

Development of a Table of Interdependence between Activities- Methods-Attributions of Biomedical Engineering System

R. C. Houessouvo¹, D. Medenou¹, G. Degan²

1(Département de Génie Biomédical, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi / Université d'Abomey-Calavi, Bénin)

2 (Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquées, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi / Université d'Abomey-Calavi, Bénin)

Université d'Abomey-Calavi(UAC); 01 BP: 2009 Cotonou- République du Bénin

RESUME : Le processus des pratiques de l'ingénierie biomédicale vise spécifiquement une exploitation optimale et sécuritaire des équipements médicaux. Toutefois, nombreuses exigences, contraintes et obligations exercent une pression croissante sur les activités, méthodes et attributions de l'ingénierie biomédicale (IBM). Il est donc important que des outils dynamiques basés sur une approche systémique, intégrant les caractéristiques d'un système d'IBM soient développés. C'est dans cette optique que le présent travail rend compte de l'élaboration d'un tableau d'interdépendance entre les activités, les méthodes et les attributions du système d'ingénierie biomédicale. Pour ce faire, l'IBM a été assimilée à un système d'ingénierie. A partir d'une série de fonctions, d'attributions, d'actions et d'activités propres à l'IBM, la technique de modélisation 3 steps a été appliquée. Un tableau de bord, trois matrices et six vecteurs sont obtenus. L'ensemble servira comme outil intégré innovant pour assister l'IBM en milieu hospitalier. C'est la contribution de ce travail à une préoccupation principale de tout service biomédical qui s'interroge sur l'adéquation des outils et méthodes utilisés selon l'activité effectuée ou à effectuer. En perspective, il faut ramifier les éléments du tableau proposé, trouver des critères pour concevoir le graphique spécifique, puis élaborer un programme pour générer les indicateurs spécifiques.

MOTS CLES: Approche systémique, Matrices, Modélisation 3-steps, Outils, Vecteurs.

ABSTRACT: The practices of biomedical engineering process specifically target an optimal and safe exploitation of medical devices. However, many requirements, constraints and obligations exert increasing pressure on the activities, methods and attributions of biomedical engineering (IBM). It is therefore important that dynamic tools based on a systemic approach, integrating the features of an IBM system are developed. It is in this context that the present work reports the development of a table of interdependence between the activities, methods and attributions of biomedical engineering system. To do this, IBM has been equated with an engineering system. From a series of IBM functions, attributions, actions and activities, the modeling technic three-steps was applied. A dashboard, three matrices and six vectors are obtained. The set will serve as integrated innovative tool to assist IBM in hospital. This is the contribution of this work to a main concern of any biomedical service that questions the adequacy of tools and methods according to the activity performed or to be performed. In perspective, we must ramify elements of the proposed table, find the specific criteria to design chart and develop a program to generate specific indicators.

KEYWORDS: Systemic approach, Matrice, Modeling three-step, Tools, Vectors.

I. INTRODUCTION ET PROBLEMATIQUE

L'éthique et la responsabilité professionnelle des services biomédicaux en établissement de santé les poussent à organiser leurs activités dans le respect des exigences [1]. L'attente générale des établissements de santé, des services de soins et des patients est d'avoir les meilleures garanties possibles de continuité, sécurité et qualité des soins. Cette attente se traduit pour les services biomédicaux par l'obligation professionnelle de garantir leur maîtrise dans la gestion des risques des dispositifs médicaux (DM) en exploitation [2]. Des travaux récents [1] dans ce sens portant sur le «bilan de l'usage des bonnes pratiques en ingénierie biomédicale», stipulent qu'il y a de nombreux référentiels métiers dont les guides de bonnes pratiques fonctionnelles et opérationnelles propres au domaine du génie biomédical. Ces référentiels permettent de prouver les apports des

services biomédicaux dans leur contribution à la qualité et à la sécurité de l'exploitation des DM associés aux soins délivrés au patient. Un autodiagnostic des dites bonnes pratiques a permis d'évaluer cent dix sept (117) processus biomédicaux et de présenter une cartographie synthétique des scores de 28 bonnes pratiques [1].

Ce qui montre que le processus de l'ingénierie biomédicale est dynamique et complexe. Il faut donc cerner ce dynamisme pour prétendre maîtriser le processus. L'une des conséquences du dynamisme du processus est le fait que : *le parc des équipements médicaux a une forte tendance à augmenter au sein des différents établissements de santé, au travers d'une demande croissante de technicité, de sécurisation d'administration ou de surveillance, et de multiplicité des techniques d'exploration ou de diagnostic* [3].

Concernant le service biomédical, les enjeux sont de garantir la disponibilité et la sécurité ainsi que le suivi technique des DM [4]. De ce fait, on confond souvent la responsabilité de l'ingénierie biomédicale (IBM) à celle du service biomédical. Dans la réalité, la responsabilité de l'IBM est plus large que la responsabilité professionnelle des services biomédicaux à l'hôpital. La première inclut la deuxième et s'étend au niveau : *des patients, des fabricants, des services de soins, des services biomédicaux, des responsables des établissements de santé, des organismes sous tutelles et des décideurs* [2]. Ainsi, nombreux sont les critères, de prise en charge du patient, qui auraient des impacts directs et indirects sur un service biomédical avec d'importantes variables par rapport aux exigences [4]. Une étiquette SMART de ces critères relève des savoir-faire et de la maîtrise des concepts, attributions et méthodes de l'IBM. Tous ces éléments réunis favorisent l'exploitation optimale et sécuritaire (EOS) des DM. L'EOS est synonyme d'amélioration continue de la qualité et de la sûreté des soins prodigués aux patients. Cette amélioration est soutenue par des indicateurs qui permettent de dresser un panorama des pratiques biomédicales dans le monde [5]. C'est donc un management de qualité qui devrait garantir l'EOS des DM.

Généralement, cinq (5) processus sont observés à savoir : 1) *gérer les équipements biomédicaux*, 2) *anticiper les risques et respecter les réglementations*, 3) *gérer les impacts sur l'environnement*, 4) *s'engager dans la politique qualité-santé*, 5) *contribuer aux démarches qualité des services des soins ou médico-techniques* [4]. Afin de répondre aux enjeux de ces processus, les services biomédicaux doivent développer une maîtrise du plateau technique biomédical en assurant le respect des réglementations, veiller en permanence sur l'évolution des normes et optimiser leur politique de maintenance selon la criticité des DM en exploitation [2]. La mutualisation des équipements et le taux d'utilisation sont d'autres paramètres difficiles à maîtriser [3]. De même, l'hôpital d'aujourd'hui se voit aussi envahir par les services techniques qui deviennent un acteur stratégique au sein de l'hôpital [6]. Tout cela explique l'évolution permanente du métier biomédical. Il est donc important que des outils dynamiques, pouvant intégrer les caractéristiques d'un système complexe d'IBM, soient développés. De tels outils doivent se baser sur une approche systémique. L'objectif de ce travail est de proposer un outil dynamique pour le système d'IBM basé sur la démarche de la méthode de *modélisation <<3-steps>>* (*fonctions, matériels, défaillances*) [7]. L'outil doit appréhender toutes les composantes de l'IBM, y compris la fonction maintenance hospitalière. À ce titre, l'utilisation d'outil multidimensionnel visant à identifier, sélectionner et évaluer les caractéristiques de l'IBM, selon leurs paramètres à satisfaire les exigences requises pour un hôpital donné dans un système de santé donné, est nécessaire. Pour y arriver, nous faisons six (06) hypothèses.

- ❖ Première hypothèse : L'ingénierie biomédicale est un système d'ingénierie (SI) [7]. Donc, il possède une arborescence des fonctions du système nécessaire pour satisfaire l'analyse fonctionnelle. Par conséquent, il est modélisable en diagramme d'activités et diagramme de séquences qui résulteraient des activités d'un système d'ingénierie biomédicale à l'hôpital.
- ❖ Deuxième hypothèse : Le génie biomédical/clinique dans un contexte hospitalier a des *concepts* qui lui sont propres et déterminables.
- ❖ Troisième hypothèse : Le génie biomédical/clinique dans un contexte hospitalier a des *missions et des objectifs* clairs, précis et déterminables.
- ❖ Quatrième hypothèse : Il existe une multitude d'outils et de méthodes applicables aux concepts, missions et objectifs du génie biomédical/clinique dans un contexte hospitalier.
- ❖ Cinquième hypothèse : Il existe une relation de dépendance [7] entre respectivement :
 - *activités et [outils ou méthodes]*;
 - *[outils ou méthodes] et [concepts, missions, objectifs]* ;
 - *activités et [concepts, missions, objectifs]*.
- ❖ Sixième hypothèse : La définition de la maintenance selon la norme AFNOR NF-X-60 010 admet une formulation mathématique exploitable comme indicateur de stratification des actions, concepts et attributions du génie biomédical en milieu hospitalier.

La suite de ce document est organisée en quatre (4) sections. La section II décrit le matériel et la méthode. La section III présente les résultats et analyse. Après la discussion à la section IV, nous avons fini par la conclusion et les perspectives à la section V.

II. MATERIEL ET METHODE

Dans notre méthodologie, nous avons utilisé des notations et des formulations.

- 1) S_{IBM} : est le système d'ingénierie biomédicale (IBM). Il est utilisé pour désigner le système du génie biomédical dans le contexte hospitalier. Dans notre démarche, il est sub-divisible en des sous systèmes ou ensembles.
- 2) N_{SS} : est le nombre de sous systèmes ou sous-ensembles de S_{IBM} . Dans notre cas, $N_{SS} = 3; (s_{e1}; s_{e2}; s_{e3})$.
- 3) CMO_{IBM} : est l'ensemble des concepts, missions et objectifs (attributions) d'IBM. C'est le premier sous système (s_{e1}) d'IBM.
- 4) N_{CMO} : est le nombre d'éléments du sous système s_{e1} .
- 5) CMO_i : est un élément de l'ensemble $CMO_{IBM} = s_{e1}; i \in \{1; 2; \dots; N_{CMO}\}$.
- 6) A_{IBM} : est l'ensemble des activités et actions du système d'IBM. C'est le deuxième sous système (s_{e2}) d'IBM.
- 7) N_A : est le nombre d'éléments du sous système s_{e2} .
- 8) A_j : est une activité du système d'IBM; $j \in \{1, 2, \dots, N_A\}$.
- 9) OM_{IBM} : est l'ensemble de la boîte à outils et méthodes du système d'IBM. C'est le troisième sous système (s_{e3}) d'IBM.
- 10) N_{OM} : est le nombre d'éléments du sous système s_{e3} .
- 11) OM_k : est un élément de la boîte à outils et méthodes d'IBM; $k \in \{1; 2; \dots; N_{OM}\}$.
- 12) T_{deR} : est le type de relation de dépendance en se basant sur le codage par les probabilités des relations de dépendance proposées par [7] de tel que $T_{deR} \in [0.00 ; 1.00]$.
- 13) $T_{deR_{nulle/très\ faible}}$: est une dépendance nulle ou très faible. Sa valeur par défaut est 0.00. $T_{deR_{nulle/très\ faible}} \in [0.00 ; 0.17 [$.
- 14) $T_{deR_{faible}}$: est une dépendance faible. Sa valeur par défaut est 0.33. $T_{deR_{faible}} \in [0.17 ; 0.50[$.
- 15) $T_{deR_{moyenne}}$: est une dépendance moyenne. Sa valeur par défaut est 0.67. $T_{deR_{moyenne}} \in [0.50 ; 0.83 [$.
- 16) $T_{deR_{totale/forte}}$: est une dépendance totale ou très forte. Sa valeur par défaut est 1.00. $T_{deR_{totale/forte}} \in [0.83 ; 1.00]$.

La maintenance est une fonction principale requise dans les attributions et le mandat de l'IBM. A partir de la définition de la maintenance selon la norme AFNOR NF-X-60010, nous proposons une formulation qualitative de la maintenance comme à l'équation-1.

$$Maintenance = \frac{\sum_{i=1}^{N_{tech}} Action(i)_{techniques} + \sum_{j=1}^{N_{Admi}} Action(j)_{Administratives} + \sum_{k=1}^{N_{Mana}} Action(k)_{Management}}{(Maintenir + Rétablir)(Etat + Conditions_Données)(Sûreté_de_Fonctionnement)} \quad \text{Equation-1}$$

L'équation-1 est une expression qualitative de la maintenance qui oblige à identifier trois catégories d'actions ou de tâches (techniques, administratives, et de management) indispensables pour la fonction maintenance sous trois contraintes à savoir :

- a) *maintenir ou Rétablir un dispositif médical dans;*
- b) *un État ou des Conditions données sous;*
- c) *un niveau de sûreté de fonctionnement.*

Avec respectivement N_{tech} ; N_{adim} ; N_{Man} le nombre d'actions techniques, administratives et de management.

Le matériel utilisé est composé de la documentation relative à l'exploitation des dispositifs médicaux en milieu hospitalier, du logiciel Excel de Microsoft Office Word 2007, d'outil d'analyse fonctionnelle FAST (Function Analysis System Technique) et la méthode de modélisation <<3-steps>> [7]. Cette dernière était utilisée dans [7] pour étudier une approche de problématique de sûreté de fonctionnement des capteurs intelligents. La démarche constitue à attribuer <<3-steps>> à un système d'ingénierie à savoir: l'arbre des objectifs ou fonctions (step fonction), l'arbre des éléments matériels (step matériels) et l'inventaire des défaillances (step défaillances). D'où la modélisation <<3-steps>>. Pour lire le modèle, on dit qu'une défaillance a un impact sur au moins un élément matériel ou/et un objectif. Puis un objectif dépend au moins d'un élément matériel et de sa fiabilité. La figure 1 illustre la logique, les arbres et les dépendances des trois steps. Chaque petit losange indique un niveau de dépendance entre deux éléments de deux steps différents. Il a une valeur qui correspond à la probabilité de dépendance (P.d.D) entre deux éléments de deux steps différents.

Le nombre de composants considérés pour le 1^{er}, le 2^{ème} et le 3^{ème} step sont respectivement de $n = N_{-A}$ composants, $m = N_{-OM}$ composants et $p = N_{-CMO}$ composants. Ainsi donc, la méthode de modélisation <<3-steps>> suppose qu'un système d'ingénierie peut être modélisé par ses défaillances (1^{er} step), ses matériels (2^{ème} step) et ses fonctions (3^{ème} step).

Dans notre méthodologie, nous avons ainsi identifié des correspondances de ces trois steps sur le système d'ingénierie biomédicale.

En effet, dans un premier temps, nous avons identifié les blocs [outils ou méthodes] et [concepts, missions, objectifs (attributions)] propres au système d'ingénierie biomédicale. Ces deux blocs représentent deux steps. Ensuite, en appliquant la méthode FAST au regard de l'équation-1, nous avons identifié la famille des activités (3^{ème} step) qui peuvent rendre le système d'ingénierie biomédicale dysfonctionnel. Pour générer les matrices de P.d.D, nous avons utilisé la fonction *alea()* d'Excel 2007. Les différentes courbes aussi sont tracées sous Excel 2007. La figure 1 illustre la logique de la modélisation <<3-steps>>. Soit Φ la matrice des probabilités de dépendance (P.d.D) entre deux steps ou sous-ensembles. Nous avons les trois matrices à savoir :

$\Phi_{(Se_1; Se_2)}(n_lignes \times m_colonnes)$: est la matrice des probabilités de dépendances (P.d.D) entre les sous-ensembles S_{e1} et S_{e2} .

$$\phi_{(Se_1; Se_2)}(n_lignes \times m_colonnes) = \begin{bmatrix} TdeR_{(1x1)} & \dots & TdeR_{(1xm_colonnes)} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ TdeR_{(n_lignesx1)} & \dots & TdeR_{(n_lignesxm_colonnes)} \end{bmatrix} \quad \text{Equation-2}$$

n_lignes est le nombre d'éléments du sous système S_{e1} et $m_colonnes$ est le nombre d'éléments du sous système S_{e2} .

Soit $\Phi_{(Se_1; Se_2)Se_1}$ le vecteur des P.d.D entre S_{e1} et S_{e2} qui est généré suivant S_{e1} .

$$\Phi_{(Se_1; Se_2)Se_1} = [\psi_1; \psi_2; \psi_3; \dots; \psi_{n_lignes}] \quad \text{Equation-3}$$

$$\text{Avec chaque } \psi_i = \sum_{j=1}^{m_colonnes} (Se_1; Se_2)(i, j) \quad \text{Equation-4}$$

ψ_i est un poids de dépendance pour l'élément i de S_{e1} .

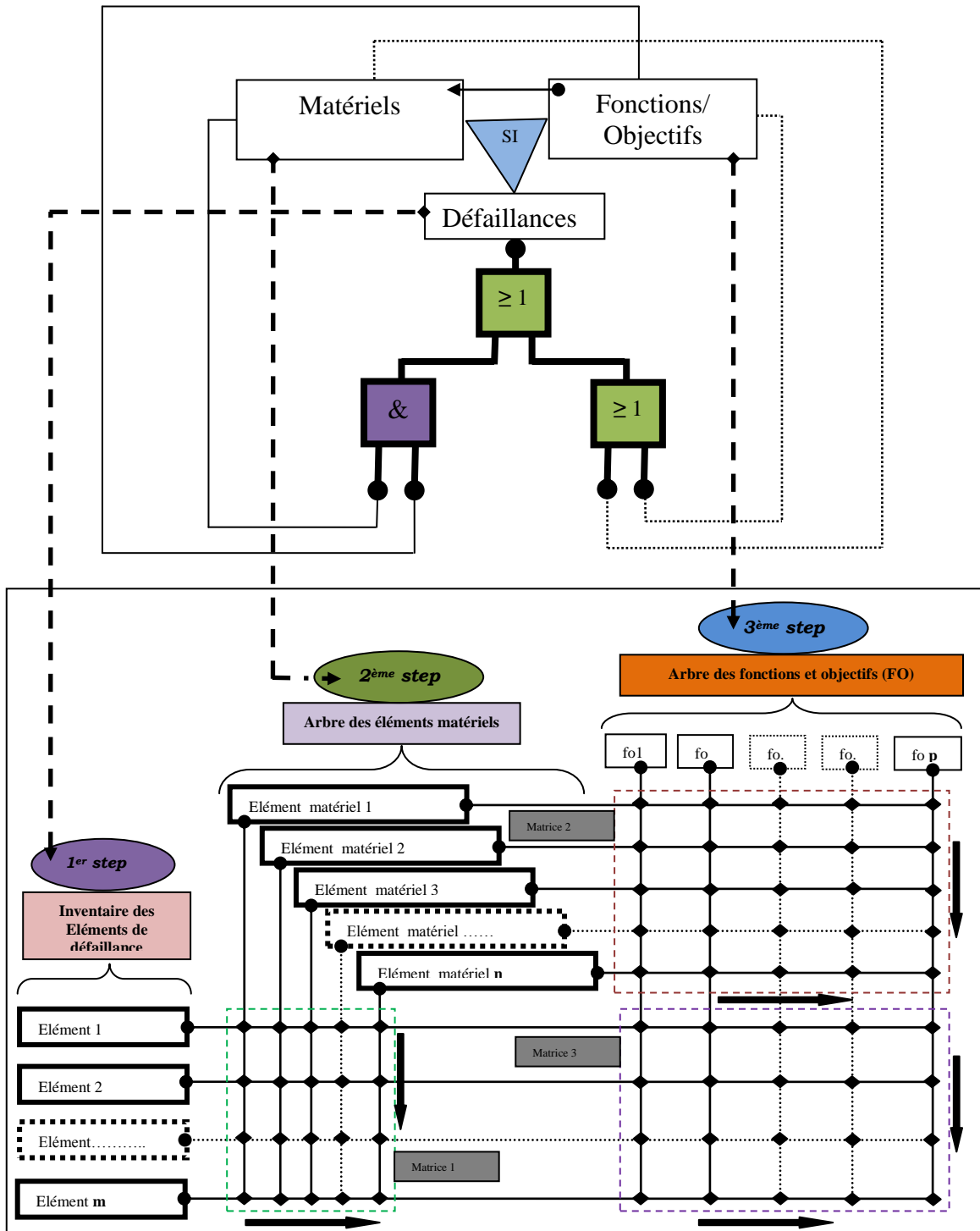


Figure 1: Schéma illustratif de la logique de modélisation 3-steps développée dans [7].

Les niveaux de dépendance sont indiqués par des cercles clairs ou foncés dans le modèle de référence [7]. Dans notre illustration de la figure 1, nous avons utilisé que de petits losanges foncés au lieu des cercles et introduisons la notion de matrice des probabilités de dépendance (P.d.D). La matrice 1 (de taille $m * n$) est formée avec des P.d.D entre les composants du 1er step et du 2ème step. La matrice 2 (de taille $n * p$) est formée avec des P.d.D entre les composants du 2ème step et du 3ème step. La matrice 3 (de taille $m * p$) est formée avec des P.d.D entre les composants du 1er step et du 3ème step. Chaque P.d.D est attribuée en fonction du niveau de dépendance (voir section II notation). A partir de chaque matrice, nous allons générer deux vecteurs des pondérations de contribution des composants d'un step à la réalisation des composants de l'autre step.

Ainsi, six(6) courbes seront générées pour le modèle. Il s'agit donc d'une avancée par rapport au modèle <<3-steps>> de référence.

A l'instar de l'équation-3 et de l'équation-4, nous pouvons élaborer le vecteur $[\Phi_{(Se_1\text{-et-}Se_2)_{Se_2}}]$ des P.d.D entre s_{e1} et s_{e2} généré suivant Se_2 , constitué des poids de dépendance (λ_i) pour les éléments i de S_{e2} .

$$\Phi_{(Se_1\text{-et-}Se_2)_{Se_2}} = [\lambda_1; \lambda_2; \lambda_3; \dots; \lambda_{m_colonnes}] \tag{Equation-5}$$

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^{n_lignes} (Se_1; Se_2)(i, j) \tag{Equation-6}$$

λ_i est un poids de dépendance pour l'élément i de S_{e2}

III. RESULTATS ET ANALYSE

L'analyse du système de l'IBM par la méthode FAST et la méthode de l'arbre des défaillances sous forme de décomposition fonctionnelle, nous a permis de dégager (voir le tableau 1) :

- ✓ Quatre vingt six (86) concepts, fonctions supports et attributions dont :
 - 17 Concepts de l'IBM en Milieu Hospitalier;
 - 15 Fonctions et Attributions de l'IBM vis-à-vis SBM ;
 - 12 Fonctions et Attributions du Technicien Biomédical vis-à-vis du SBM ;
 - 42 Fonctions supports pour Mandat du SBM ;
- ✓ Vingt-neuf (29) outils et méthodes appliqués aux fonctions et objectifs de l'IBM, selon la quatrième hypothèse;
- ✓ Cent quatre vingt neuf (189) éléments d'activités et tâches, selon la première hypothèse; pour la fiabilité ou la non fiabilité dans la réalisation des fonctions et objectifs de l'IBM dans un milieu hospitalier.

Tableau 1 : Récapitulatif de l'application de la méthode de modélisation <<3-steps>> au système d'IBM

Paramètres	Modèle <<3-steps>> de référence	Modèle <<3-steps>> avancé proposé
Nombre de steps	3	3
1er step	Inventaire des éléments de défaillance du capteur de gaz à absorption d'infrarouge	Inventaire des activités et tâches pour les fonctions et objectifs de l'IBM
Nombre (m) de composants du 1er step	m = 9	m = 189
2 ^{ème} step	Arbre des éléments matériel capteur de gaz à absorption d'infrarouge	Boite à outils et méthodes appliqués aux fonctions et objectifs de l'IBM
Nombre (n) de composants du 2 ^{ème} step	n = 7	n = 29
3 ^{ème} step	Arbre des fonctions et objectifs du capteur de gaz à absorption d'infrarouge	Inventaire des fonctions principales, supports et objectifs de l'IBM
Nombre (p) de composants du 3 ^{ème} step	p = 5	p = 86
Probabilité de niveau de dépendance	Déterminée	Déterminée
Matrice 1 de taille (m X n)	Non appliquée	Matrice 1 de taille (189 X 29)
Matrice 2 de taille (n X p)	Non appliquée	Matrice 2 de taille (29 X 86)
Matrice 3 de taille (m X p)	Non appliquée	Matrice 3 de taille (189 X 86)
Les vecteurs des pondérations de contribution des composants d'un step à la réalisation des composants de l'autre step.	Non appliquée	Φ_1
	Non appliquée	Φ_2
	Non appliquée	Φ_3
	Non appliquée	Φ_4
	Non appliquée	Φ_5
	Non appliquée	Φ_6

Plusieurs éléments de résultats sont obtenus dans cette étude. Le premier résultat est le graphique que nous proposons en guise du tableau de bord des interdépendances entre activités-méthodes-attributions du système d'ingénierie biomédicale. Ce graphique en dimension réelle est disponible en fichier séparé en format A0. Toutefois, en plus du graphique en miniature qui est illustré par la figure 2, le tableau en format A3 est joint à ce fichier.

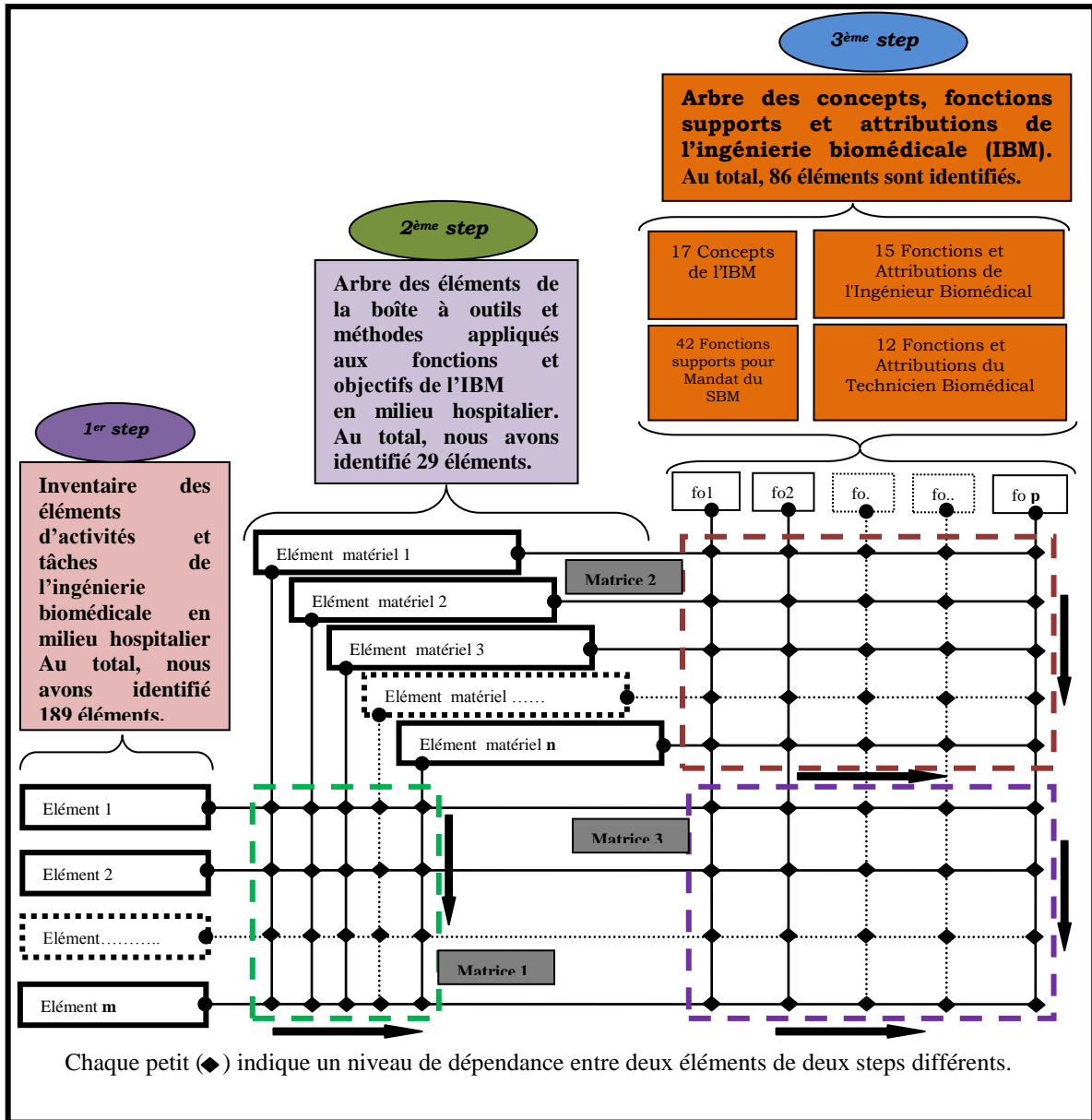


Figure 2 : Illustration du modèle proposé du tableau de bord pour la gestion intégrée du système d'ingénierie biomédicale

Chaque losange est un P.d.D entre deux éléments de deux steps distincts. Le nombre de composants/éléments obtenus pour le 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} step sont respectivement de $m = 189$; $n = 29$ et $p = 86$. Trois matrices à valeurs réelles T_{deR} appartenant strictement à l'intervalle $[0.00;1.00]$ sous la forme de l'équation-2 sont donc établies par les équations 7, 8 et 9.

$$\phi(\text{step}_1; \text{step}_2)(189 \times 29) = \begin{bmatrix} TdeR_{(1 \times 1)} & \dots & TdeR_{(1 \times 29)} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ TdeR_{(189 \times 1)} & \dots & TdeR_{(189 \times 29)} \end{bmatrix} \quad \text{Equation-7}$$

$$\phi(\text{step}_2; \text{step}_3)(29 \times 86) = \begin{bmatrix} TdeR_{(1 \times 1)} & \dots & TdeR_{(1 \times 86)} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ TdeR_{(29 \times 86)} & \dots & TdeR_{(29 \times 86)} \end{bmatrix} \quad \text{Equation-8}$$

$$\phi(\text{step}_1; \text{step}_3)(189 \times 86) = \begin{bmatrix} TdeR_{(1 \times 1)} & \dots & TdeR_{(1 \times 86)} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ TdeR_{(189 \times 1)} & \dots & TdeR_{(189 \times 86)} \end{bmatrix} \quad \text{Equation-9}$$

Les trois matrices: Matrice 1, Matrice 2, Matrice 3 des P.d.D indiquées sur la figure 2 correspondent donc respectivement à l'équation-7; l'équation-8 et l'équation-9. Les résultats et les analyses sont similaires pour les trois matrices. C'est pourquoi dans la suite, nous nous intéressons à une seule matrice. Prenons l'exemple de la Matrice 1 illustrée par le tableau 2 représentant les P.d.D entre les éléments du 1^{er} step (1STEP) et le 2^{ème} step (2STEP) : *c'est le deuxième élément de résultats.*

Tableau 2: La matrice 1 des P.d.D des éléments du 1^{er} et 2^{ème} STEP

	2STEP1	2STEP2	...	...	2STEP29	Somme T _{de} R pour les éléments du 1step
1STEP1	0,24	0,00	...	...	0,86	.....
1STEP2	0,89	0,66	...	...	0,88	.....
.....
.....
.....
1STEP189	0,61	0,93	...	...	0,60	.....
Somme T _{de} R pour les éléments du 2step	.....	.....	...	...	.....

Ce tableau2 va principalement servir à connaître les niveaux de dépendance entre les éléments du couple (1STEP_i ; 2STEP_j) appartenant au couple (1STEP; 2STEP) pour tout i appartenant à (1 ; 2 ; ... ; 189) et tout j appartenant à (1 ; 2 ; ... ; 29). Par conséquent, on pourra réaliser une stratification suivant les niveaux de dépendance : *nulle/très faible; faible ; moyenne et totale/très forte.* Ensuite, on peut attribuer des pondérations de priorisation des éléments du 1STEP pour chaque élément du 2STEP et vice versa : d'où les deux vecteurs $\phi(1)$ et $\phi(2)$ suivant la dernière ligne et la dernière colonne du tableau 2 et respectivement selon les équations 2 et 4. Par conséquent, six vecteurs seront obtenus comme indiqué dans le tableau 3.

Tableau 3 : Matrices et vecteurs associés pour le modèle proposé

Matrices	Vecteurs associés	
Matrice1 $\phi(\text{step } 1; \text{step } 2)(189 \times 29)$	$\phi(1)$	$\phi(\text{step } 1; \text{step } 2)_{(\text{step } 1)} = [\psi_1; \psi_2; \psi_3; \dots; \psi_{189}]$
	$\phi(2)$	$\phi(\text{step } 1; \text{step } 2)_{(\text{step } 2)} = [\lambda_1; \lambda_2; \lambda_3; \dots; \lambda_{29}]$
Matrice2 $\phi(\text{step } 2; \text{step } 3)(29 \times 86)$	$\phi(3)$	$\phi(\text{step } 2; \text{step } 3)_{(\text{step } 2)} = [\psi_1; \psi_2; \psi_3; \dots; \psi_{29}]$
	$\phi(4)$	$\phi(\text{step } 2; \text{step } 3)_{(\text{step } 3)} = [\lambda_1; \lambda_2; \lambda_3; \dots; \lambda_{86}]$
Matrice3 $\phi(\text{step } 1; \text{step } 3)(189 \times 86)$	$\phi(5)$	$\phi(\text{step } 1; \text{step } 3)_{(\text{step } 1)} = [\psi_1; \psi_2; \psi_3; \dots; \psi_{189}]$
	$\phi(6)$	$\phi(\text{step } 1; \text{step } 3)_{(\text{step } 3)} = [\lambda_1; \lambda_2; \lambda_3; \dots; \lambda_{86}]$

Chaque vecteur est aussi un élément de résultat. Comme nous avons considéré uniquement la matrice1, les deux vecteurs $\phi(1)$ et $\phi(2)$ constituent respectivement le troisième et le quatrième élément de résultat. A chaque vecteur, nous associons une courbe. Donc, la courbe C₁ pour le vecteur $\phi(1)$ et la courbe C₂ pour le vecteur $\phi(2)$. La courbe C₁ (la figure 3) en dents de scie est une série de valeurs de somme algébrique des P.d.D. Chaque somme comprise entre 0 (valeur minimale) et 29 (valeur maximale.). Une valeur minimale sera obtenue lorsque toutes les P.d.D correspondantes sont nulles (0.00). Une valeur maximale sera obtenue lorsque toutes les P.d.D correspondantes sont totales (1.00). Ce qui n'est pas le cas de la courbe C₁. C'est pourquoi aucune des 189 sommes des P.d.D suivant les éléments du 2STEP n'est égale à zéro (0.00) ou vingt neuf (29). Chaque point de la courbe C₁ est une occurrence de pondération de priorisation des 29 éléments du 2STEP pour chaque élément du 1STEP. La pondération la plus faible 4.80 est celle du 1step49. La pondération la plus forte 10.58 est

celle du 1step30. La pondération moyenne est de 7.20. On dénombre 85 éléments du 1STEP dont les pondérations sont inférieures ou égales à la moyenne et 104 éléments du 1STEP dont les pondérations sont strictement supérieures à la moyenne. Si la valeur moyenne est un seuil fixé, on constate que 44.97% des éléments du 1STEP ont chacun une pondération inférieure ou égale au seuil et 57.03% des éléments du 1STEP ont chacun une pondération supérieure au seuil. A cause de la taille du vecteur $\phi(1)$ la courbe C_1 associée est représentée sur un papier A3 à la page suivante.

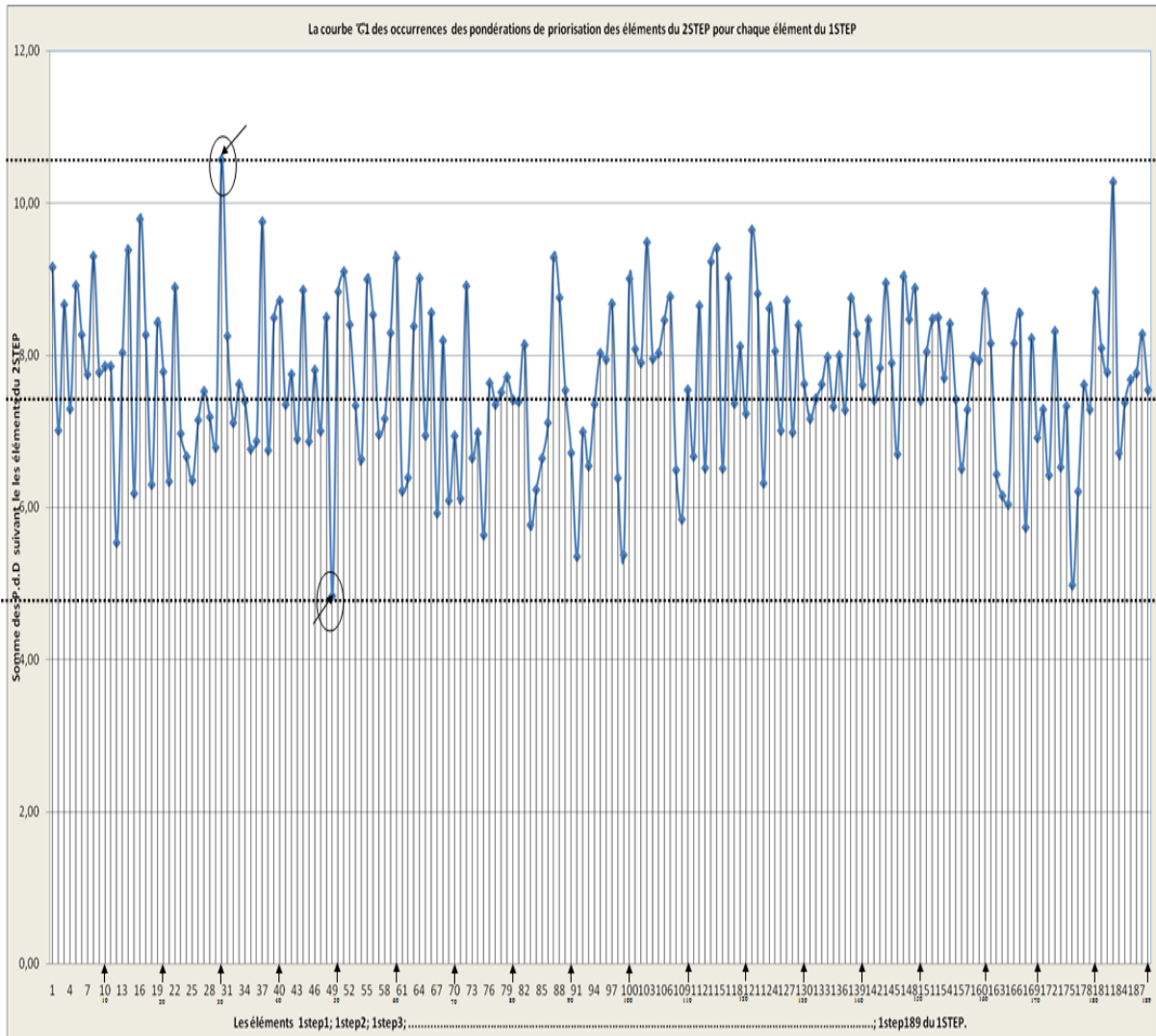


Figure 3: Les occurrences des pondérations de priorisation des éléments du 2STEP pour chaque élément du 1STEP

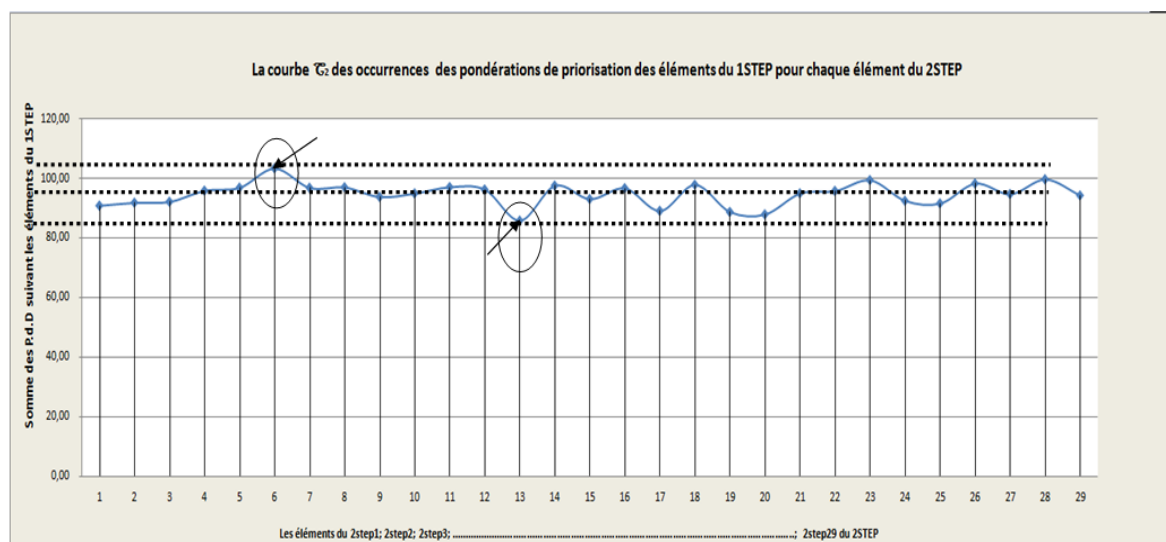


Figure 4 : Aperçu de la contribution globale des éléments du 1STEP à la réalisation ou l'atteinte des objectifs du 2STEP.

Ainsi, la courbe C_2 (figure 4) en dents de scie est une série de valeurs de somme algébrique des P.d.D. Chaque somme comprise entre 0 (valeur minimale) et 189 (valeur maximale.) Une valeur minimale sera obtenue lorsque toutes les P.d.D correspondantes sont nulles (0.00). Une valeur maximale sera obtenue lorsque toutes les P.d.D correspondantes sont totales (1.00). Ce qui n'est pas le cas de la courbe C_2 . C'est pourquoi aucune des 29 sommes des P.d.D suivant les éléments du 1STEP n'est égale à zéro (0.00) ou cent quatre vingt-neuf (189). Chaque point de la courbe C_2 est une occurrence de pondération de priorisation des 189 éléments du 1STEP pour chaque élément du 2STEP. La pondération la plus faible 85.20 est celle du 2step13. La pondération la plus forte 150.70 est celle du 2step6. La pondération moyenne est de 95.20. On dénombre 22 éléments du 2STEP dont les pondérations sont inférieures ou égales à la moyenne et 7 éléments du 2STEP dont les pondérations sont strictement supérieures à la moyenne. Si la valeur moyenne est un seuil fixé, on constate que 75.86 % des éléments du 2STEP ont chacun une pondération inférieure ou égale au seuil et 24.14 % des éléments du 2STEP ont chacun une pondération strictement supérieure au seuil. Ainsi, avec une paire de couple, on peut suivre à tout instant, la contribution globale des éléments d'un STEP à la réalisation ou l'atteinte ou non des objectifs visé pour/par chaque élément de l'autre STEP et vice-versa. Comme chaque pondération est une somme algébrique des P.d.D correspondantes, tout ajustement d'une pondération devrait avoir lieu au niveau de chaque P.d.D. Les raisons tenues sur la matrice 1 et les courbes C_1 et C_2 (pour les vecteurs $\phi(1)$ et $\phi(2)$) seront les mêmes pour la matrice 2 et la matrice 3 et les vecteurs associés $\phi(3)$, $\phi(4)$, $\phi(5)$ et $\phi(6)$.

IV. DISCUSSION

Pour le cas pratique dans un milieu hospitalier, toutes les P.d.D ne devraient pas être générées car chaque hôpital a ses restrictions et ses besoins. D'où la possibilité de définir la carte d'identité d'un hôpital vis-à-vis des valeurs de l'IBM. C'est le premier avantage qu'offre ce tableau de bord proposé. De plus, lorsque le tableau associé à une matrice sera édité, on doit pouvoir remplir par défaut certaines cellules dont les P.d.D sont nulles/très faible et totale/très forte. Ce travail empirique sera propre à chaque hôpital et chaque parc d'équipements médicaux : D'où la première spécificité du modèle 3 steps avancé proposé par rapport au modèle 3steps de référence [7]. A partir de chaque matrice des P.d.D, on pourra identifier les vecteurs ou paramètres constituant qui créent les contraintes, menaces, forces, faiblesses et opportunités du système d'ingénierie biomédicale. C'est le deuxième avantage du modèle 3 step avancé proposé. Le graphique de la figure 2 en dimension réelle sera donc un tableau de bord principal pour la gestion intégrée en vue d'une exploitation optimale et sécuritaire d'un parc d'équipements médicaux en milieu hospitalier. Pour l'ingénieur biomédical responsable du parc d'équipements médicaux, le graphique servira d'outil fondamental intégré de prise de décision car, il pourra facilement identifier les vecteurs et leviers indispensables pour maîtriser le système du service biomédical.

Par rapport au modèle 3 step de référence [7], le modèle 3 steps avancé permet de générer des courbes. Puisque nos trois 3-STEPs sont couplés deux à deux, nous avons trois couples de deux STEPs et six courbes à raison de deux courbes par couple de STEPs. Ces courbes peuvent servir d'outils d'appréciation des occurrences des pondérations de priorisation des éléments d'un STEP pour chaque élément de l'autre STEP. En somme, un graphique de synthèse, trois matrices et six vecteurs sont les piliers du modèle <<3-STEP>> avancé proposé dans ce document pour la modélisation de l'ingénierie biomédicale. Un autre avantage principal de ce modèle est la possibilité de réaliser une stratification suivant les niveaux de dépendance : nulle/très faible; faible ; moyenne et totale/très forte conforme au codage de [7].

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les préoccupations de l'ingénierie biomédicale en milieu hospitalier datent de plusieurs décennies. Le processus des pratiques de l'ingénierie biomédicale visent spécifiquement une exploitation optimale et sécuritaire des équipements médicaux : il s'agit d'un objectif fondamental. L'ingénierie biomédicale est assimilable à un système d'ingénierie. Par conséquent, elle possède une arborescence des fonctions nécessaire pour satisfaire à une analyse fonctionnelle. L'application d'une telle méthode à partir de ses concepts de l'ingénierie biomédicale nous a permis de dégager : a) une série de fonctions supports et attributions du service biomédical; b) une série d'actions et d'activités propres au service biomédical. La littérature nous a permis aussi de noter une série de méthodes et d'outils pour la mise en œuvre des dites fonctions et activités. Il en résulte que le système d'ingénierie biomédicale en milieu hospitalier est assimilable à un système d'ingénierie modélisable par la méthode <<3-Steps>> sous une forme avancée. Ce faisant, nous avons dégagé, en guise de proposition, un graphique sous forme de tableau de bord. Le graphique a trois grands piliers : d'où la notion de <<3-Steps>>. A partir de ces derniers, la méthode permet d'établir trois matrices des probabilités de dépendance et six vecteurs. L'ensemble servira d'outil intégré innovant pour assister l'ingénierie biomédicale en milieu hospitalier. C'est la contribution principale de ce travail pour répondre à une préoccupation principale de tout service biomédical qui s'interroge sur l'adéquation des outils et méthodes utilisés selon l'activité effectuée ou à effectuer. Trois perspectives sont envisagées pour la suite de ce travail. La première sera d'approfondir le traitement et la ramification des éléments de chacun des <<3-Steps>> du modèle proposé. La deuxième sera de trouver des critères pour concevoir un graphique <<3-Steps>> propre à chaque hôpital et à chaque parc d'équipements médicaux voir chaque service biomédical. La troisième sera la possibilité d'élaborer un programme sous Matlab pour générer et afficher les matrices et les vecteurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] G. Pénisson, F. Z. Meskini, and G. Farges, "Bilan de l'usage des bonnes pratiques en ingénierie biomédicale," *IRBM News*, vol. 35, no. 5–6, 2014.
- [2] J. Lhomme, J. Humbert, and G. Farges, "Nouvelle méthode pour l'analyse de la criticité des dispositifs médicaux en exploitation (MACE)," *IRBM News*, vol. 34, no. 5–6, 2013.
- [3] H. Jacquemoud, A. Baffi, and S. Gaufres, "Gestion du parc d'équipements biomédicaux la piste de la Géolocalisation," *IRBM News*, vol. 34, no. 3, 2013.
- [4] J. Chen, Y. Liu, Z. Gu, S. Ziadeh, and G. Farges, "Impacts sur le service biomédical du Manuel de Certification de l'HAS (édition 2011)," *IRBM News*, vol. 33, no. 6, 2012.
- [5] H. Viard and P.-D. Chateau Naullet, "Ouverture sur l'état de l'art des pratiques biomédicales dans le monde," UTC, Rapport de stage DESS "TBH," 2004 2003.
- [6] P. Cozic, M. Deslandes, and M. Douik, "Etude sur les besoins et attentes de référentiels des services techniques hospitaliers," U.T.C, Rapport de Stage, MASTER Management des Technologies en Santé (MTS), 2007 2006.
- [7] F. Brissaud, D. Charpentier, A. Barros, and C. Bérengruer, "Capteurs intelligents : nouvelles technologies et nouvelles problématiques pour la sûreté de fonctionnement," presented at the 16ème Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement, Avignon : France, 2008, vol. Communication 3A-2, p. 8.