

## **Audit de conformité d'un processus de prise en charge urgente médicale par la technique de Process Mining basée sur la relecture de jetons.**

## **Conformance checking of an urgent medical care process using the Process Mining technique using Token-Based Replay.**

**FYAMA Blaise** (PhD)

Université Protestante de Lubumbashi / UPL / République Démocratique du Congo

**KATUAL Daniel** (PhD Candidate)

Université Protestante de Lubumbashi / UPL / République Démocratique du Congo

**NYAMI NYATE Ruphin** (Msc 2 Student)

Université Protestante de Lubumbashi / UPL / République Démocratique du Congo

**BALAULA MPATA Larru** (Msc 2 Student)

Université Protestante de Lubumbashi / UPL / République Démocratique du Congo

**KAMWANG A MUSAS Rose** (Msc 1 Student)

Institut Supérieur d'Etudes Sociales / ISES / République Démocratique du Congo

**Date de soumission** : 03/10/2021

**Date d'acceptation** : 15/11/2021

**Pour citer cet article** :

FYAMA. B et al. (2021) «Audit de conformité d'un processus de prise en charge urgente médicale par la technique de Process Mining basée sur la relecture de jetons.», Revue Internationale du Chercheur «Volume 2 : Numéro 4» pp : 157 - 179

## Résumé

Dans cet article, nous appliquons les techniques de Process Mining et Conformance Checking de la prise en charge médicale d'urgence, cas de la Clinique Universitaire de Lubumbashi dont l'échantillon est constitué de 756 patients. L'exploration de processus basée sur les traces extraites d'un journal d'événements d'un système informatique constitue une base de connaissances servant ainsi de modèle réel à comparer avec le modèle préétabli par les experts du domaine afin de déterminer les écarts et justifier les motivations de ces derniers. Nous appliquons l'algorithme *Alpha Miner* pour explorer le processus réel à partir d'un journal d'événements et l'audit de conformité basé sur le Token-Based Replay avec deux métriques à savoir le *fitness* et la *précision* pour déterminer le lien de concordance ainsi que celui de spécificité entre le modèle prescriptif et le modèle réel. Le bilan de cette confrontation révèle que l'aptitude du modèle (*fitness*) est quasi-acceptable vue la complexité du domaine d'application pendant la période de COVID-19. Nonobstant les variations s'observant faces à des urgences enfreignant ainsi les règles préétablies. La découverte de processus ainsi que l'analyse de conformité sont rendues possibles dans le cadre PrOM.

**Mots clés:** Process Mining; Conformance Checking; Token-Based Replay; fitness, Precision.

## Abstract

In this article, we apply the Process Mining and Conformance Checking techniques of emergency medical care, case of the University Clinic of Lubumbashi, whose sample consists of 756 patients. Process exploration based on traces extracted from an event log of a computer system constitutes a knowledge base thus serving as a real model to be compared with the model pre-established by experts in the field in order to determine the deviations and justify the motivations of the latter. We apply the Alpha Miner algorithm to explore the real process from an event log and Token-Based Replay based compliance audit with two metrics namely fitness and precision to determine the match link as well as that of specificity between the prescriptive model and the real model. The results of this confrontation reveal that the aptitude of the model (fitness) is almost acceptable given the complexity of the field of application during the period of COVID-19. Notwithstanding the variations observed in the face of emergencies thus breaking the pre-established rules. Process discovery as well as compliance analysis are made possible within the PrOM framework.

**Keywords:** Process Mining; Conformance Checking; Process Model; Token Based Replay; fitness, Precision.

## Introduction

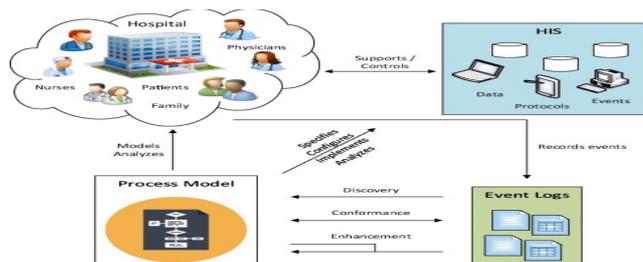
Deux décennies ont suffi pour permettre au domaine d'exploration de processus (Process Mining en anglais) de prouver avec parcimonie sa maturité sur la découverte de connaissances enfouie dans les journaux d'événements et de conquérir plusieurs secteurs de la vie à l'instar du domaine médicale. Le Process Mining est le domaine de la science qui se focalise sur la collecte de données d'entreprise à partir des empruntes numériques laissées par systèmes informatiques afin de visualiser l'exécution réelle de tâche par des utilisateurs. La récente crise sanitaire liée à la pandémie de COVID-19 a rappelé l'importance d'auditer le comportement de personnels soignants selon les normes de la santé (Rechidi et al., 2021). Il devient donc impérieux pour un hôpital de contrôler les exécutions de certaines tâches critiques et vitales pour sauver des vies humaines et garantir la qualité de soins. C'est à titre que le Process Mining occupe une place importante dans les hôpitaux hautement informatisés, permettant ainsi de découvrir l'exécution réelle de tâches en fonction des données de journal et d'en mesurer la conformité par rapport au modèle idéal (Leemans et al., 2019). Cependant, cette découverte est généralement réalisée par les heuristiques qui ne tiennent compte que des suites d'actions nominales alors qu'ils existent de cas d'exceptions. C'est ainsi que le présent article vise la découverte de processus et la vérification de conformité entre des modèles prévus avec les traces du journal définissant ainsi le comportement des utilisateurs afin de résoudre un dilemme des écarts entre les deux modèles antagonistes. Certains cas d'urgence ne nécessitent pas absolument ce cycle de traitement linéaire imposé au domaine médicale à s'adapter et de réformer son système de prise en charge médical (VANDENBOSCH et al., 2020). D'où la nécessité d'auditer la conformité des traces du journal avec le modèle prévu car certaines exceptions de santé obligent d'outrepasser les règles préétablies et poussent le personnel soignant à l'agilité extrême pour sauver de vies. *Comment découvrir le modèle d'exécution réel de tâches et quels seraient les écarts ? Quelles sont les motivations de déviation entre le modèle de processus idéal et le modèle réel pendant les urgences sanitaire ?* La fouille de processus égorge plusieurs techniques pour répondre à cette préoccupation dont les unes servent à l'exploration de processus à partir des journaux d'événements, les autres techniques sont mises en œuvre pour vérifier la conformité d'un modèle de processus avec les journaux d'événements (c'est ce qu'on appelle la vérification de la conformité) et améliorer soit le modèle idéal ou le modèle réel (W. van der Aalst et al., 2012). La vérification de la conformité vise donc à auditer si la réalité est conforme au modèle normatif ou descriptif, déterminer les écarts qui dénotent l'inefficacité et les procédures mal conçues ou obsolètes. Dans cet article, nous exploitons les techniques usuelles d'audit de la conformité du flux de travail extraits des journaux d'événements de processus de prise en charge de soins de santé avec un accent particulier sur les urgences sous deux paramètres à savoir *le fitness* et la *précision*. Pour atteindre ces objectifs, le présent article est structuré comme suit : la section 1 se base sur l'état de l'art sur la fouille de procédés ainsi que le contrôle de conformité. La section

2 présente la méthodologie de découverte et d'analyse de conformité de la prise médicale. La section 3 s'apaisante sur les modèles de processus prescriptifs de la procédure de soins de santé au Clinique Universitaire de Lubumbashi ; La section 4 enfin s'articule sur la vérification proprement dite de la conformité et discussion sur les résultats obtenus.

### 1. Etat de l'art

Les activités réalisées dans les entreprises de manière corrélée, interactive et prenant en entrée un ensemble d'éléments pour restituer un résultat constitue le processus. La formalisation de ces activités dans les industries est imposée par des normes visant à maîtriser la qualité et le respect de la structure identique(JEBALI, 2013). A contrario, les empreintes numériques trouvées dans les journaux d'événements sont diamétralement opposés à l'idéal tel que décrit par le processus normatif quel qu'en soit le résultat. Le Process Mining consiste premièrement à la découverte de processus réel en exploitation le fichier journal d'événements comme source de connaissances, deuxièmement à la vérification de conformité c'est à dire la confrontation entre le comportement observé et les modèles de processus issu de l'expérience humaine ou découvert automatiquement et identification des axes d'amélioration de modèles de processus (modèles théoriques ou pratiques)(Van Der Aalst, 2012). Ces journaux d'événements contiennent généralement des données sur les instances de processus qui ont été exécutées dans l'organisation, les moments auxquels les tâches ont été exécutées, les personnes ou les systèmes qui ont exécuté ces tâches, et d'autres types de données(W. Aalst et al., 2009). Quant à nous l'idée de départ est que toutes les activités de l'hôpital sont gérées par un système informatique et que les artefacts logiciels (bases de données, des nœuds réseaux et autre applications informatiques, etc.) font partie de ce système informatique. D'où la consignation de l'exécution de chacune de tâches de prise en charge dans le journal d'événements horodatés. Le processus de soins de santé étant normatif, un ou plusieurs modèles prescriptifs sont créés comme guide d'exécution de tâche de soins de santé dans l'idéal.

**Figure n° 1:** Processus de production et d'exploration de Processus dans le domaine de santé



*Source : (Rojas et al., 2016)*

### 1.1. La fouille de processus dans le domaine sanitaire

Les recherches menées par *Eric Rojas et son équipe* démontrent à suffisance plusieurs avancées sur la fouille de procédés de santé (W. van der Aalst et al., 2012). Ces études ont été menées dans les axes suivantes : *Type de processus sanitaire, Type de données sanitaires, Perspectives d'exploration de procédés de santé* (Günther & van der Aalst, 2007), *les outils d'explorations de processus* (W. Aalst et al., 2009), *les algorithmes de découverte de processus* (Naderifar et al., 2019), *l'implémentations de stratégies* (Goman, 2012), et *l'analyse de stratégies*. Il sied de constater que les techniques les plus couramment utilisées sont Heuristics Miner (W. M. van der Aalst & Weijters, 2005), Fuzzy Miner (Gatta et al., 2019) et Trace Clustering. Par ailleurs, l'impressionnante découverte réalisée de R. Mans *et coll.* ont servi de guide dans l'exploration de processus sanitaire dans des cas d'urgences d'AVC qui dérogent de toutes normes prescrites. Il sied de signaler que la dérogation aux normes sanitaires liées aux urgences médicales n'est nullement pas due aux manques de performances du personnel plutôt le souci de sauver de vies humaines. Le résultat de l'article de *Asare et al., 2020b* démontre que la découverte de processus basée sur l'heuristique avec le Framework *ProM* facilitant ainsi l'obtention de comportements observés dans le journal d'événements. Nous inspirons des résultats et de démarches utilisés par (Asare et al., 2020b) pour la vérification de conformité la procédure de prise en charge médicale prescrite par les professionnels de la santé et ce qui se passe réellement dans les hôpitaux à l'ère de la mondialisation face à la pandémie de COVID-19.

### 1.2. Vérification de la conformité de modèles

Selon le résultat de recherche de *Rozinat et son équipe*, la vérification de conformité est rendue possible par l'intégration d'un plugin dans le Framework *PrOM* (Rozinat et al., 2009). Elle est basée sur la technique de relecture d'un journal des événements sur un modèle du réseau de Pétri de manière non bloquante lorsqu'il collecte des informations de diagnostic à accéder par la suite (Asare et al., 2020a). Grâce à ce plugin, il est possible de calculer la métrique à base de jetons comme le *fitness*, *la pertinence de comportement* et *la métrique de pertinence structurelle*. Pendant la relecture du journal d'événements sur un réseau de Pétri, le plugin s'occupe des tâches non visibles. La vérification de conformité est également réalisée avec l'algorithme *Multi-perspective Process Explorer (MPE)* dans le cadre logiciel *PrOM* pour visualiser de manière interactive les différentes perspectives du modèles (Leno et al., 2018). *Burattin et son équipe* dans (Burattin et al., 2016) ont introduit une sémantique de déclaration Multi-perspectives avec une syntaxe abstraite (*MP-Declare*) avec des données réelles dans

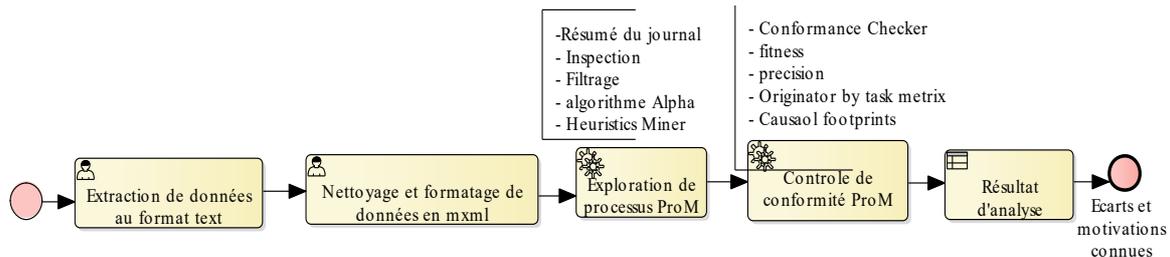
ProM. L'outil ProM inclus un vérificateur de conformité automatiquement qui détermine la profondeur de recherche maximale nécessaire pour déclencher de manière transparente des tâches invisibles lors de la relecture du modèle. Dans le cas de problèmes de calculabilité, ce dernier peut vouloir diminuer la profondeur de recherche pour obtenir une réponse. Cependant, cela est susceptible de donner des mesures pessimistes. Par ailleurs, Adriansyah et son équipe dans ((Adriansyah et al., 2011) ont évalué l'aptitude pour déterminer si le processus observé est conforme au flux de contrôles spécifié par le processus. Une façon d'étudier l'aptitude est de rejouer le journal dans le réseau de Pétri conclu la recherche. La relecture du journal est effectuée de manière non bloquante, c'est-à-dire que s'il manque des jetons pour déclencher la transition en question, ils sont créés artificiellement et la relecture se poursuit. Ce faisant, des données de diagnostic sont collectées et peuvent être consultées par la suite. Nous allons utiliser cette approche pour calculer la conformité de notre étude de cas dans la section 4 suivante. *Dans sa recherche sur la relecture de jetons Wil van der Aalst* et son équipe dans (W. van der Aalst et al., 2012) précise qu'en rejouant l'historique d'une trace à l'aide du modèle idéal, il est possible d'établir une *relation précise entre les événements et les éléments du modèle* et les écarts établis par rapport au comportement modélisé peuvent avoir de gravité intrinsèques et quantifiées.

## 2. Méthodologie

Il est incontestablement accepté que le domaine de la recherche du Process Mining est également appelé « Automated Business Process Discovery » (ABPD) et décrit les techniques servant à *créer, évaluer et élargir les modèles de processus*. La démarche à suivre est celle proposée dans le manifeste de la fouille de procédé de l'IEEE Task Force distinguant ainsi trois types de techniques de Process Mining : *Discovery (identification), Conformance (contrôle de la conformité) et Enhancement (extension) des modèles existants*(Mukala et al., 2015). Notre méthodologie comprend 5 étapes suivantes : (1) l'extraction de données du journal d'événements au format text; (2) le nettoyage et formatage de données au format *xml* pour constitution du journal d'événements ; (3) la fouille de procédés ou exploration de processus à partir des empreintes du journal d'événements, (4) l'audit de conformité entre ; et (5) la communication de résultat sur le *fitness et la précision de modèles* voire la *Figure. 2* suivante. Le journal extrait est nettoyé pour sa compatibilité avec le Framework ProM. A travers ProM, nous appliquons l'outil d'inspection du journal dès son importation afin de rassurer du respect des normes *xml* tant sémantique que syntaxiques. Si l'importation est effective, la commande

*log summary* affiche les informations telles que le résumé du journal, le nombre de cas, les événements, la distribution du nombre de cas par nombre d'événements, le nombre de séquences différentes et le nombre d'expéditeurs. Ensuite, l'analyse du flux de contrôle et la vérification de la conformité se succèdent pour l'audit du journal. La dernière étape est la publication des résultats d'analyse et la proposition d'améliorations ou amendements.

**Figure. 2 :** Méthodologie utilisée pour l'analyse de concordance



*Source :* Travail personnel

Pour calculer la métrique de *fitness* à base de jetons  $f$  nous utilisons les paramètres suivants : la quantité de jetons manquants ( $m$ ), les jetons produits ( $p$ ), les jetons restants ( $r$ ) et le nombre de jetons consommés ( $c$ ). Ces paramètres sont appliqués dans la formule suivante (1) évaluant ainsi la relecture de jeton : si le journal a pu être rejoué correctement, c'est-à-dire qu'il n'y avait pas de jetons manquants ni restants, il est évalué à 1 sinon il existe des jetons manquants ou restants.

$$\text{Fitness}(\sigma, N) = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{m}{c} \right) + \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{r}{p} \right) \quad (1)$$

Dès lors que l'exécution a eu lieu avec succès, la métrique d'exécution réussie *PSE* intervient pour déterminer la fraction d'instances de processus exécutées avec succès (en tenant compte du nombre d'occurrences par trace). Les *Métriques basées sur des jetons (Token Based Metrics)* en anglais) évaluent également la précision ou la pertinence comportementale avec laquelle le modèle décrit le processus de l'observateur. *Kamiya et son équipe* souligne que cette métrique ne doit être utilisée que comme moyen comparatif pour les modèles sans tâches en double alternatives (Kamiya et al., 2000). A noter en outre que pour déterminer le nombre moyen de tâches activées en présence de tâches invisibles, il faut construire l'espace d'états à partir du marquage courant après chaque étape de relecture. Étant donné que cela peut réduire considérablement les performances du processus de calcul, cette fonctionnalité peut être désactivée. La métrique de *fitness* doit être calculée pour chaque trace alpha ( $\sigma$ ) dans un modèle  $N$ . La somme de tous les *fitness* est obtenue par la formule suivante :

$$\text{fitness}(L, N) = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{\sum_{\sigma \in L} \text{L}(\sigma) \times mN, \sigma}{\sum_{\sigma \in L} \text{L}(\sigma) \times cN, \sigma} \right) + \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{\sum_{\sigma \in L} \text{L}(\sigma) \times rN, \sigma}{\sum_{\sigma \in L} \text{L}(\sigma) \times pN, \sigma} \right)$$

Où

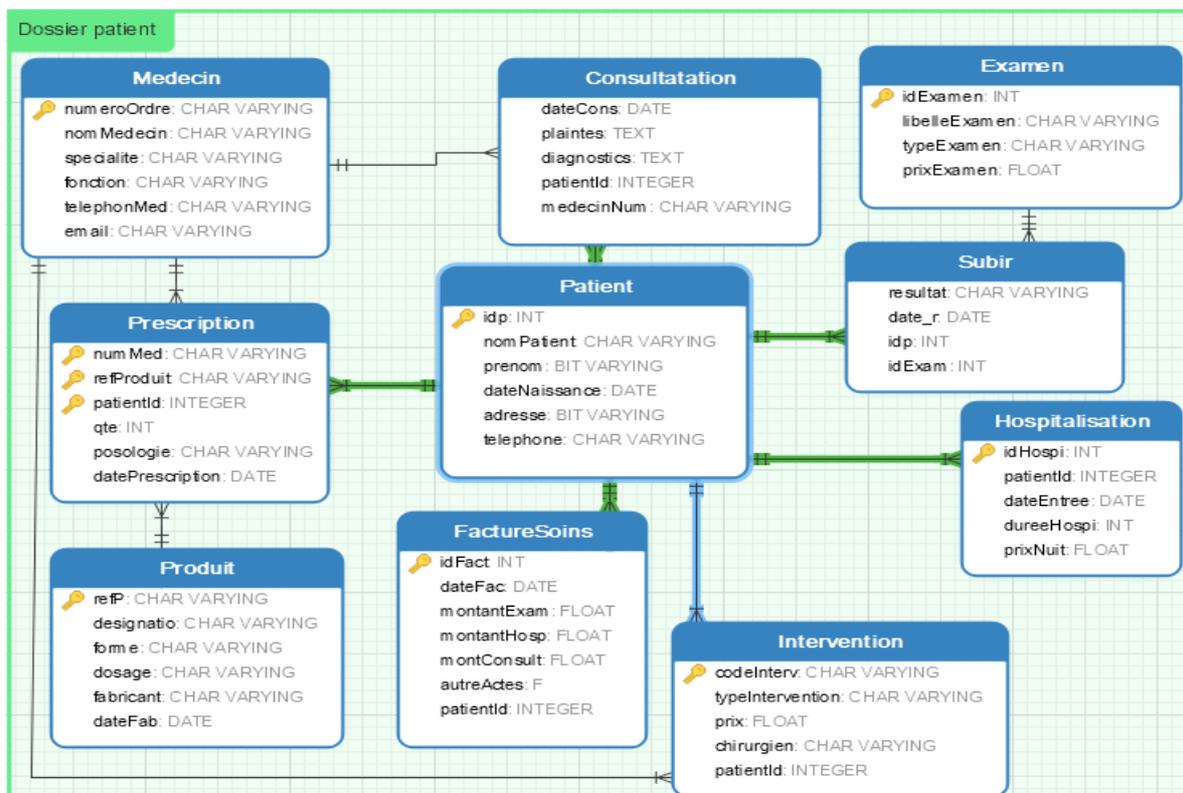
- $\sum \sigma \in L \quad L(\sigma) \times mN$ ,  $\sigma$  désigne la somme de tous de jetons manquants de toutes les traces du chaque sous-modèle.
- $\sum \sigma \in L \quad L(\sigma) \times CN$ ,  $\sigma$  représente la somme de tous les jetons consommés lors de la relecture de chaque trace du journal d'événement L
- $rN$  : indique le nombre de jetons restants dans la relecture de toutes les traces d'événements du journal L
- $pN$  représente la somme total de jetons produits dans la relecture de chaque traces

Dans la section 3 suivante, nous allons présenter le modèle de processus de prise en charge médicale en utilisant la notation Business Process Modélisation Notation (BPMN en sigle) avant de se lancer dans la découverte réel à partir du journal d'événements.

### **3. Modèle de processus prescriptif de la procédure de soins de santé au Clinique Universitaire de Lubumbashi**

Dans ce paragraphe, nous créons une structure de données de la prise en charge de patients à partir des imprimés du système informatique du Clinique Universitaire de Lubumbashi qui est notre champ d'étude. Les données que nous analysons ont été obtenues à l'intervalle de temps allant du 13 Mars 2020 au 04 Aout 2021. Le choix de cette période se justifie pour la simple raison que le monde entier connaît la flambée de cas de COVI-19 et c'est dans cette période que les professionnelles de santé ont vu leurs habitudes, habilités et méthodes de travail changés(El-Hage et al., 2020). Au total 756 patients ont reçus de soins de santé, dont 500 cas ont reçu les soins en procédure d'urgence, 256 cas arrivé à l'hôpital en état plus au moins stable. La structure de cet ensemble de données de la prise en charge médicale est illustrée à la *Figure 3*, et nous décrivons le flux de travail de prises en charge des soins de santé pendant la période de COVID-19.

**Figure. 3 :** Structure d’informations analysée dans le processus de prise en charge médicale

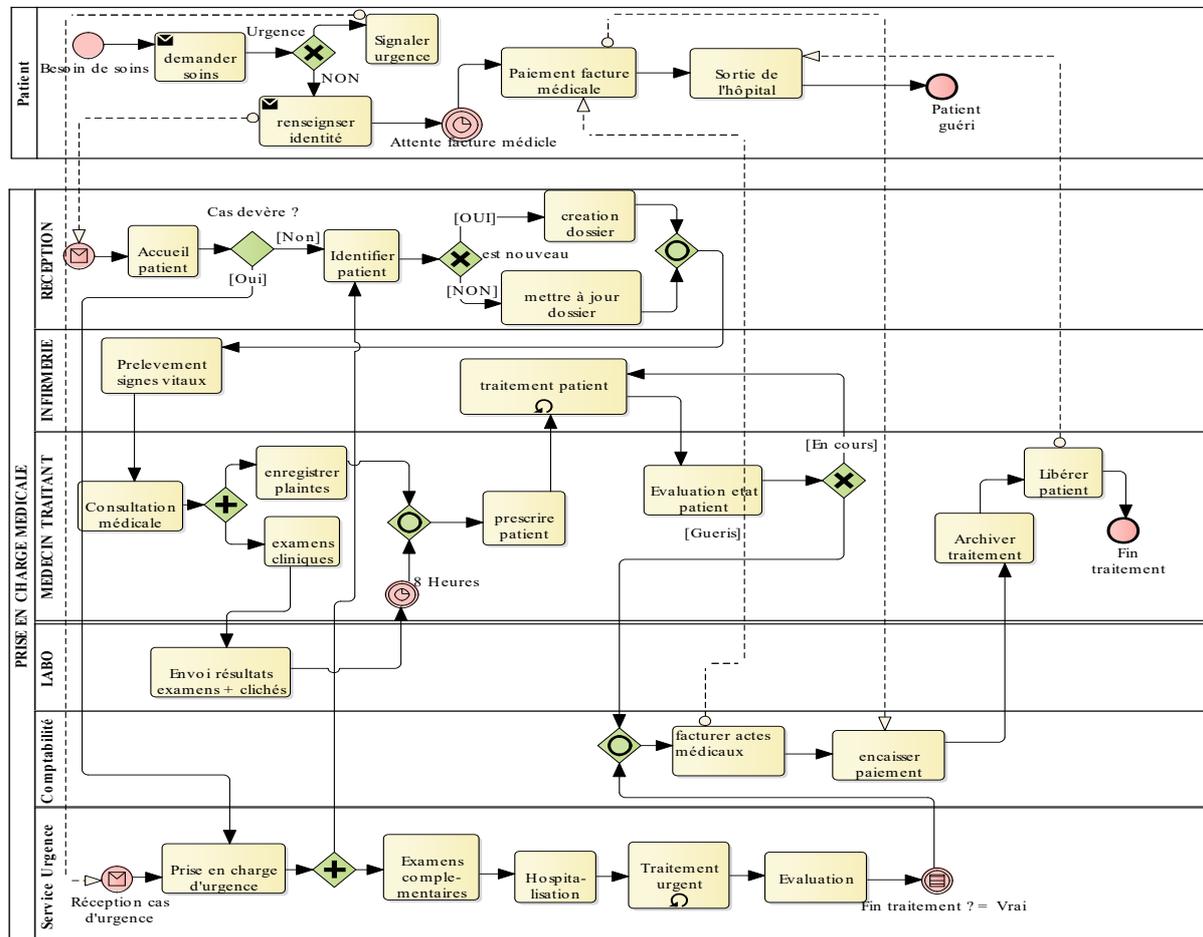


*Source : Travail personnel à partir de données de terrain*

La manipulation de ces structures informationnelles donne lieu à l’exécution de tâches corrélées dans des hôpitaux suivant les responsabilités de chacun de service organisé. De plus, la dimension organisation mise en vedette par le BPM nous permet de sceller les compétences requises pour le processus de soins de santé. Le Business Proces Modeling Notation (BPMN) en sigle représente chaque organisation indépendante dans un Pool. Ce dernier peut contenir autant de compétences (Participants). Dans la Figure 4 (page 9), le premier *pool* représente un patient qui arrive seul à l’hôpital ou assisté, comme entité externe à l’organisation interne d’une clinique. Le patient a dans son couloir de responsabilité de réaliser les tâches suivantes : solliciter soins de santé en procédure urgence ou normale selon l’appréciation du médecin, de payer la facture des actes médicaux consommés. Le deuxième *Pool* « *PRISE EN CHARGE MEDICALE* » est celui lié à l’organisation administrative de la clinique où le service d’accueil est responsable premièrement « *d’accueillir le patient* » en état stable ou dans l’ambulance. Si le cas est sévère il est immédiatement orienté vers la salle d’urgence pour une « *admission et prise en charge* » avant de revenir régulariser « *l’identification de patient* » soit par la création d’un dossier médicale ou restitution des données du patient selon que le patient est nouveau ou ancien.

La Figure 4 ci-après illustre l'enchaînement de flux de travail dans un hôpital lors de la prise en charge de soins de santé.

**Figure. 4 :** Modèle BPMN de processus normatif de prise en charge médicale



*Source : Travail personnel réalisé à partir de données de terrain*

Le service d'urgence poursuit le processus de soins par des « examens supplémentaires » et autres analyse, « l'hospitalisation du patient », le « traitement du cas sévère », « l'évaluation de l'évolution du traitement », « la facturation des actes médicaux consommés », « l'encaissement du paiement », « l'archivage de l'anamnèse » et « la sortie du patient des urgences ». Pour un cas non sévère, le service d'Infirmierie a dans son couloir le « prélèvement de signes vitaux » après « l'identification du patient » (par la création du dossier ou récupération des données du patient) ainsi que l'administration de soins prescrits à un patient par le médecin traitant « Traitement ». Le participant « Médecin traitant » est responsable de la « consultation du patient », « recommandation examens cliniques et autres », « diagnostiquer », « analyser résultat labo et clichés », « prescrire patient », « évaluer état patient », « facturation actes médicaux consommés par le patient », « encaisser paiement », « archivage de l'anamnèse »

ainsi que la « libération patient ». La clinique dispose d'un service de *laboratoire* qui s'occupe des examens cliniques et para-cliniques. Le laborantin produit « résultats d'examens + clichés ». La clinique dispose également d'un service de comptabilité qui s'occupe de la « facturation des actes médicaux » et de « l'encaissement ». Dans le dernier couloir, le service d'urgence s'occupe de la « prise en charge » de cas sévère et du « traitement d'urgence ».

Etant donné que le système informatique actuel ne prend pas en charge les actions des patients, nous n'en tiendrons pas compte dans la suite de cet article. La liste de tâches retenues sont reprisés dans le *Tableau 1* suivant où la colonne lettre indique l'étiquette de l'activité liée à un événement tandis que la colonne activités renseigne le nom de l'activité concernée par l'événement.

**Tableau N° 1** : Correspondances des activités aux lettres

Lettre	Activités
<b>a</b>	Accueil patient
<b>b</b>	Prise en charge d'urgence
<b>c</b>	Identification du patient
<b>d</b>	Examens complémentaires
<b>e</b>	Création dossier patient
<b>f</b>	Mettre à jour dossier patient
<b>g</b>	Hospitalisation cas d'urgent
<b>h</b>	Prélèvement de signes vitaux
<b>i</b>	Traitement cas d'urgence
<b>j</b>	Consultation patient
<b>k</b>	Evaluation traitement d'urgence
<b>l</b>	Recueillir plaintes
<b>m</b>	Recommandation examens cliniques + paracliniques
<b>n</b>	Envoi résultats + clichés
<b>o</b>	Prescription médicale
<b>p</b>	Administration soins de santé
<b>q</b>	Evaluation traitement
<b>r</b>	Facturation actes médicaux consommés
<b>s</b>	Encaissement paiement

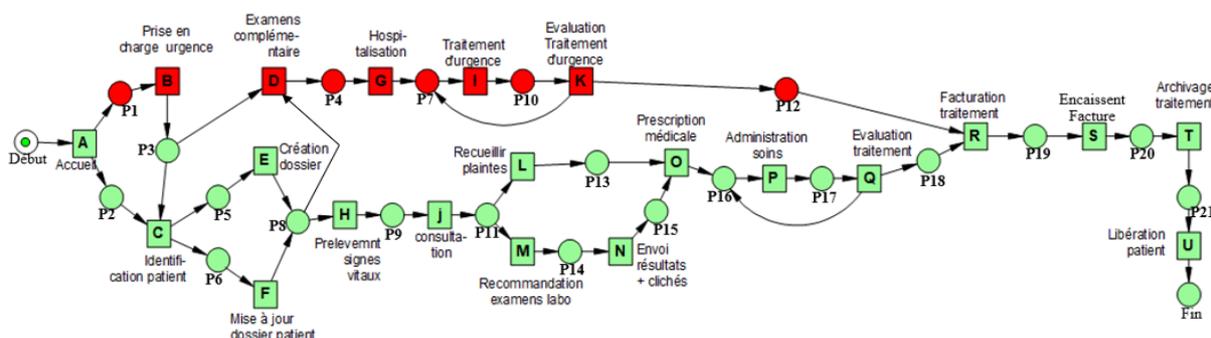
t	Archivage de l'anamnèse
u	Libération patient

Source : travail personnel à partir des de données de terrain

### 3.1. Dérivation du modèle BPMN en Réseau de Pétri

Comme annoncé précédemment, il ne suffit pas de modéliser un système, mais plutôt comment réussir à appréhender le comportement des systèmes technologiques de plus en plus complexes, afin de les concevoir, de les réaliser et/ou de les commander à partir d'un cahier des charges. C'est la raison d'être d'un réseau de Pétri. Il disponible un graphe bipartite dirigé avec deux éléments fondamentaux, des lieux (représentés par des cercles) et des transitions (représentées par des barres ou des rectangles) (Latorre-Biel et al., 2018). (1) Les *places* sont représentées graphiquement par des cercles. Chaque place contient un nombre entier (positif ou nul) de marques (ou jetons). Ces derniers sont représentés par des points noirs ; (2) les transitions notées graphiquement par un rectangle ou une barre et elles sont reliées par des arcs orientés aux places; Chaque arc est étiqueté par une valeur (ou un poids), qui est un nombre entier positif. L'arc ayant k poids peut être interprété comme un ensemble de k arcs parallèles. Un arc qui n'a pas d'étiquette est un arc dont le poids est égal à 1. L'algorithme de traduction d'un modèle BPM en réseau de Pétri est précisé dans (Kheldoun, 2018) (Favre et al., 2015). Dans cet article, nous avons appliqué les règles de traduction détectée par Favre pour produit le modèle de prisé en charge médicale (Fig.5) où le chemin en rouge indique la procédure de prise en charge de cas sévères et celui en vert pour les cas stables qui arrive à l'hôpital. Chaque place *P* est étiquetée par une valeur numérique tandis que les transitions sont mappées par de lettres. Par exemple la transition *A* désigné l'accueil d'un patient qui arrive en ambulance ou stable ; elle est le point névralgique entre la prise en charge urgente et classique.

Figure 5 : Réseau de Pétri du processus réel extrait du journal d'évènements.



Source : Travail personnel

Ce graphe nous servira de repère dans la section 4 où l'audit de conformité est réalisé par la relecture des jetons des différentes traces du journal d'événements. Dans la sous-section 3.2 suivante nous représentons un extrait du journal d'événements de la prise en charge médicale.

### 3.2. Création du journal d'événements

Nous allons à présent construire notre journal d'événements produits par des actions d'un agent de santé. Ce journal d'événements va nous servir de source de connaissance avec plusieurs millions d'événements.(Amrou *et al.*, 2018). Dans le cadre de fouille de procédées, les événements enregistrés dans les journaux doivent satisfaire une règle sémantique : chaque événement est associé à une activité ou tâche du processus bien définie, l'événement est lié à un identifiant d'un cas du processus ou instance du processus et l'événement doivent être totalement ordonnés. Le journal peut également inclure d'autres informations, par exemple, l'horodatage de chaque événement, l'intervenant de chaque action ou des données supplémentaires. En outre, le journal peut contenir le type de chaque événement, par exemple, l'événement de début (le début d'une action), l'événement complet (la fin de l'action) et l'événement planifié (une action planifiée pour être effectuée)(W. M. P. van der Aalst *et al.*, 2009). Par exemple, considérons l'extrait journal des événements dans *Tableau 3* qui contient des informations sur quatre instances de processus (cas) d'un processus qui de prise en charge de patients pour les soins de santé :

*Tableau N° 2—Extrait du journal d'événements de la prise en charge de soins de santé*

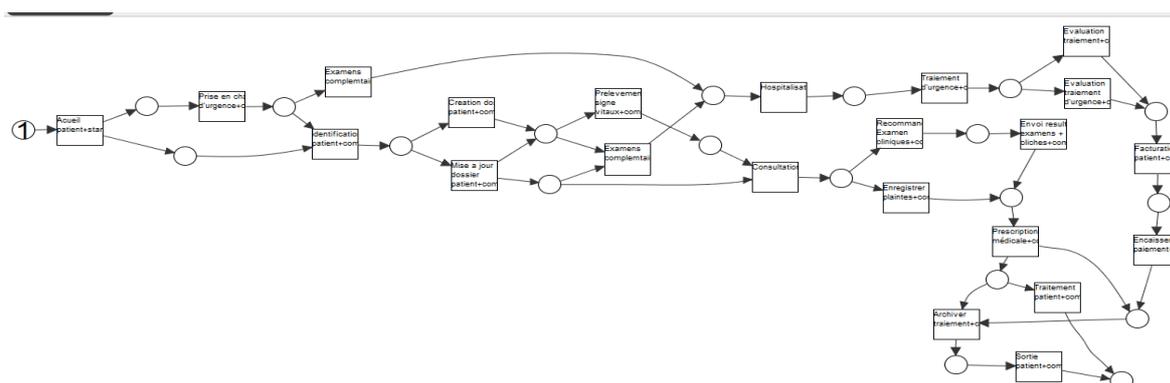
ID	Nom de la tâche	Type d'évènements	Source	Horodatage
1	Identification patient	Start	Serge NGOIE	13-03-2020 08:58:00
2	Identification patient	Complete	Serge NGOIE	13-03-2020 10:00:00
1	Création dossier patient	Complete	Serge NGOIE	13-03-2020 09:06:00
2	Création dossier patient	Complete	Serge NGOIE	13-03-2020 09:11:00
3	Prise de signes vitaux	Complete	Anne KISULA	14-03-2020 08:58:00
3	Consultation patient	Complete	Dr. MUYUMBA	14-03-2020 09:25:00
4	Analyse résultat cliniques	Complète	Dr. MUYUMBA	14-03-2020 14:30:00

4	Prescription médicale	Complete	Dr. MUYUMBA	14-03-2020 15:50:00
1	Traitement patient	Complete	IT. NDAYE	14-03-2020 16:58:00
1	Facturation actes	Complete	AG. YAV	29-03-2020 08:58:00
2	Libération patient	Complete	Dr. MUYUMBA	29-03-2020 09:15:00

Source : Travail personnel

Ce journal d'évènements est soumis à l'outil *ProM* pour inspection et extraction des modèles réels sous plusieurs perspectives et algorithmes d'explorations de processus. La *Figure 6* suivante est obtenue avec l'algorithme *Alpha Miner* et représente l'exécution des tâches dans la prise en charge médicale.

**Figure 6 :** Réseau de Pétri représentant le modèle réel de prise en charge de soins de santé extrait du journal d'évènements



Source : Prise d'écran ProM 6.

#### 4. Audit de conformité basé sur la relecture de jetons

Dans cette section nous appliquons l'algorithme de relecture de jetons (*Conformance Checking Using Token-Based Replay en anglais*) avec deux métriques à avoir celui de *fitness* et de *precision* pour analyser la conformité. Signalons aussi que cet algorithme permet d'analyser les déviations des utilisateurs dans un journal d'évènements. Pour chacune de traces, nous représenterons la fréquence, l'ensemble d'activité liées à la trace et le nombre de jetons produits, consommés, manquants et restants afin de calculer le fitness du modèle. Nous partons d'une abstraction d'un journal des évènements composé 756 instances du processus de prise en charge médicale. Chaque cas est représenté par une trace d'évènements et chaque évènement correspond à une activité exécutée pour un cas spécifique. Par exemple, la colonne

« fréquences » du Tableau 4 indique qu'il existe 123 instances de processus ayant une trace  $a, c, e, h, j, m, n, o, p, q, r, s, t, u$ . Cette trace est représentée par le symbole  $\sigma$  sigma suivit du numéro de la trace dans le journal. Ainsi la trace  $\sigma_1 = \langle a, c, e, h, j, m, n, o, p, q, r, s, t, u \rangle$  modélise une prise en charge médicale d'un patient qui a été reçu, identifié, consulté, prescrit et traité jusqu'à sa guérison total.

**Tableau N° 3 : Abstraction du journal d'événements**

Case ID	Fréquences	Trace
1 ( $\sigma_1$ )	123	a, c, e, h, j, m, n, o, p, q, r, s, t, u
2 ( $\sigma_2$ )	25	a, c, f, h, j, m, n, o, p, q, r, s, t, u
3 ( $\sigma_3$ )	15	a, c, e, h, j, l, o, p, q, r, s, t, u
4 ( $\sigma_4$ )	5	a, c, e, h, j, m, n, o, p, q, p, u
5 ( $\sigma_5$ )	22	a, b, d, g, i, k, r, s, t, u
6 ( $\sigma_6$ )	300	a, b, c, e, h, j, m, n, o, p, q, r, s, t, u
7 ( $\sigma_7$ )	80	a, c, e, h, j, m, n, o, p, q, r, s, t, u
8 ( $\sigma_8$ )	65	a, b, c, f, h, j, m, n, o, p, q, r, s, t, u
9 ( $\sigma_9$ )	1	a, c, f, h, p, r, s, t, u
10 ( $\sigma_{10}$ )	3	a, c, f, j, l, t, u
11 ( $\sigma_{11}$ )	88	a, b, c, e, d, g, i, k, r, s, t, u
12 ( $\sigma_{12}$ )	2	a, c, e
13 ( $\sigma_{13}$ )	27	a, c, f, j, o, p, q, r, s, t, u
Total	756	

**Source :** Travail personnel

Cent vingt-trois cas ont suivi ce chemin constitué de quatorze étapes, c'est-à-dire que la première ligne du Tableau 4 correspond à  $123 \times 14 = 1722$  événements. Par contre la trace  $\sigma_6 = \langle a, b, c, e, h, j, m, n, o, p, q, r, s, t, u \rangle$  c'est-à-dire sixième ligne du tableau 4, représente 300 ca (patients) ayant suivi le traitement en urgence. Trois cents cas ont suivi le chemin composé de 15 événement donc  $= 300 \times 15 = 4500$  événements. Par ailleurs, la trace  $\sigma_{10}$  renseigne trois cas ayant dévié le chemin. La succession des événements de la dixième trace laisse croire que la prise en charge médicale été déviée volontairement par le personnel soignant pour une raison inavouée. La trace  $\sigma_{11}$  c'est-à-dire la onzième ligne du tableau 4 est constituée des activités suivantes  $\sigma_{11} = \langle a, b, c, e, d, g, i, k, r, s, t, u \rangle$  renseigne la prise en charge de 88 cas urgents. La

onzième trace contient 12 étapes ce qui donne  $88 \times 12 = 1056$  événements dans le journal. Le journal renseigne deux cas enregistrés pour la trace  $\sigma_{12}$  composée des activités *accueil du patient, identification et la création d'un dossier patient* et le processus n'a pu continuer. Les raisons de cet arrêt de la prise en charge sont restées inconnues, ce qui soulèverait la question du goulot d'étranglement au niveau du service d'accueil.

#### 4.1. La métrique de fitness

Pour la *vérification de la conformité*, nous utilisons la *token-based replay* afin de relire notre journal d'événements. Nous allons considérer deux des quatre dimensions de qualité standard pour comparer le modèle et le journal : (1) adéquation, (2) simplicité, (3) précision et (4) généralisation. Seule la métrique de *fitness* et *précision* sont prises en compte dans cet article.

Un modèle avec une bonne *adéquation (fitness)* permet la plupart des comportements observés dans le journal des événements (W. van der Aalst et al., 2012). Un modèle a une forme parfaite si toutes les traces dans le journal peuvent être rejouées par le modèle du début à la fin.

Le tableau 4 suivant renseigne la fréquence, le nombre de jetons produits, consommés, restants, manquants et le *Fitness* pour chaque trace du journal.

**Tableau N° 4** : Fréquences d'exécution de traces et aptitude du modèle

Trace	Fréquence	Jetons produits (p)	Jetons restants (r)	Jetons consommés (c)	jetons manquants (m)	total produit (p)	total jetons restants (r)	total jetons consommés (c)	total jetons manquants (m)	Fitness
$\sigma_1$	123	19	3	19	4	2337	369	2337	492	0,81578947
$\sigma_2$	25	19	3	19	4	475	75	475	100	0,81578947
$\sigma_3$	15	29	2	29	4	435	30	435	60	0,89655172
$\sigma_4$	5	23	2	23	4	115	10	115	20	0,86956522
$\sigma_5$	22	13	1	13	4	286	22	286	88	0,80769231
$\sigma_6$	300	30	2	28	4	9000	600	8400	1200	0,8952381
$\sigma_7$	80	21	1	21	5	1680	80	1680	400	0,85714286
$\sigma_8$	65	21	1	20	5	1365	65	1300	325	0,85119048
$\sigma_9$	1	21	2	21	6	21	2	21	6	0,80952381
$\sigma_{10}$	3	18	2	18	6	54	6	54	18	0,77777778
$\sigma_{11}$	88	19	1	16	4	1672	88	1408	352	0,84868421
$\sigma_{12}$	2	19	3	18	6	38	6	36	12	0,75438596
$\sigma_{13}$	27	29	2	27	4	783	54	729	108	0,89144317
$\Sigma =$	<b>756</b>	<b>281</b>	<b>25</b>	<b>272</b>	<b>60</b>	<b>18261</b>	<b>1407</b>	<b>17276</b>	<b>3181</b>	

Source : Travail personnel

Pour quantifier le *fitness*, nous appliquons la formule énoncée précédemment dans la section 1.2 du présent article. D'où le *Fitness* ( $\sigma, N$ ) =  $\frac{1}{2} \left(1 - \frac{m}{c}\right) + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{r}{p}\right)$  pour chaque trace  $\sigma$  par

rapport au modèle  $N$  généré par l'algorithme Alpha Miner. La relecture de jetons de la première trace c'est-à-dire première ligne du tableau n° 4 précédent renseigne qu'il y a 19 jetons produits ( $p$ ), 3 jetons restants ( $r$ ), 19 jetons consommés ( $c$ ) et 4 jetons manquants ( $m$ ). En simplifiant dans la forme cela donnée :

$$\text{Fitness}(\sigma, N_1) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{4}{19}\right) + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{3}{19}\right) = 0,815789473684211.$$

Connaissant la fréquence  $f$  de chaque trace, nous allons quantifier chaque paramètre du *fitness* en considérant  $k = \{p, c, r, m\}$  respectivement le nombre de jetons produit ( $p$ ), le nombre de jetons consommés ( $c$ ), le nombre de jetons manquants ( $m$ ) et jetons restants ( $r$ ) comme indiqué dans la formule :

$$f \times k_i$$

Par exemple colonne « fréquence » indique 123 instances de la trace  $\sigma_1$  ce qui donne un total de jetons suivant :  $r = 3 \times 123 = 369$ ,  $p = 123 \times 19 = 2337$ ,  $m = 4 \times 19 = 492$ . La deuxième trace  $\sigma_2$  c'est-à-dire la deuxième ligne du Tableau 5 renseigne 19 jetons produits ( $p$ ), 3 jetons restants ( $r$ ), 19 jetons consommés ( $c$ ) et 4 jetons manquants ( $m$ ). En simplifiant dans la forme cela donnée :  $\text{Fitness}(\sigma, N_2) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{4}{19}\right) + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{3}{19}\right) = 0,815789473684211$ . Avec une fréquence de 25 cas le nombre jetons restants  $r = 25 \times 3 = 75$ , jetons produits  $p = 25 \times 19 = 475$ , jetons manquants  $m = 25 \times 4 = 100$  et jetons consommés  $c = 25 \times 19 = 475$ .

La trace  $\sigma_3$  l'analyse de conformité renseigne 29 jetons produits ( $p$ ), 2 jetons restants ( $r$ ), 29 jetons consommés ( $c$ ) et 4 jetons manquants ( $m$ ). En simplifiant dans la forme cela donnée :

$$\text{Fitness}(\sigma_3, N_3) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{4}{29}\right) + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2}{29}\right) = 0,89655172. \text{ L'intersection de la colonne}$$

« fréquence » et  $\sigma_3$  contient la valeur 15 correspondant au nombre de cas ayant emprunté ce chemin. Ainsi le nombre total de jetons restants pour  $\sigma_3$   $r = 15 \times 2 = 30$ , jetons produits  $p = 15 \times 29 = 435$ , le nombre de jetons consommés  $c = 15 \times 29 = 435$  et le nombre total de jetons manquants  $m = 15 \times 4 = 60$ . Pour la trace  $\sigma_4$ , 23 jetons ont été produits ( $p$ ), 23 jetons consommés ( $c$ ), 2 jetons restants ( $r$ ) et 4 jetons manquants. En appliquant ces valeurs dans la formule on obtient :  $\text{Fitness}(\sigma_4, N_4) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{4}{23}\right) + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2}{23}\right) = 0,869565217391304$ . Le nombre de cas pour la trace  $\sigma_4$  est égal à 5 ainsi, le total  $p = 5 \times 23 = 115$ , total  $c = 5 \times 23 = 115$ , le total  $m = 5 \times 4 = 20$  et le nombre total de jetons restants  $r = 5 \times 2 = 10$ . Pour la cinquième trace  $\sigma_5$  13 jetons ont été produits, 13 jetons consommés, 1 jeton restant et 4 jetons manquants. En remplaçant ces valeurs dans la formule, nous obtenons le *fitness* suivant :

$$Fitness (\sigma_5 N_5) = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{4}{13} \right) + \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{1}{13} \right) = 0,807692.$$

La colonne « fréquence » de la trace  $\sigma_5$  renseigne 22 cas ayant suivi ce chemin alors le nombre total de jetons produits  $p = 22 \times 13 = 286$ ,  $r = 22 \times 1 = 22$ ,  $c = 22 \times 13 = 286$ ,  $m = 22 \times 4 = 88$ .

#### 4.2. Quantification de la forme physique au niveau du journal

A ce niveau, nous allons visualiser la complétude entière du journal d'événements, bien qu'il semble fastidieux de le faire pittoresquement, mais au fait il suffit de prendre des sommes de **p**, **c**, **m** et **r** sur le multi-ensemble de traces dans le journal des événements. Le *fitness* de la relecture entière du journal d'événements est formalisé dans la formule suivante :

$$fitness(L, N) = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{\sum \sigma \in L \ L(\sigma) \ x \ mN, \sigma}{\sum \sigma \in L \ L(\sigma) \ x \ CN, \sigma} \right) + \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{\sum \sigma \in L \ L(\sigma) \ x \ rN, \sigma}{\sum \sigma \in L \ L(\sigma) \ x \ pN, \sigma} \right)$$

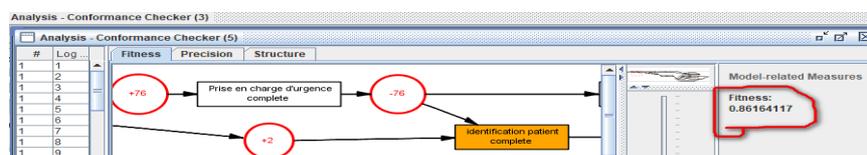
Où  $\sum \sigma \in L \ L(\sigma) \ x \ mN, \sigma$  est la somme total de tous les jetons manquants sur  $\sum \sigma \in L \ L(\sigma) \ x \ CN, \sigma$  qui représente la somme totale de jetons consommés lors de la relecture de traces du journal entier plus  $\sum \sigma \in L \ L(\sigma) \ x \ rN, \sigma$  qui n'est rien d'autre que la somme total de tous les jetons restants sur  $\sum \sigma \in L \ L(\sigma) \ x \ pN, \sigma$  qui renseigne la somme de jetons produits.

La colonne « total produit » du *Tableau 5* renseigne que la relecture de jetons à produits 18261 jetons et que seuls 17276 jetons ont été consommés, 3181 jetons sont manquants enfin 1407 jetons restants.

$$r = 1407 \quad m = 3181, \quad p = 18261 \quad c = 17276$$

Si nous appliquons ces valeurs dans la formule ci-haut, nous obtenons un rapport de **fitness (L, N)** de **0,86941127** C'est-à-dire le calcul de l'aptitude (fitness) donne un nombre entre 0 et 1. Le zéro signifie qu'une condition physique est aussi mauvaise que possible.

**Figure 7** : Résultat de calcul de fitness sous ProM



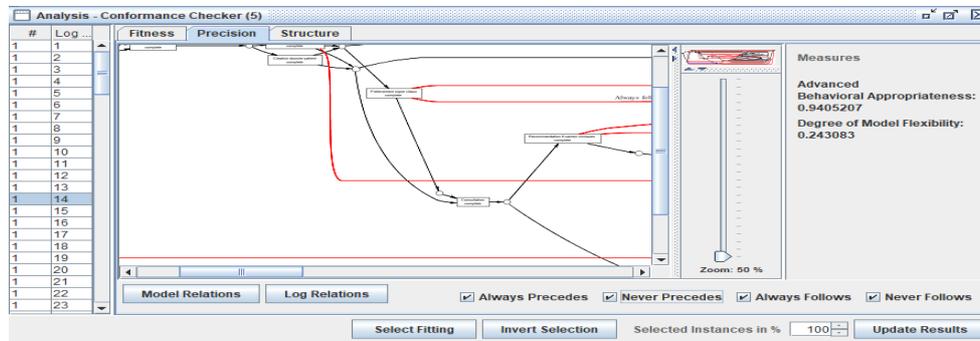
**Source** : Prise d'écran sous ProM

#### 4.3. La mesure de précision

Les modèles ( $N1$ ,  $N2$  et  $N3$ ) ont une adéquation de 0.86 autorisant clairement un comportement très différent du comportement vu dans le journal des événements. Un modèle est *précis* s'il ne permet pas un comportement « trop généraliste ». Un modèle qui n'est pas précis est « sous-ajustement ». Le sous-ajustement est le problème que les modèles tels que  $N_3$ ,  $N4$ ,  $N5$  sur-généralisés les comportements vu dans le journal. En utilisant le résultat de relecture, nous

avons obtenu une précision et un degré de flexibilité de 0,94 et 0,24 respectivement comme le montre la Figure 8 ci-après :

**Figure 8** : Résultat de précision et flexibilité



Source : Prise d'écran sous ProM 6

#### 4.4. Discussions

Le domaine sanitaire submerger par les urgences dues à la pandémie de COVID-19 ce dernier temps nous poussant ainsi de poser les questions suivantes : *Comment découvrir les comportements de personnels soignants à partir des traces d'exécutions ? Quelles seraient les motivations de certaines déviations du modèle idéal ?* Trouver une issue à ces questions pourrait accroître davantage l'agilité soit de modèles prescriptifs soit dans les journaux d'événements. Ainsi la relecture de traces du journal d'événements a donné comme fitness **0,86**. C'est-à-dire l'aptitude physique est aussi presque acceptable. Cela se justifie par le comportement non approprié observé dans le journal et interdit dans le modèle réel et aussi le fait que les données analysées font partie de la période de COVID-19 où le corps médical a dû apprendre à les nouvelles règles de travail et faire la distinction entre les soins urgents et non urgents. Par exemple les traces  $\sigma_5 = \langle a, b, d, g, i, k, r, s, t, u \rangle$   $\sigma_{11} = \langle a, b, c, e, d, g, i, k, r, s, t, u \rangle$  ont enregistré 110 cas dont les déviations ont été justifiées par la criticité l'état du patient à soigner. Cependant, ces déviations justifiées doivent constituer des innovations qui aboutiront à l'amendement du modèle de processus prescrit. Par contre en utilisant le filtre du journal à l'aide du plug-in SLF (Simple Heuristics) dans ProM pour filtrer les violations à démontrer une précision de 97 %, une généralisation de 96% et des informations structurelles (Rojas et al., 2016). L'écart entre nos résultats et ceux de nos prédécesseurs se justifie du fait que la période analysée est influencée par la pandémie de COVID-19. Ce même plug-in de filtrage est utilisé pour supprimer les traces et les activités en fonction de la fréquence des événements ou de la présence de certains événements de début/fin. Bien que la relecture de traces du journal

d'événement par rapport au modèle de processus ait clairement démontré que les déviations sont tributaires à l'appréciation du médecin, cependant elle ne montre pas les activités à ajouter ou supprimer de part et d'autre dans le modèle du processus ou le journal d'événements. La limite de notre étude est que nous n'avons utilisé qu'une seule technique de relecture de jetons ; il aurait été préférable d'utiliser toutes les techniques comme l'alignement des traces sur les modèles. Nous examinerons d'autres heuristiques de haut rang dans notre prochaine recherche.

## Conclusion

Dans cet article avait pour objectif premièrement d'explorer le processus à partir d'un journal d'événements d'un système informatique sanitaire par le biais de la technique de Process Mining et d'en auditer la conformité par la relecture de jetons selon deux métriques à savoir : la métrique de *fitness* et celle de la *Précision* afin de déterminer les comportements non appropriés du journal d'événements et le comportement autorisé dans le modèle mais cependant jamais observé dans le journal d'évènements. La *relecture de jetons du Process Mining* permet de revisiter chaque trace du journal d'événement par rapport au modèle de processus. Elle peut être utilisée pour la vérification de la conformité à partir de quatre dimensions (*fitness, précision, simplicité et généralisation*). Comme démontré, il est possible de dénicher les écarts et déviations. A l'aide de cette technique de *Process Mining* la dimension *fitness* a révélé des informations sur le comportement supplémentaire autorisé dans le modèle mais non observé dans le journal d'événement. D'où le non-respect structurel sur les exécutions de processus à la fois dans le journal d'évènements et dans le modèle idéal. Les résultats du calcul de deux métrique (*fitness et précision*) tel que démontré dans la section discussions 4.4 nous ont permis à conclure que certains cas exceptionnels augmente en nombre le comportement non approprié dans le modèle réel comme c'est le cas en santé où pour sauver de vies humaines.

Innombrables idées démontrées dans cet article été mises en œuvre dans *ProM*, une Framework d'exploration de processus open source offrant une grande variété de techniques pour la découverte de processus et disposant de plusieurs algorithmes d'exploration de processus en l'occurrence l'algorithme Alpha Miner qui a été utilisé dans cet article. D'un point de vue informatique, avec la relecture de jetons seule, il est difficile de déterminer les motivations de déviations qu'elles soient positives ou négatives. À l'avenir, nous projetons d'effectuer plus d'expériences avec d'autres techniques de Fouille de Procédés. De plus, nous envisagerons d'appliquer l'approche multi-agent afin de déterminer les niveaux de corrélation entre les



comportements des personnels soignants et leur impact sur la qualité de soins et aussi sur la cause de décès durant la prise en charge médicale.

## BIBLIOGRAPHIE

- Aalst, W. van der, Adriansyah, A., & Dongen, B. van. (2012). Replaying history on process models for conformance checking and performance analysis. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(2), 182-192. <https://doi.org/10.1002/widm.1045>
- Aalst, W., Dongen, B., Günther, C., Rozinat, A., Verbeek, E., & Weijters, A. (2009). ProM : The Process Mining Toolkit. In *Allergy*.
- Adriansyah, A., van Dongen, B. F., & van der Aalst, W. M. P. (2011). Conformance Checking Using Cost-Based Fitness Analysis. *2011 IEEE 15th International Enterprise Distributed Object Computing Conference*, 55-64. <https://doi.org/10.1109/EDOC.2011.12>
- Amrou, M., Hassan, B., & Boulmakoul, A. (2018). *Process Mining for port container terminals : The state of the art and issues*.
- Asare, E., Wang, L., & Fang, X. (2020a). Conformance checking : Workflow of hospitals and workflow of open-source EMRs. *IEEE Access*, 8, 139546-139566.
- Asare, E., Wang, L., & Fang, X. (2020b). Conformance Checking : Workflow of Hospitals and Workflow of Open-Source EMRs. *IEEE Access*, 8, 139546-139566.
- Burattin, A., Maggi, F. M., & Sperduti, A. (2016). Conformance checking based on multi-perspective declarative process models. *Expert systems with applications*, 65, 194-211.
- El-Hage, W., Hingray, C., Lemogne, C., Yroni, A., Brunault, P., Bienvenu, T., Etain, B., Paquet, C., Gohier, B., & Bennabi, D. (2020). Les professionnels de santé face à la pandémie de la maladie à coronavirus (COVID-19) : Quels risques pour leur santé mentale? *L'encephale*, 46(3), S73-S80.
- Favre, C., Fahland, D., & Völzer, H. (2015). The relationship between workflow graphs and free-choice workflow nets. *Information Systems*, 47, 197-219.
- Gatta, R., Vallati, M., Fernandez-Llatas, C., Martinez-Millana, A., Orini, S., Sacchi, L., Lenkiewicz, J., Marcos, M., Munoz-Gama, J., & Cuendet, M. (2019). Clinical guidelines : A crossroad of many research areas. Challenges and opportunities in process mining for healthcare. *International Conference on Business Process Management*, 545-556.
- Goman, D. (2012). *Analyse dynamique de l'architecture de Hibernate en lien avec les stratégies de mapping* [PhD Thesis]. Haute école de gestion de Genève.
- Günther, C. W., & van der Aalst, W. M. P. (2007). Fuzzy Mining – Adaptive Process Simplification Based on Multi-perspective Metrics. In G. Alonso, P. Dadam, & M. Rosemann (Éds.), *Business Process Management* (Vol. 4714, p. 328-343). Springer Berlin Heidelberg.
- JEBALI, Z. (2013). *La gestion de la Qualité dans le Pilotage des Travaux Application de la norme ISO 9001 : 2008 aux structures OPC* [PhD Thesis]. Université Virtuelle de Tunis.
- Kamiya, T., Kusumoto, S., & Inoue, K. (2000). A token-based code clone detection tool-ccfinder and its empirical evaluation. *Techinal report, Osaka University, Department of Information and Computer Scineces, Inoue Laboratory*.

- Kheldoun, A. (2018). *Utilisation des ECATNets récursifs pour la spécification et la vérification des systèmes complexes* [PhD Thesis].
- Latorre-Biel, J.-I., Faulín, J., Juan, A. A., & Jiménez-Macías, E. (2018). Petri net model of a smart factory in the frame of industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, 51(2), 266-271.
- Leemans, S. J., Poppe, E., & Wynn, M. T. (2019). Directly follows-based process mining : Exploration & a case study. *2019 International Conference on Process Mining (ICPM)*, 25-32.
- Leno, V., Dumas, M., Maggi, F. M., & La Rosa, M. (2018). Multi-perspective process model discovery for robotic process automation. *CEUR workshop proceedings*, 2114, 37-45.
- Mukala, P., Cerone, A., & Turini, F. (2015). Process Mining Event Logs from FLOSS Data : State of the Art and Perspectives. In C. Canal & A. Idani (Éds.), *Software Engineering and Formal Methods* (p. 182-198). Springer International Publishing.
- Naderifar, V., Sahran, S., & Shukur, Z. (2019). A review on conformance checking technique for the evaluation of process mining algorithms. *TEM Journal*, 8(4), 1232.
- Rechidi, N., Bennani, H., & Benazzou, L. (2021). Management control practices in uncertain environments : Context of the Covid 19 health crisis. *Revue du contrôle, de la comptabilité et de l'audit*, 5(2), Article 2.
- Rojas, E., Munoz-Gama, J., Sepúlveda, M., & Capurro, D. (2016). Process mining in healthcare : A literature review. *Journal of biomedical informatics*, 61, 224-236.
- Rozinat, A., Mans, R., Song, M., & Aalst, W. (2009). Discovering simulation models. *Information Systems*, 34, 305-327. <https://doi.org/10.1016/j.is.2008.09.002>
- Van Der Aalst, W. (2012). Process mining. *Communications of the ACM*, 55(8), 76-83.
- van der Aalst, W., Adriansyah, A., de Medeiros, A. K. A., Arcieri, F., Baier, T., Blickle, T., Bose, J. C., van den Brand, P., Brandtjen, R., Buijs, J., Burattin, A., Carmona, J., Castellanos, M., Claes, J., Cook, J., Costantini, N., Curbera, F., Damiani, E., de Leoni, M., ... Wynn, M. (2012). Process Mining Manifesto. In F. Daniel, K. Barkaoui, & S. Dustdar (Éds.), *Business Process Management Workshops* (Vol. 99, p. 169-194). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-28108-2\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-642-28108-2_19)
- van der Aalst, W. M. P., Pesic, M., & Schonenberg, H. (2009). Declarative workflows : Balancing between flexibility and support. *Computer Science - Research and Development*, 23(2), 99-113.
- van der Aalst, W. M., & Weijters, A. (2005). *Process Mining*.
- VANDENBOSCH, K., LASRI, S., GILLET, P., & COUCKE, P. (2020). Repenser les soins de santé post-COVID-19. *Revue Médicale de Liège*, S6-S10.