

THÈSE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE N° 641
*Mathématiques et Sciences et Technologies
de l'Information et de la Communication*
Spécialité : « Informatique »

Par

« **Moustafa SAID HAWCHAR** »

« **Uncertainty and Variability Representation in Surgical Process
Models Using Graphical Event Models** »

Thèse présentée et soutenue à « Nantes », le « le 19 Decembre 2025 »

Unité de recherche : « Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes »

Thèse N° : « »

Rapporteurs avant soutenance :

Nathalie PEYRARD Directrice de Recherche à MIAT, INRAE Toulouse
Benoit CAILLAUD Chercheur à INRIA, Rennes

Composition du Jury :

Président :	Prénom NOM	Fonction et établissement d'exercice (à préciser après la soutenance)
Examineurs :	Thomas GUYET	Directeur de recherche à centre INRIA de Lyon
	Didier Lime	Professeur des Universités à Ecole Centrale de Nantes
Dir. de thèse :	Philippe LERAY	Professeur des Universités à l'Université de Nantes
Co-dir. de thèse :	Pierre JANNIN	Directeur de recherche, LTSI, équipe MédiCIS, Rennes

Titre : Représentation de l'incertitude et de la variabilité dans les modèles de processus chirurgicaux à l'aide de modèles graphiques d'événements

Mot clés : Intelligence Artificielle, Modeles Graphiques d'evenements, Modélisation des processus chirurgicaux, Réseaux de Petri, Apprentissage automatique.

Résumé : La modélisation des processus chirurgicaux est une approche originale proposée pour décrire et analyser les interventions chirurgicales. L'objectif principal de cette thèse est de formaliser et d'améliorer la représentation de la variabilité des modèles génériques de processus chirurgicaux (gSPM). Le second objectif est de construire un modèle graphique d'événements avec variables d'états (SVGEM) soit à partir d'un gSPM élaboré par les experts, soit à partir d'un ensemble de traces individuelles (iSPM). Pour cela, nous proposons une définition mathématique étendue d'un gSPM afin de mieux comprendre ses éléments, puis nous proposons

une première représentation à l'aide d'un réseau de Petri coloré (CPN), qui fournit une définition formelle des événements et des transitions, et offre une base solide pour la simulation et la vérification des procédures chirurgicales. Nous développons également une approche d'apprentissage automatique, en introduisant un SVGEM qui capture la variabilité ; et développons une méthode d'apprentissage de structure, permettant de construire un SVGEM à partir d'un ensemble de traces. Ces propositions sont validées sur des modèles de processus chirurgicaux de la cataracte et de l'hystérectomie, fournis par l'équipe Médicis.

Title: Uncertainty and Variability Representation in Surgical Process Models Using Graphical Event Models

Keywords: Artificial intelligence, Graphical Event Model, Surgical Process Modeling, Petri Nets, Machine Learning.

Abstract: Surgical process modeling (SPM) is an original approach proposed to describe and analyze surgeries. The main objective of this thesis is to formalize and improve the variability representation of generic surgical process models (gSPM). The second objective is to build a state variable graphical event model (SVGEM), either from a gSPM provided by experts, or individual sequences (iSPM). Therefore, we define a mathematical definition of gSPM to understand its semantics and elements better, then we represent it using a col-

ored Petri net (CPN) that provides a formal definition of events and transitions and offers a strong foundation for simulating and verifying surgical procedures. We also propose a machine learning approach, by introducing a state graphical event model (SVGEM) that captures the variability, and develop a structure learning method that allows to construct SVGEM from data traces. These proposals are validated on surgical process models of cataract and hysterectomy, provided by the Médicis team.

