the efficiency of our assumptions.

Mots-clés : Gestion des Processus Métier, traitement des événements complexes, événements, Internet des objets, proactivité, priorité.

KEYWORDS: Business Process Management, Complex Event Processing, Event, IoT, Proactivity, priority

1. Introduction

L'approche processus s'est imposée de plus en plus aux entreprises à partir des années 80, donnant ainsi un nouveau modèle d'organisation et un nouveau mode de fonctionnement. Face à un environnement changeant et concurrentiel, les approches traditionnelles qui traitent l'entreprise comme un milieu clos ne sont plus adaptées. En effet, l'approche processus est une approche systémique qui vise à transformer la structure hiérarchique et verticale d'une organisation en une structure transversale qui a comme objectif ultime la satisfaction des clients internes et externes à l'entreprise, surtout dans cette ère de la transformation digitale (Baiyere et al., 2020, Lederer et al., 2017). C'est une méthode d'analyse et de modélisation destinée à assurer un travail collectif, afin de maîtriser et d'améliorer l'efficacité et le bon fonctionnement d'un organisme. Cette méthode se base principalement sur la notion des processus, d'ailleurs le niveau de performance d'une entreprise est lié directement à la performance des processus et à la qualité de leurs modèles. En effet, une bonne gestion des processus métier dans une entreprise peut avoir un impact très positif sur l'efficacité et le bon fonctionnement de ses activités, car elle permet à l'entreprise d'avoir une vision claire sur ses objectifs, afin de mieux répondre aux exigences de compétitivités qui augmentent exponentiellement et donc atteindre un très bon degré de performance.

Le management des processus métier est vu comme un gestionnaire de workflow basé sur les activités, qui aide les organisations à surveiller de façon optimale le fonctionnement de leurs activités. Lorsqu'une entreprise met en place l'ensemble des moyens proposés par la démarche du BPM, c'est dans le but d'avoir plus de visibilité et de contrôle sur leurs processus métiers et les interactions de ces derniers, afin d'être en mesure de les modéliser, les piloter, les améliorer et les optimiser continuellement. Par conséquent, gagner en termes d'agilité, de flexibilité et de performance, c'est-à-dire rendre l'entreprise « *capable de s'adapter rapidement à un environnement d'affaires changeant tant au niveau des défis que des opportunités* » (Cummins, 2009).

Ces dernières années, les entreprises se trouvent face à une vague de nouveaux facteurs redéfinissant le marché et bousculant le BPM traditionnel. Parmi ces nouveaux facteurs on trouve la quantité de données vertigineuse, provenant, avec une très grande vélocité (big data), de différentes sources hétérogènes (des interactions internes ou externes de l'entreprise, IoT, etc). Ces données (data / event data) doivent être bien analysées et exploitées afin d'en extraire des données à forte

valeur ajoutée qui peuvent aider l'entreprise dans son processus de prise de décision. Cependant, les outils traditionnels proposés par la méthode du management des processus métiers présentent différentes limites concernant le traitement, la fouille et l'analyse des données et des événements, à un temps quasi réel. En étudiant plusieurs modèles de processus métier, nous réalisons que dans la plupart des cas, les processus métier fonctionnent de façon réactive (Mousheimish, 2017), ce qui n'est pas suffisant face à ces nouveaux changements radicaux ou incrémentaux rencontrés par les entreprises. Une anticipation précoce est cruciale pour éviter la survenue du problème ou pour y réagir rapidement et efficacement. Ce manque de proactivité et de prévisibilité est remarquable dans les trois principales étapes du cycle de vie du BPM (Van Der Aalst, 2013): l'étape de la conception, l'étape d'implémentation et l'étape d'exécution. L'état de l'art du BPM le prouve, car nous constatons l'émergence de nouveaux concepts, liés à la proactivité, qui commencent à être utilisés dans le glossaire du BPM, comme par exemple: la gestion proactive des processus métier (proactive business process management) (Mousheimish, 2017), (Ismaili-Alaoui et al., 2018b), la prévision des processus ou BPM orientée futur (process forecasting or future-oriented BPM) (Poll et al., 2018), processus métier sensibles au contexte (context-aware business processes) (Anastassiou et al., 2016), juste à titre d'exemple. Par conséquent, la transition vers un processus métier proactif et adaptable, au lieu d'un processus métier réactif, est devenu obligatoire pour chaque entreprise. La gestion des événements et des instances d'un processus métier déclenchées par ces événements illustrent bien l'importance de cette transition. En effet, en BPM traditionnel, une entreprise doit penser à l'avance à la planification et l'allocation des ressources (humaines ou machines), pour exécuter les activités de son processus, afin d'assurer un service efficace, même pendant les périodes de pointe. Cependant, avec les approches de gestion existantes, l'entreprise peut soit faire face à un sous-approvisionnement (lorsqu'il y a une sous-estimation des ressources nécessaires, les processus métier ne peuvent pas être exécutés) ou à un sur-approvisionnement (les ressources planifiées à l'avance pour couvrir les périodes de pointe ne sont pas utilisées) (Armbrust *et al.*, 2010), (Schulte *et al.*, 2015), soit ne pas bien gérer les niveaux de priorité des instances à exécuter et dans ce cas faire occuper une ressource par une instance moins prioritaire (Ismaili-Alaoui et al., 2018a; 2018b).

À cet égard, nos travaux de recherche visent à contribuer à cette émergence de la proactivité dans le BPM, en mettant l'accent sur la phase de la gestion des événements et de l'ordonnancement des instances dans le BPM. Cependant, l'ordonnancement chronologique des instances d'un processus métier et la planification préalable des ressources, empêchent la transition vers une exécution proactive, en particulier lorsque les instances de ce processus sont lancées par des événements générés en permanence par des objets connectés (IoT devices). Pour traiter un problème aussi complexe et réaliser une planification proactive des instances d'un processus basée sur la priorité, nous devons analyser l'événement qui déclenche ces instances pour estimer (voir même prédire) au préalable leur priorité. Nous cherchons donc à introduire une approche basée sur le traitement des événements complexes (CEP), qui assure un traitement et une analyse et un filtrage, en temps réel, des événements générés à partir de différentes sources, afin d'extraire

des informations utiles et de détecter des modèles d'événements complexes en temps réel. Cette approche vise à assurer une gestion proactive des événements, puis une exécution basée sur les priorités pour les instances de processus métier lancées par ces événements.

La combinaison entre CEP et BPM n'est pas récente. En fait, elle a été largement utilisée pour contrôler et surveiller les processus métier en temps réel afin d'améliorer l'efficacité des opérations métier en gardant une trace de ce qui se passe et en alertant les utilisateurs dès qu'un problème est détecté. Plusieurs approches et solutions basées sur l'intégration du CEP avec BPM ont été proposées, soit pour la phase de conception ou la phase de l'exécution d'un processus métier, (Redlich et Gilani, 2011), (Weidlich *et al.*, 2011), (Reinartz *et al.*, 2015), (Koetter et Kochanowski, 2015), (Soffer *et al.*, 2017) juste pour en nommer quelques-unes. Cependant, l'ordonnancement et la gestion des événements n'ont pas encore bénéficié de cette intégration BPM/CEP, dans le but de gérer efficacement les instances d'un processus métier déclenchées par ces événements afin d'assurer une exécution proactive.

La suite du papier est organisée comme suit : Dans la section suivante, nous présentons un exemple de motivation et notre contexte de travail. Dans la troisième section, nous présentons les travaux similaires qui ont proposé des approches pour améliorer l'ordonnancement des processus. La section 4 décrit l'approche et la méthodologie proposées. La section 5 présente le bilan des résultats obtenus. La dernière section conclut le papier et esquisse ses perspectives.

2. Contexte de Travail et Scénario de Motivation

Notre travail de recherche se base sur une étude de cas qui s'inscrit particulièrement dans le cadre de l'économie des seniors ou la Silver Economie. Cette dernière représente en effet, un secteur industriel récent, lancé officiellement en 2013, en France (Bernard *et al.*, 2013), dans le but de développer des services personnalisés basés sur les nouvelles technologies, afin de créer plus d'autonomie chez les personnes âgées et assurer un pas de plus *vers* des sociétés amies des aînés « age-friendly societies ».

D'après l'institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE), si les tendances démographiques récentes se maintiennent, la France métropolitaine comptera 73,6 millions d'habitants au 1^{er} janvier 2060, soit 11,8 millions de plus qu'en 2007. Le nombre de personnes de plus de 60 ans augmentera, à lui seul, de plus de 10 millions (En 2060, en France, une personne sur trois aura ainsi plus de 60 ans). Chaque année, plus de 2 millions de personnes âgées de plus de 65 ans chutent, et une personne sur 2 âgée de plus de 80 ans en est victime. Première cause de décès accidentel chez les plus de 65 ans, la chute impacte souvent la condition physique mais également la condition psychologique de la personne. Perte de confiance, peur de tomber à nouveau, repli sur soi, les conséquences d'une chute sont multiples, elles sont souvent graves et liées à l'importance de la blessure et à l'état de santé de la personne. Les chutes (qui sont à l'origine de nombreuses fractures et de milliers de décès chaque année), concernent en premier lieu les plus de 75 ans. Près d'un tiers des personnes âgées autonomes et la moitié de celles

vivant en maison de retraite ou établissement de soins de longue durée sont victimes d'au moins une chute par an. Que la blessure qui en résulte soit sérieuse ou non, l'accident n'en reste pas moins traumatisant pour la personne qui, le plus souvent, est dans l'incapacité de se relever seule. Un véritable syndrome post-chute peut alors s'installer. (d'après le site informatif et spécialiste du domaine de la Silver économie <http://www.silvereco.fr/>).

Toutes ces études et ces statistiques montrent alors que les personnes âgées présentent un risque accru de perte d'autonomie et sont de plus en plus sujet à des chutes. Il est donc primordial de créer de nouveaux outils permettant de les assister au quotidien en cas d'incident. L'intervention rapide après une chute, aidé par un détecteur de chute par exemple, pourrait éviter 26% des hospitalisations, soit 160 M€ et 9 400 décès par an. Les entreprises actives dans ce marché de la Silver économie, proposent des solutions de détection de chutes qui peuvent être classées selon trois catégories :

- **Solutions Passives** : La personne concernée doit appuyer sur un bouton d'alerte ou de signalisation en cas d'incident.

- **Solutions Actives** : La personne concernée porte un capteur / un objet connecté (accéléromètre, signaux biologiques, ...) ou des détecteurs environnementaux (présence, sol, portes...). En cas de changement ou de variation particulière des signaux, le dispositif déclenche automatiquement une alerte,

- **Solutions Actives-Vidéo** : cette solution se base principalement sur la vidéo-surveillance. Le capteur vidéo dans ce cas là analyse le comportement de la personne concernée et déclenche l'alerte si nécessaire.

Considérons, dans ce contexte, une entreprise qui offre un service innovant pour la détection et la prévention de chute chez les personnes âgées. Cette entreprise propose deux services pour ses clients basés sur deux types de solutions de détection de chutes, selon la particularité et également la préférence du client en question :

- **Service 1** (Solutions Actives Vidéo) : basé sur la vidéo-surveillance et les services de télé-assistance, qui édite un système de détection automatique de chutes pour seniors fragiles, ce système est constitué d'une chaîne d'analyse temps réel de flux de données (data streaming) relatives à des mouvements physiques de personnes âgées, en service gériatrique ou en maisons de retraites.

- **Service 2** (Combinaison de Solutions Actives et Solutions Actives Vidéo) : généralement les solutions actives qui utilisent différents types de capteurs (sols actifs, bracelets, détecteur de présence,...) sont considérées comme des solutions « aveugles », C'est-à-dire qu'elles ne permettent pas de savoir sur la base du signal d'alerte reçu si la chute est réelle ou non. De ce fait, les secours sont des fois dérangés, avec les coûts et conséquences associés, sans aucune certitude. D'où l'intérêt de combiner ce type de solution avec de la vidéo-surveillance. En effet, dans certains cas, seule l'image délivrée par les vidéo-détecteurs de chutes, permet de faire une levée de doute (écarter les fausses alertes) et par conséquent d'éviter des interventions inutiles et de minimiser le coût global de la prestation « Aide à la

détection de chute » incluant les dispositifs de détection, de l'intervention et de l'assistance de la personne. Cependant, la combinaison de ces deux solutions offre plus de précision d'une part. D'une autre part, les données collectées par les dispositifs utilisés dans les deux solutions combinées, enrichissent davantage les analyses effectuées en amont, ce qui permettent d'aller plus vers une solution proactive (une prévention de la chute) et non pas seulement réactive (une simple détection de la chute).

Les deux services proposés dans ce cas d'étude assurent une assistance tout en maintenant une autonomie et une liberté de déplacement sans entrave. Ils contribuent à l'autonomie protégée et sécurisée et à la qualité de vie des seniors fragiles. Ces services sont destinés à la fois aux seniors à domiciles ou en établissements d'hébergement pour personnes âgées dépendantes (EHPAD).

Dans cet article, nous allons nous intéresser seulement au premier type de service qui est basé sur la vidéo-surveillance. Ce service est basé sur l'analyse des images alertes envoyées en cas d'incident par les caméras de surveillance installées dans les chambres des seniors qui résident dans des établissements d'hébergement des personnes âgées dépendantes. Les images reçues des caméras installées sont analysées localement en EHPAD 24H/24 et 7J/7 automatiquement. Lorsqu'une alerte est détectée, un message avec une image est envoyé vers un opérateur de la plate-forme d'assistance. La plate-forme d'assistance composée d'agents ou de ressources humaines disponibles 24H/24 et 7J/7, qui réceptionnent et traitent les alertes détectées et reçues.

Les Alertes sont à classer et à qualifier, par la suite par un agent, en 4 catégories:

- 1- Fausses Alertes: Pièces vides.
- 2- Fausses Alertes: Personnes actives.
- 3- Alertes niveau moyen: Personne assise.
- 4- Alertes niveau élevé: Personne couchée.

L'agent détermine si une action d'assistance est nécessaire ou non. En fait, les alertes avec un niveau moyen ou élevé nécessitent le contact par la ressource humaine de l'Établissement EHPAD par téléphone pour prévenir d'un incident survenu au numéro de la chambre concernée. Ce processus est décrit par la figure 1.

Le processus de gestion des incidents utilisé dans cette étude de cas est conforme au processus d'actions correctives / préventives ISO 9001. C'est un processus métier simple (comme montre la figure 1), mais il représente plusieurs contraintes fonctionnelles telles que : la scalabilité, une analyse de données en temps réel, l'obligation de maintenir des ressources (humaines et machines) limitées pour la viabilité de l'entreprise. Notre objectif est donc de proposer une approche qui permet de gérer les instances de ce processus selon un ordre de priorité, afin d'optimiser le temps de prise en charge de la personne en danger ainsi que les ressources humaines qui interviennent dans ce processus. Cette approche se base sur la détection des situations d'intérêts (simple ou complexe). Par exemple dans notre cas d'étude,

donner plus de priorité à un événement déclenché par un patient, si ce dernier a des besoins particuliers (fauteuil roulant, déambulateur, etc), ou par un patient récidiviste (chuteur répétitif).

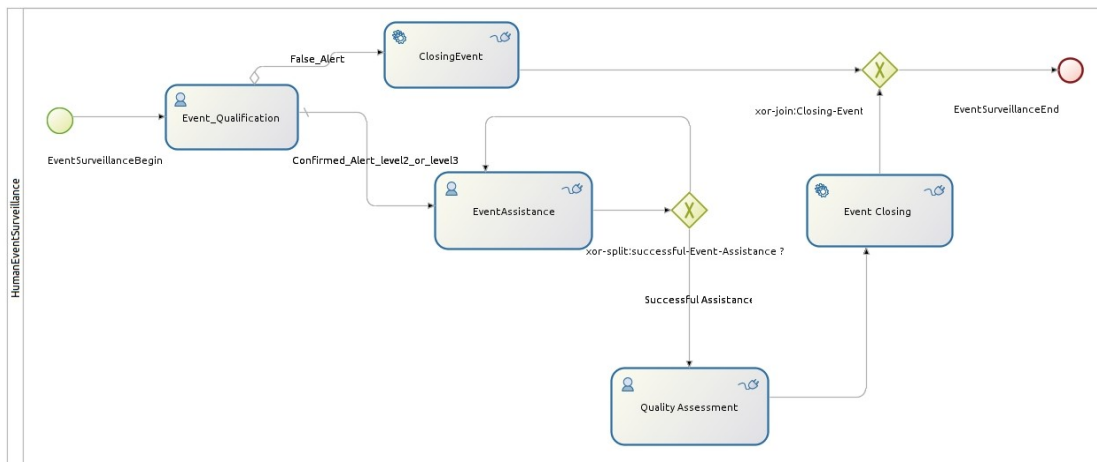


Figure 1. Processus de qualification et d'évaluation du niveau d'urgence des alertes

Dans la section suivante, nous allons présenter un état de l'art qui résume les différentes approches proposées dans la littérature, pour gérer l'ordonnancement des instances des processus métier.

3.État de l'art

Le « scheduling » traduit littéralement en français par l'ordonnancement, est défini comme un moyen de trouver une séquence d'exécution optimale et efficace des activités et des tâches d'un processus (métier), tout en respectant certaines contraintes telles que les contraintes de causalités, les contraintes temporelles ou les contraintes de ressources (humaines et/ou machines), et tout en évitant le sur-alimentation ou le sous-alimentation (Avanes et al., 2008). L'ordonnancement dans le BPM va de pair avec l'allocation des ressources, les deux ont un impact réciproque (Schulte et al., 2015). En fait, les approches d'allocation des ressources sont utilisées pour appuyer les décisions d'ordonnancement concernant l'affectation des tâches, des activités ou des instances aux ressources (humaines/machines) disponibles et convenables.

Les travaux de recherche portant sur ces deux notions, continuent à susciter un intérêt croissant de l'industrie et de la communauté scientifique. La nature des problèmes d'ordonnancement rencontrés par les organisations, oriente le choix des approches. En effet, ces problèmes diffèrent d'une organisation à l'autre, selon différents critères tels que : le domaine d'application, les objectifs visés (la performance, la qualité de services, etc), l'infrastructure dans laquelle s'exécutent

les processus métier en question (cloud computing, grid computing, etc), ou les métriques et les critères à optimiser (coût, temps de planification, temps d'exécution, etc). L'approche choisie dépend, en plus, du nombre de ces critères prédéfinis. Selon (Bessai et Charoy, 2016), les approches d'optimisation existantes peuvent être classées en deux grandes catégories : - Approche mono-critère, utilisé pour optimiser (minimiser ou maximiser) un seul critère. - Approche multicritère, où l'optimisation inclut plusieurs critères (qui peuvent être parfois conflictuels (Hofacker et al., 2001)), et le but est d'assurer une solution équilibrée et optimale sans compromettre un critère au détriment de l'autre.

Pour les contraintes temporelles, par exemple, différentes approches ont été proposées. Les auteurs dans (Eder et al., 2013) proposent une approche basée sur la notion d'échéance afin de respecter l'échéance globale du processus, tout en respectant toutes les autres contraintes temporelles externes. Ordonner l'exécution des activités dans les processus métier, peut améliorer considérablement les processus en question, comme montré par (Baggio et al., 2004), où les auteurs comparent plusieurs techniques connues d'ordonnement telles que : l'ordre aléatoire (Service In Random – SIRO), l'ordre selon la date d'échéance la plus proche (Earliest Due Date – EDD), ou encore l'ordre standard du premier entré premier sorti (First In First out – FIFO). En ce qui concerne les autres contraintes telles que la qualité de service (QoS) ou le coût, les approches d'ordonnement les plus utilisées sont les approches basées sur les méta-heuristiques, principalement les Algorithmes Génétiques qui sont fréquemment utilisés pour résoudre les problèmes d'ordonnement des tâches, des activités ou des instances dans les processus métier (Low et al., 2014), (Xu et al., 2016), (Ismaili-Alaoui et al., 2018a, 2018b).

Pour les contraintes de ressources, ce problème d'optimisation est plus compliqué, car il faut prendre en considération le type des ressources (humaines et/ou machines). Plusieurs approches ont été proposées dans la littérature pour résoudre ce problème. Les auteurs dans (van der Aalst et al., 2011) modélisent le problème d'optimisation de l'allocation des ressources dans le BPM comme un Processus de décision markovien, et ils utilisent un mécanisme d'allocation des ressources basé sur l'apprentissage par renforcement (reinforcement learning) pour prendre des décisions d'allocation en temps réel en minimisant les coûts à long terme et en améliorant ensuite la performance de l'exécution du processus métier. Alors que les auteurs dans (Huang et al., 2011) présentent une approche d'allocation des ressources basée sur l'exploration des règles (ou le rules mining) afin de découvrir des règles d'allocation intéressantes à partir du journal d'événements (event log).

La montée en puissance du cloud computing aide les organisations à gérer leurs activités de processus métier dans de meilleures conditions (haute performance et faibles coûts d'exploitation, etc.). Néanmoins, les approches proposées dans la littérature sont toujours confrontées à différents problèmes concernant la qualité de service, le coût et les contraintes de temps afin d'optimiser l'utilisation des ressources utilisées par le processus métier (Halima et al., 2017). Pour surmonter ce problème et ensuite profiter au maximum des différentes infrastructures qui facilitent l'exécution des processus métier et aussi pour optimiser l'utilisation de ces

ressources proposées ; de nouvelles approches s'orientent de plus en plus vers le BPM élastique en incluant l'élasticité dans les différents défis rencontrés dans le domaine du BPM tels que l'ordonnancement, l'allocation des ressources, etc, afin de surmonter les différents problèmes que les approches traditionnelles ne pouvaient pas résoudre (Schulte et al., 2015). Cependant, les organisations ne peuvent pas profiter pleinement des avantages du BPM élastique si la plupart des activités de leurs processus métier sont exécutées par des ressources humaines. En fait, les tâches et les activités dans les processus métier peuvent être exécutées par des ressources humaines ou des machines, car les processus métier sont différents des workflows scientifiques, car ils peuvent contenir des tâches automatiques et non automatiques. En général, les ressources humaines sont plus difficile à gérer car une ressource humaine peut exécuter d'autres tâches qui n'appartiennent pas au processus principal (Bessai, 2014), elles peuvent également n'être disponibles que pour des créneaux horaires spécifiques, et elles ont de nombreuses caractéristiques qui doivent être prises en considération telles que la disponibilité ou la fiabilité (Ismaili-Alaoui et al., 2018b).

L'élasticité est considérée comme un moyen réactif de faire face aux problèmes d'ordonnancement et d'allocation des ressources dans le BPM (surprovisionnement, sous-provisionnement). Ainsi, la proactivité représente une alternative à l'élasticité dans les problèmes d'ordonnancement des processus métier, en particulier lorsque ces processus intègrent des ressources humaines.

4. L'approche proposée

La gestion des processus métier basée sur les événements est principalement adaptée aux organisations qui ont des activités en temps réel impliquant des capteurs ou des dispositifs IoT qui collectent des données et génèrent de nouveaux événements, en surveillant leur environnement. Cependant, un système en temps réel doit avoir trois caractéristiques principales pour assurer un meilleur fonctionnement (Pielmeier et al., 2018) : 1) Haute disponibilité, 2) Faible latence et 3) Scalabilité horizontale. Et ces trois caractéristiques sont obligatoires pour réaliser un ordonnancement et une gestion des événements efficaces et en temps réel.

Afin d'assurer un ordonnancement basé sur la priorité en quasi-temps réel des instances d'un processus métier, nous avons recours au CEP, car il est considérée comme le standard pour l'analyse et la détection de situations en temps réel (Luckham, 2011).

Un événement, également appelé événement atomique, est un enregistrement instantané d'une activité dans un système (Luckham, 2011) à un moment donné, et il représente tout changement qui se produit ou se produira dans ce système. Alors qu'un événement complexe est un ensemble d'événements qui sont reliés entre eux par des opérateurs d'événements tels que l'agrégation, la causalité, la sémantique ou le temps (Robins, 2010). Le domaine de CEP vise à aborder plusieurs problèmes liés aux événements tels que le filtrage, le routage, la transformation et la détection d'événements complexes tout en traitant les événements atomiques et en utilisant des patterns d'événements prédéfinis (Darko, 2011). Ce genre de technologie facilite la

corrélation d'un très grand volume d'événements qui arrivent dans une période de temps limité, afin d'en extraire en temps réel des informations exploitables.

L'une des fonctionnalités offertes par les moteurs CEP est la détection de patterns d'événements, la Figure 2 (Boubeta-Puiget al., 2019) illustre cette fonctionnalité. Nous avons utilisé cette fonctionnalité pour détecter des incidents critiques (chutes de patients) dans notre processus.

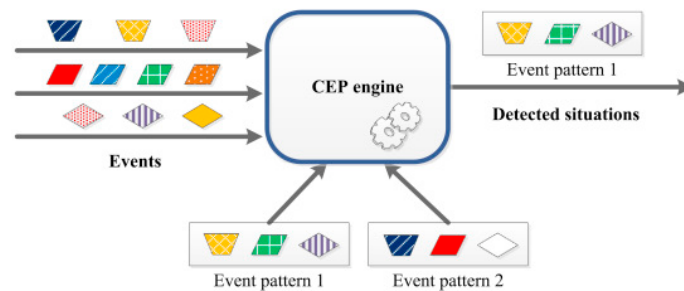


Figure 2. Détection des patterns d'événements

La détection des patterns se base principalement sur des règles. En nous basant sur le contexte de notre étude de cas, nous avons défini quelques règles qui nous aident à estimer le niveau de priorité de l'événement entrant. Pour définir ces règles, nous prenons en compte les informations disponibles sur le patient, ses incidents passés (chutes) et le cluster (Cluster de criticité) auquel ce patient (Source de l'événement) appartient. Nous avons essayé de définir manuellement certaines règles. Ainsi, nous sommes parvenus aux règles suivantes :

- **Si** la source de l'événement (le patient) appartient à un cluster de grande criticité **Alors** le nouvel événement généré par cette source pourrait être grave.
- **Si** le patient a des besoins particuliers (fauteuil roulant, déambulateur, etc.) **Alors** le nouvel événement généré par cette source pourrait être grave.
- **Si** le dernier événement généré par un patient dans un délai d'un mois était une alerte grave ou très grave, **Alors** le nouvel événement généré par ce patient (ou cette source) pourrait être grave.

La figure 3 illustre notre première tentative d'intégration du moteur CEP dans notre architecture IoT-BPM, pour la détection des patterns d'événements à base de priorité.

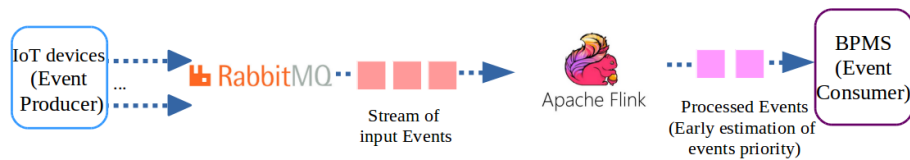


Figure 3. Détection des patterns d'événements

Les différents modules de cette approche fonctionnent comme suit :

- **Générateur d'événements** : dans cette approche, les événements sont généralement générés par des capteurs ou des dispositifs IoT qui surveillent leur environnement (caméras intelligentes).
- **Message broker** : Pour gérer les quantités d'événements reçus et devant être traités par le moteur CEP, nous utilisons un agent de messagerie qui assure la communication entre la source et la cible sur la base d'un mécanisme de publication/abonnement. Ce mécanisme asynchrone mis en œuvre par les messages brokers permet de découpler complètement les messages source et cible. En outre, les messages brokers peuvent également stocker les messages localement jusqu'à ce qu'ils puissent être traités par l'élément cible. Nous avons choisi RabbitMQ.
- **Moteur CEP** : Flink CEP est utilisé dans ce cas pour filtrer et traiter les événements entrants selon les règles prédéfinies, afin de détecter les événements ayant la plus haute priorité parmi le flux d'événements entrants.
- **Consommateur d'événements** : représente dans cette approche un système de gestion des processus métier (BPMS) où les processus sont gérés, exécutés et monitorisés.

Nous représentons dans la section suivante les résultats de l'implémentation de cette approche.

5. Résultats expérimentaux et discussions

Pour mettre en œuvre cette approche, nous avons utilisé FlinkCEP, qui est une bibliothèque de traitement d'événements complexes implémentée au-dessus de Flink¹, utilisée pour détecter des patterns d'événements dans un flux d'événements, afin de ne retenir que ce qui est important dans le flux de données. Le choix de FlinkCEP a été basé sur plusieurs critères tels que la performance et le temps de réponse, le langage de programmation utilisé dans cette bibliothèque et enfin la communauté des programmeurs.

L'objectif de cette série d'expériences est de montrer l'intérêt d'intégrer le CEP dans la gestion des instances, déclenchées par des événements, selon un ordre de priorité. Nous avons implémenté deux solutions. La première solution (solution 1) sans le CEP et la deuxième (solution 2) avec le CEP. Afin de comparer les deux approches,

¹ <https://flink.apache.org/>

nous avons essayé de reproduire le même environnement expérimental. En effet, toutes nos expériences ont été réalisées sur un processeur Intel(R) Core (TM) i5-540 M 2.53 GHz. Et les deux approches ont été testées avec un ensemble de données provenant de notre étude de cas. Plus précisément, nous disposons d'un jeu de données de chutes de patients sur la période du 01-02-2016 au 12-06-2017, ce jeu de données est composé de 238228 observations générées par 81 patients : 89312 alertes sont de niveau 0 (faible), 148466 de niveau 1(moyen), 275 de niveau 2 (grave) et 175 de niveau 3. (grave) et 175 de niveau 3 (très grave).

Dans notre expérimentation pour les deux solutions, nous avons simulé plusieurs flux d'événements avec un nombre différent d'événements (générés à partir des événements historiques de notre ensemble de données). (100, 200, 300, 400, 500) pour l'accès non concurrent (voir Tableaux 1 et 2), et (200, 400, 600) pour l'accès concurrent (voir Tableaux 3 et 4). Notre objectif était de comparer l'évolution du temps de calcul des deux solutions en réponse à l'augmentation du nombre d'événements d'entrée (accès concurrent et accès non concurrent).

- Accès Non Concurrent

Tableau 1. Temps de calcul (sec) - Solution 1

Nombre total d'événements	Temps de calcul (sec)
100	19.0
200	19.45
300	25.48
400	31.3
500	37.4

Tableau 2. Temps de calcul (sec) - Solution 2

Nombre total d'événements	Temps de calcul (sec)
100	22.07
200	32.14
300	44.25
400	55.6
500	70.62

- Accès Concurrent

Tableau 3. Temps de calcul (sec) - Solution 1

Nombre total d'événements	Temps de calcul (sec)
200	48
400	72.1
600	108

Tableau 4. Temps de calcul (sec) - Solution 2

Nombre total d'événements	Temps de calcul (sec)
200	27
400	34
600	60.3

Comme nous pouvons le voir sur les figures 4 et 5, la solution 1 présente de meilleurs résultats que la solution 2 lorsque l'accès aux événements entrants n'est pas concurrent. Cependant, lorsque nous avons un accès concurrent, l'approche basée sur le CEP (solution 2) présente de meilleurs résultats, en particulier lorsque le nombre d'événements entrants augmente.

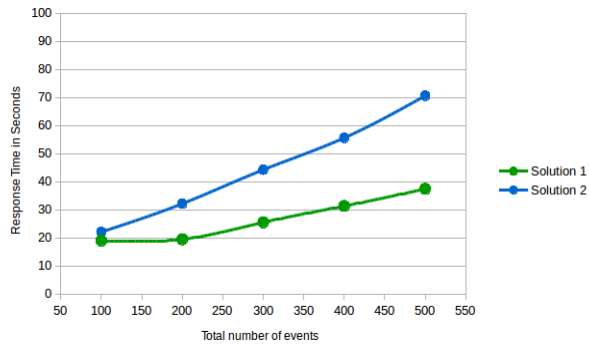


Figure 4: Événements entrants avec accès non concurrent

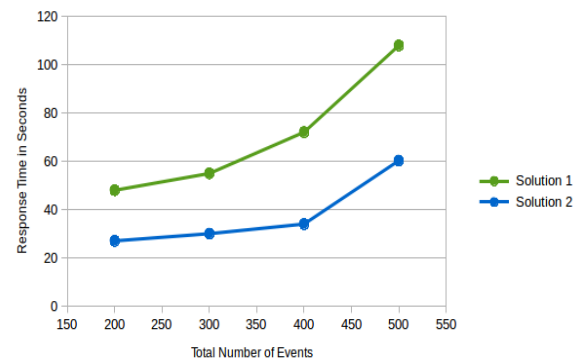


Figure 5: Événements entrants avec accès concurrent

Bien que la solution 1 semble être plus efficace pour de faibles volumes d'événements d'entrée, la solution CEP peut être plus performante, surtout si elle est mise en œuvre dans une architecture IoT et Big Data.

Pour les systèmes de gestion des incidents, il est très important de trouver un équilibre entre le traitement des événements en quasi-temps réel et la scalabilité afin d'obtenir un ordonnancement efficace et optimisé des instances de processus métier et une gestion efficace des événements. De plus, dans les cas réels, la plupart du temps, nous avons affaire à un accès concurrent des événements entrants.

Cela confirme donc l'efficacité de nos hypothèses selon lesquelles le CEP peut fournir de meilleurs résultats lorsqu'il est intégré dans une architecture IoT-BPM, et il peut également fournir de meilleurs résultats par rapport aux approches traditionnelles pour l'ordonnancement des instances des processus métier.

Les lecteurs intéressés peuvent consulter la solution complète que nous avons mise en œuvre à partir de GitHub²

6. Conclusion

Dans cet article, nous avons testé la possibilité d'utiliser le CEP afin de résoudre une partie des problèmes d'ordonnancement dans le BPM, en particulier l'exécution des instances de processus métier basées sur leur priorité. Notre approche proposée prouve que la gestion de la priorité des événements qui déclenchent les différentes instances d'un processus métier peut nous permettre de mieux planifier les instances, comparé aux approches traditionnelles. Les résultats obtenus prouvent que CEP doit être intégré, non seulement pour l'aspect contrôle et *monitoring*, mais également pour l'aspect planification et ordonnancement, en particulier pour les processus de

² https://github.com/Abir-IA/CEPFlink_EventManagement

gestion des incidents (incident management processes) ou les processus métier pilotés par les événements (event-driven business processes).

Notre approche présente certaines limites lorsqu'il s'agit de nouveaux événements qui peuvent ne correspondre à aucune règle de notre ensemble de règles prédéfinies. Dans ce cas, certains événements importants peuvent être considérés comme simples et moins prioritaires. C'est pourquoi, dans nos travaux futurs, nous prévoyons d'améliorer notre approche en utilisant des approches d'analyse prédictive combinées à un algorithme d'apprentissage automatique basé sur des règles (rule-based machine learning algorithm) afin de passer de la spécification manuelle des règles d'ordonnancement des instances de processus dans le moteur CEP à une spécification automatique, afin de réaliser une gestion proactive des incidents et une planification efficace des instances des processus métier.

Bibliographie

- Anastassiou, M., Santoro, F. M., Recker, J., & Rosemann, M. (2016). The quest for organizational flexibility: driving changes in business processes through the identification of relevant context. *Business Process Management Journal*, 22(4), 763-790.
- Armbrust, Michael, et al. "A view of cloud computing." *Communications of the ACM* 53.4 (2010): 50-58.
- Avanes, A., & Freytag, J. C. (2008). Adaptive workflow scheduling under resource allocation constraints and network dynamics. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 1(2), 1631-1637.
- Baggio, G., Wainer, J., & Ellis, C. (2004, March). Applying scheduling techniques to minimize the number of late jobs in workflow systems. In *Proceedings of the 2004 ACM symposium on Applied computing* (pp. 1396-1403). ACM.
- Baiyere, A., Salmela, H., & Tapanainen, T. (2020). Digital transformation and the new logics of business process management. *European Journal of Information Systems*, 29(3), 238-259.
- Bernard, C., Hallal, S., Nicolai, J. P., Montebourg, P. D. A., & Delaunay, M. (2013). *La Silver Économie, une opportunité de croissance pour la France*. Paris: CGSP.
- Bessai, K. (2014). *Gestion optimale de l'allocation des ressources pour l'exécution des processus dans le cadre du Cloud* (Doctoral dissertation, Université Paris1 Panthéon-Sorbonne).
- Bessai, K., & Charoy, F. (2016, November). Business process tasks-assignment and resource allocation in crowdsourcing context. In *2016 IEEE 2nd International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC)* (pp. 11-18). IEEE.
- Boubeta-Puig Juan, Gregorio Díaz, Hermenegilda Macià, Valentín Valero, and Guadalupe Ortiz. *Medit4cep-cpn: An approach for complex event processing modeling by prioritized colored petri nets*. *Information Systems*, 81:267-289, 2019.
- Cummins, F. A., (2009). *Building the Agile Enterprise*. Burlington: Elsevier.
- Darko Anicic, Paul Fodor, Sebastian Rudolph, Roland Stühmer, Nenad Stojanovic, and Rudi Studer. *Etalix: Rule-based reasoning in event processing*. In *Reasoning in event-based distributed systems*, pages 99-124. Springer, (2011).

- Eder, J., Panagos, E., & Rabinovich, M. (2013). Time constraints in workflow systems. In *Seminal Contributions to Information Systems Engineering* (pp. 191-205). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hofacker, I., & Vetschera, R. (2001). Algorithmical approaches to business process design. *Computers & Operations Research*, 28(13), 1253-1275.
- Huang, Z., van der Aalst, W. M., Lu, X., & Duan, H. (2011). Reinforcement learning based resource allocation in business process management. *Data & Knowledge Engineering*, 70(1), 127-145.
- Huang, Z., Lu, X., & Duan, H. (2011). Mining association rules to support resource allocation in business process management. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 9483-9490.
- Halima, R. B., Kallel, S., Gaaloul, W., & Jmaiel, M. (2017, June). Optimal cost for time-aware cloud resource allocation in business process. In *2017 IEEE International Conference on Services Computing (SCC)* (pp. 314-321). IEEE.
- Ismaili-Alaoui, A., Benali, K., Baïna, K., & Baïna, J. (2018a, April). Business Process Instances Scheduling with Human Resources Based on Event Priority Determination. In *International Conference on Big Data, Cloud and Applications* (pp. 118-130). Springer, Cham.
- Ismaili-Alaoui, A., Baïna, K., Benali, K., & Baïna, J. (2018b, June). Towards Smart Incident Management Under Human Resource Constraints for an IoT-BPM Hybrid Architecture. In *International Conference on Web Services* (pp. 457-471). Springer, Cham.
- Koetter, F., & Kochanowski, M. (2015). A model-driven approach for event-based business process monitoring. *Information Systems and e-Business Management*, 13(1), 5-36.
- Lederer, M., Knapp, J., & Schott, P. (2017, March). The digital future has many names—How business process management drives the digital transformation. In *2017 6th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)* (pp. 22-26). IEEE.
- Low, W. Z., De Weerd, J., Wynn, M. T., ter Hofstede, A. H., van der Aalst, W. M., & vanden Broucke, S. K. L. M. (2014, July). Perturbing event logs to identify cost reduction opportunities: A genetic algorithm-based approach. In *2014 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)* (pp. 2428-2435). IEEE.
- Luckham, D. C. (2011). *Event processing for business: organizing the real-time enterprise*. John Wiley & Sons.
- Mousheimish, R. (2017). *Combining the Internet of things, complex event processing, and time series classification for a proactive business process management* (Doctoral dissertation, Université Paris-Saclay).
- Poll, R., Polyvyanyy, A., Rosemann, M., Röglinger, M., & Rupperecht, L. (2018, September). Process forecasting: Towards proactive business process management. In *International Conference on Business Process Management* (pp. 496-512). Springer, Cham.
- Pielmeier, J., Braunreuther, S., & Reinhart, G. (2018). Approach for Defining Rules in the Context of Complex Event Processing. *Procedia CIRP*, 67, 8-12.
- Redlich, D., & Gilani, W. (2011, August). Event-driven process-centric performance prediction via simulation. In *International Conference on Business Process Management* (pp. 473-478). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Reinartz, C., Metzger, A., & Pohl, K. (2015, June). Model-based verification of event-driven business processes. In *Proceedings of the 9th ACM International Conference on Distributed Event-Based Systems* (pp. 1-9). ACM.
- Robins, D. (2010, February). Complex event processing. In *Second International Workshop on Education Technology and Computer Science. Wuhan* (pp. 1-10).

- Schulte, S., Janiesch, C., Venugopal, S., Weber, I., & Hoenisch, P. (2015). Elastic Business Process Management: State of the art and open challenges for BPM in the cloud. *Future Generation Computer Systems*, 46, 36-50.
- Soffer, P., Hinze, A., Koschmider, A., Ziekow, H., Di Ciccio, C., Koldehofe, B., ... & Song, W. (2017). From event streams to process models and back: Challenges and opportunities. *Information Systems*.
- Weidlich, M., Ziekow, H., Mendling, J., Günther, O., Weske, M., & Desai, N. (2011, August). Event-based monitoring of process execution violations. In *International conference on business process management* (pp. 182-198). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Van Der Aalst, W. M. (2013). Business process management: a comprehensive survey. *ISRN Software Engineering*, 2013.
- Xu, J., Liu, C., Zhao, X., Yongchareon, S., & Ding, Z. (2016). Resource management for business process scheduling in the presence of availability constraints. *ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS)*, 7(3), 9.