

# APPROCHE FONCTIONNELLE D'UN DISPOSITIF D'ULTRAFILTRATION MorWAK

Yassine Zahidi<sup>#1</sup>, Abdellah Ait taleb<sup>##2</sup>, Abdellah Boualam<sup>###3</sup>, Mohammed Zamd<sup>####4</sup>

*#Laboratoire de Recherche en ingénierie ENSEM, Université Hassan II, Casablanca, Maroc*

<sup>1</sup>yassineezahidi@gmail.com

*##Laboratoire d' Energies Renouvelables et Dynamique des systèmes Faculté des sciences Ain Chok Université Hassan II, Casablanca, Maroc.*

<sup>2</sup>abdellah\_aittaleb@yahoo.fr

*###Laboratoire de Physiopathologie Cellulaire, Moléculaire, Inflammatoire, Dégénérative et Oncologique, Faculté de Médecine et de Pharmacie, Université Hassan II, Casablanca, Maroc.*

<sup>3</sup>boulam05@yahoo.fr

<sup>4</sup>zamdia@gmail.com

## Abstract

L'objectif de ce travail est de caractériser un système d'ultrafiltration portable permettant le traitement de l'hyper volémie rencontrée principalement dans les situations d'Insuffisance Rénale Chronique Terminale (IRCT) et d'Insuffisance Cardiaque Congestive (ICC). En effet, l'évolution des besoins et la meilleure compréhension de la physiopathologie de l'urémie ainsi que la compréhension des limites des techniques d'ultrafiltration actuelles ont été défiés par la conception du MorWAK palliant aux inconvénients des techniques actuelles d'extraction du liquide par voie extra corporelle. Le dispositif MorWAK sera décrit selon une approche fonctionnelle par les diagrammes d'exigences et de cas d'utilisation. L'approche structurelle et l'approche comportementale feront l'objet des prochaines études.

**Keywords—** MorWAK – IRCT – ICC – Hémodialyse – Ultrafiltration – Approche fonctionnelle – Diagramme d'exigences – Diagramme de cas d'utilisation.

## I. INTRODUCTION

Les techniques d'extraction extra corporelles du liquide, utilisées dans le traitement de l'hyper volémie rencontrée principalement dans les situations d'Insuffisance Rénale Chronique Terminale (IRCT) et d'Insuffisance Cardiaque Congestive (ICC) nécessitent une hospitalisation en centre de soins intensifs et l'utilisation de machines coûteuses et volumineuses pilotées par une main d'œuvre hautement qualifiée [1]–[2]. Il s'agit plus de techniques de survie que de véritables alternatives au fonctionnement physiologique du rein natif qui fonctionne 24h/24h. Dans le but d'améliorer la qualité de vie des patients dialysés, de réduire la morbi-mortalité d'origine cardiovasculaire principalement [3], de prévenir et de corriger les complications métaboliques de la maladie rénale, l'équipe de recherche Ingénierie et Biomédical affiliée au Laboratoire de Physiopathologie Cellulaire, Moléculaire, Inflammatoire, Dégénérative et Oncologique (LPCMIDO) de la faculté de médecine et de pharmacie de Casablanca au Maroc, a mis au point le dispositif portable

MORWAK (Moroccan Wearable Artificial Kidney) [4], permettant la simplification des procédures de traitement de l'hyper volémie se définissant par l'augmentation du volume extracellulaire. L'étude critique des techniques actuelles d'extraction extracorporelle du liquide ainsi que l'évaluation en 2015 du bilan carbone de l'activité de dialyse au centre Hospitalier Universitaire Ibn Rochd de Casablanca ont démontré que seule le développement des technologies portables en hémodialyse semble être l'issue valable à moyen et à long terme pour réduire considérablement la souffrance des malades atteints par une IRCT ainsi que l'impact désastreux de l'une des activités de soins les plus chères et les plus polluantes de la planète.

## II. OUTILS ET METHODES

Pour satisfaire le besoin il faut le connaître. Pour le comprendre il faut l'exprimer en termes de fonctions. Pour identifier les fonctions il faut posséder les méthodes et outils d'analyse.

Au cours de cette étude, nous utiliserons un certain nombre d'outils de résolution de Problèmes pour mieux expliciter le besoin et caractériser le dispositif MorWAK.

### A. DIAGRAMME D'ISHIKAWA

Ce diagramme sera utilisé pour regrouper par catégorie les causes qui peuvent être à l'origine d'un problème. Dans notre cas, il s'agit d'une étude critique de la dialyse telle qu'elle est faite actuellement en centres de soins intensifs dans le but d'apporter des améliorations à la qualité de vie des patients dialysés [5].

### B. CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL

Le cahier des charges fonctionnel présente toutes les fonctions regroupées par famille. Chaque fonction est caractérisée par un certain nombre de critères d'appréciation assortis de leurs niveaux et de leur flexibilité. Un coefficient

d'importance hiérarchise les différentes fonctions de service [6].

### C. DIAGRAMME DES EXIGENCES

Ce diagramme fonctionnel permettra de décrire les exigences du cahier des charges fonctionnel. Chaque exigence exprime une capacité ou une contrainte à satisfaire par le système. Une exigence peut exprimer une fonction que devra réaliser le système ou une condition de performance technique, physique, de fiabilité, de sécurité, d'ergonomie, d'esthétisme[7].

### D. DIAGRAMME DE CAS D'UTILISATION

Ce diagramme fonctionnel met en évidence les interactions fonctionnelles des acteurs et du système étudié. Il délimite avec précision le système étudié et décrit ce que fera le système sans faire allusion aux solutions technologiques adoptées [8].

## III. L'HEMODIALYSE EN CENTRE

L'hémodialyse a été introduite dans les années 1950 comme technique de suppléance rénale. Les premiers travaux de Willem Johan Kolff ont permis de mettre en place les générateurs d'hémodialyse : des appareils volumineux nécessitant un traitement d'eau préalable mais qui ont aussi permis de sauver des milliers de vies. Elle est destinée principalement aux patients atteints d'insuffisance rénale chronique terminale [9]. C'est la technique la plus utilisée pour cette indication dans le monde. En effet, après plus de soixante ans d'utilisation, peu de changements ont été apportés au principe de base [10]. Les principales améliorations ont portées surtout sur des accessoires tels que l'adjonction à presque tous les générateurs d'outils de surveillance des performances comme la dialysance ionique ou des modules pour surveiller le volume sanguin (Blood Volume Monitoring).

## IV. PROBLEMATIQUE

L'hémodialyse est une technique lourde et très coûteuse. Elle met à mal le budget de santé dans tous les pays quel que soit leur PIB. L'accessibilité à ce type de traitement est donc très restreinte dans les pays en voie de développement [11]. La haute technicité de l'hémodialyse exige une organisation particulière. Elle est très souvent réalisée en centre où une machine est « rentabilisée » par son utilisation pour plusieurs patients dans une même journée. Alors que la logique exige que chaque patient soit traité par une machine « personnelle » et de façon « individuelle ». Ceci rendrait la technique hors de prix et donc inaccessible pour la grande majorité des patients.

## V. AMELIORATION DE LA DIALYSE

L'équipe de recherche pluridisciplinaire Ingénierie et Biomédical affiliée au Laboratoire de Physiopathologie Cellulaire, Moléculaire, Inflammatoire, Dégénérative et Oncologique (LPCMIDO) de la faculté de médecine et de pharmacie de Casablanca, consciente de la nécessité d'améliorer la qualité de vie, de réduire la morbi-mortalité, de prévenir et de corriger les complications métaboliques de la

maladie rénale a mis au point le MORWAK (Moroccan Wearable Artificial Kidney), dispositif portable permettant la simplification des procédures d'hémodialyse.

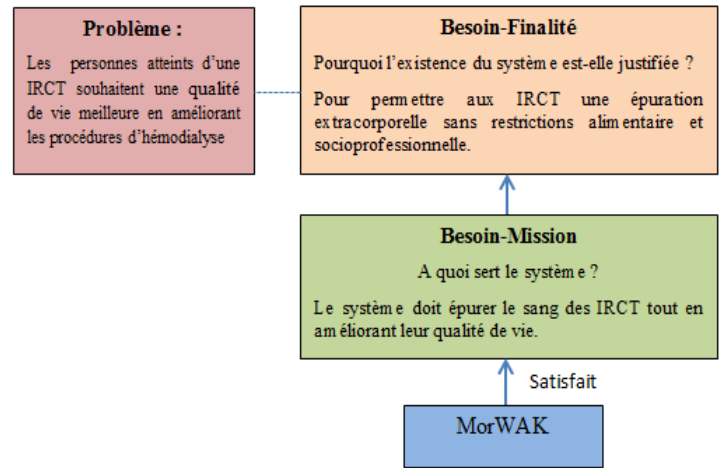


Figure 1 : Diagramme initial des besoins

Le MorWAK se définit donc comme un ensemble d'éléments solidaires et organisés pour satisfaire les attentes sus citées des patients IRCT.

L'ensemble des fonctions permet d'identifier les limites du MorWAK, les éléments qui le constituent et sa frontière incluant tous les éléments nécessaires à son fonctionnement dans toutes ses phases d'utilisation.

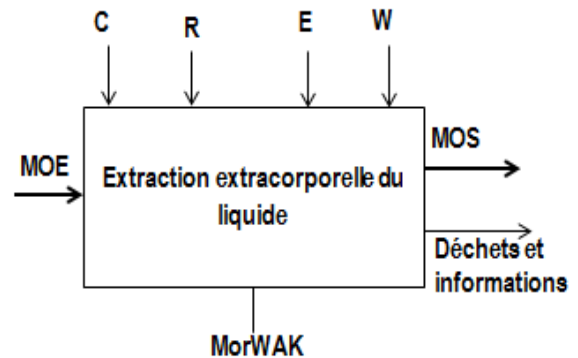


Figure 2 : Modèle SADT du MorWAK

La Matière d'œuvre Entrante (MOE) est constituée de :

- Le patient en état d'IRCT.
- L'énergie.
- Les médicaments.

La Matière d'œuvre Sortante est constituée de :

- Le patient dialysé.
- Les déchets solides et liquides.
- Les fichiers de données.
- Les informations en temps réel relatives au déroulement de l'opération d'épuration.

Les paramètres d'énergie (W), de réglage (R), de contrôle (C) et d'exploitation E permettent à l'utilisateur de personnaliser l'opération d'épuration.

### A. IDENTIFICATION DU BESOIN

Les principales causes portant atteinte à la qualité de vie des patients sont regroupées en cinq grandes familles (5M) comme suit [5] :

- **Machine (Dialyseur)** : La machine est rentabilisée par son utilisation pour plusieurs patients dans une même journée. le problème principal.
- **Matière d'œuvre** : La mise en dialyse d'un individu réduit fortement son autonomie et ses performances socioprofessionnelles. La vie des patients est rythmé (3fois 4 heures par semaine); ce qui restreint leurs déplacements en plus des restrictions alimentaires drastiques.
- **Main d'œuvre** : la qualité de service dépend de la qualification du personnel pilotant le matériel de dialyse.
- **Méthodes de travail** : La complexité des procédures et le caractère intermittent de l'hémodialyse nécessitent une main d'œuvre hautement qualifiée.
- **Milieu de travail** : il est à l'origine de l'expansion des pathologies anciennement connues (transmission manportée dans les centres de dialyse) et l'apparition de nouvelles maladies associées à la dialyse.

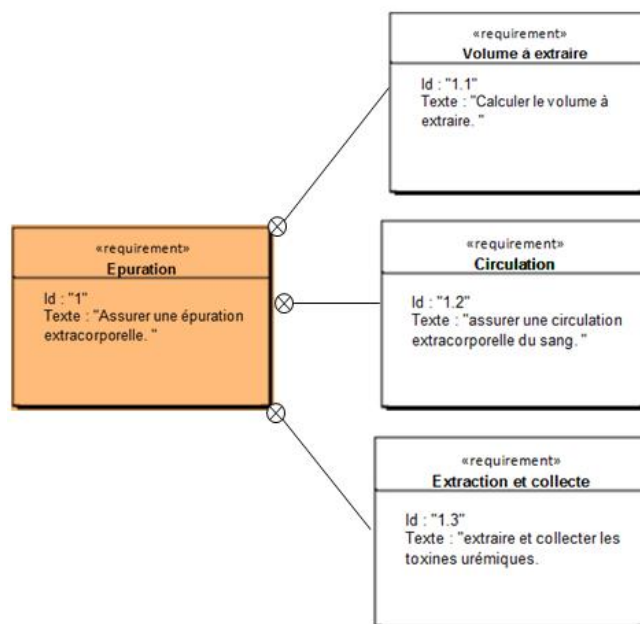


Figure 3 : Exigences fonctionnelles du MorWAK

### B. CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL

L'étude critique des techniques actuelles d'épuration extracorporelle a permis de dresser une liste non exhaustive d'exigences spécifiant les capacités ou les contraintes que doit satisfaire le MorWAK. [8]

Pour ne pas alourdir la présentation, nous avons regroupé les exigences :

- Les exigences fonctionnelles.
- Les exigences techniques.
- Les exigences de sécurité.
- Les exigences environnementales.
- Les exigences d'interfaçages.
- Les exigences pratiques.
- Les exigences de marketing.

Ces exigences constituent le cahier des charges fonctionnel technique du MorWAK. Les critères et niveaux d'appréciation des fonctions et contraintes spécifiées par les exigences apparaîtront dans les diagrammes des exigences. [6]

Dans ce qui suit, chaque catégorie d'exigences sera traitée à part.

### C. DIAGRAMME DES EXIGENCES

Chacune des macro exigences précédemment définies sera décomposée en plusieurs exigences unitaires.

#### Exigences fonctionnelles :

Ces exigences décrivent la fonction épuration extracorporelle pour laquelle le système est conçu.

#### Exigences techniques :

Ce type d'exigences précise les performances et les capacités du MorWAK

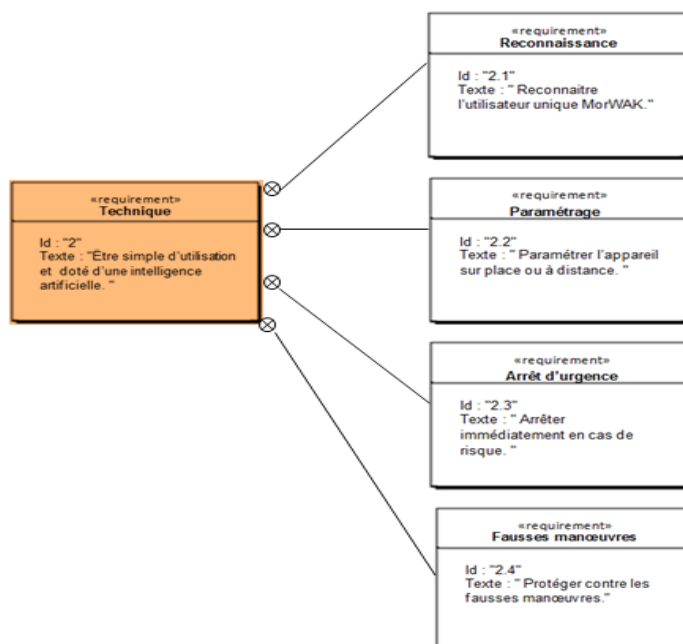


Figure 4 : Exigences techniques du MorWAK

#### Exigences de sécurité :

Ces exigences mettent en relief les dangers encourus lors de l'utilisation de l'appareil en vue de mieux protéger le patient.

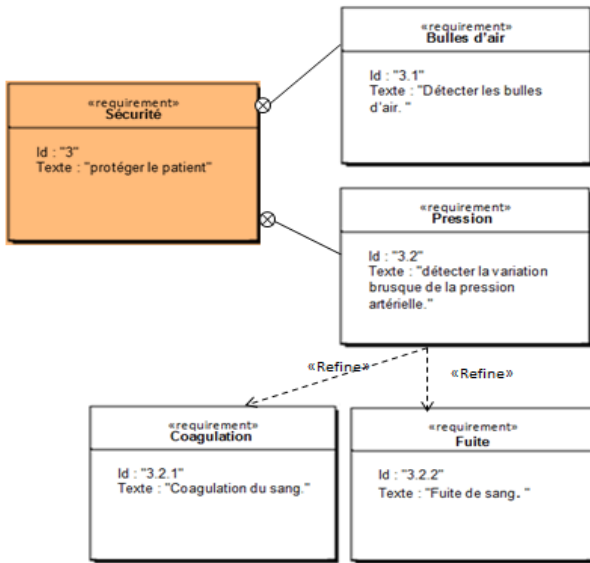


Figure 5 : Exigences de sécurité du MorWAK

**Exigences environnementales :**

Le respect de l'environnement est impératif, le dispositif doit produire moins de déchets solides et liquides.

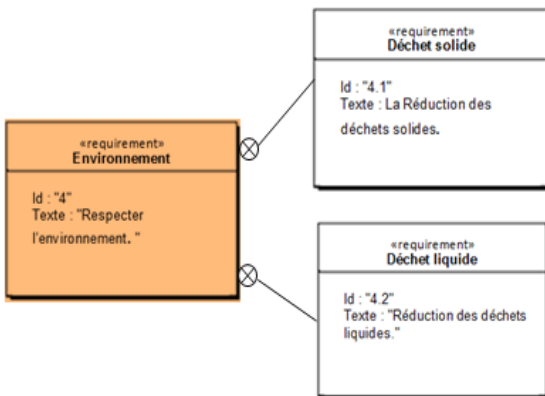


Figure 6 : Exigences environnementales du MorWAK

**Exigences énergétiques :**

La portabilité du MorWAK impose une meilleure gestion de l'énergie électrique. Les solutions technologiques ainsi adoptées ne doivent pas être gourmande en énergie.

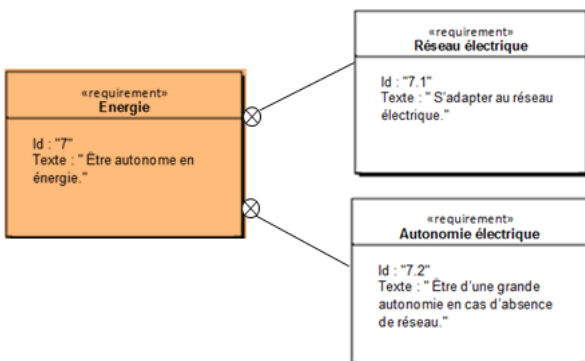


Figure 7 : Exigences énergétiques du MorWAK

**Exigences d'interface :**

L'utilisation d'un Interface Homme Machine (HMI) s'avère indispensable pour permettre une meilleure interaction avec le MorWAK.

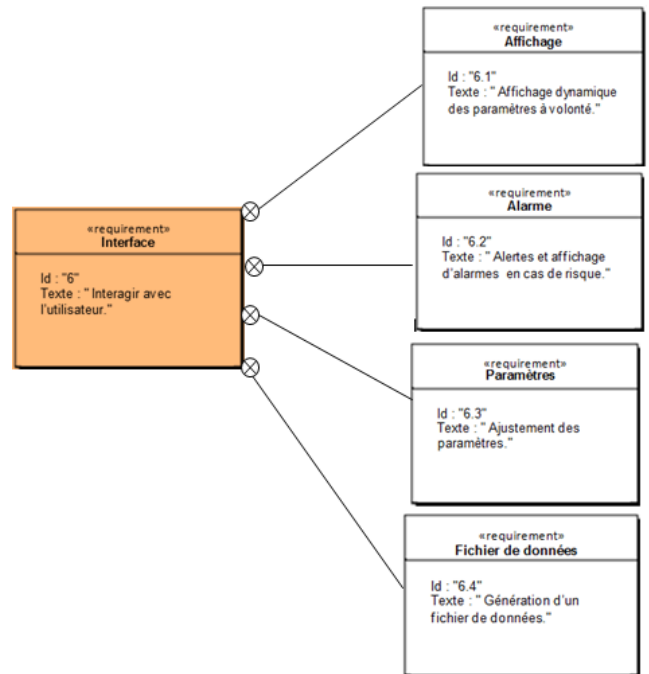


Figure 8 : Exigences d'interface du MorWAK

**Exigences pratiques :**

Les utilisateurs ne sont pas forcément des techniciens, il faut donc que le MorWAK soit simple d'utilisation et suffisamment intelligent pour gérer de manière autonome les situations à risque.

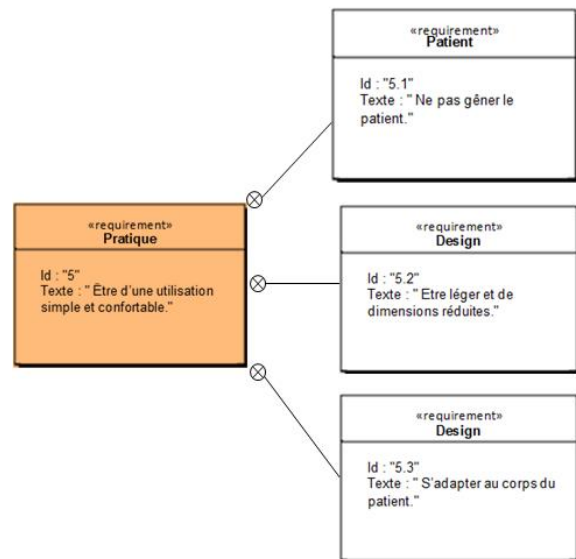


Figure 9 : Exigences Pratiques du MorWAK

**Exigences de marketing :**

Le coût de l'appareil et ses fonctions d'estime influenceront sa commercialisation. Une grande attention doit être apportée au choix des solutions technologiques.

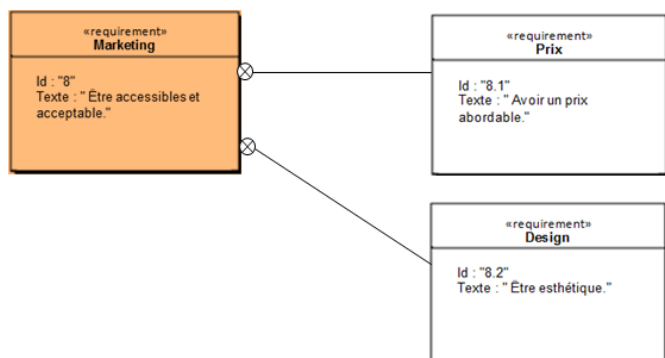


Figure 10 : Exigences de marketing du MorWAK

#### D. DIAGRAMME DES CAS D'UTILISATION

L'ensemble des fonctionnalités visibles de l'extérieur du MorWAK représente ses cas d'utilisation qui se résume en quatre grandes familles de fonctionnalités comme illustré dans la figure 11.

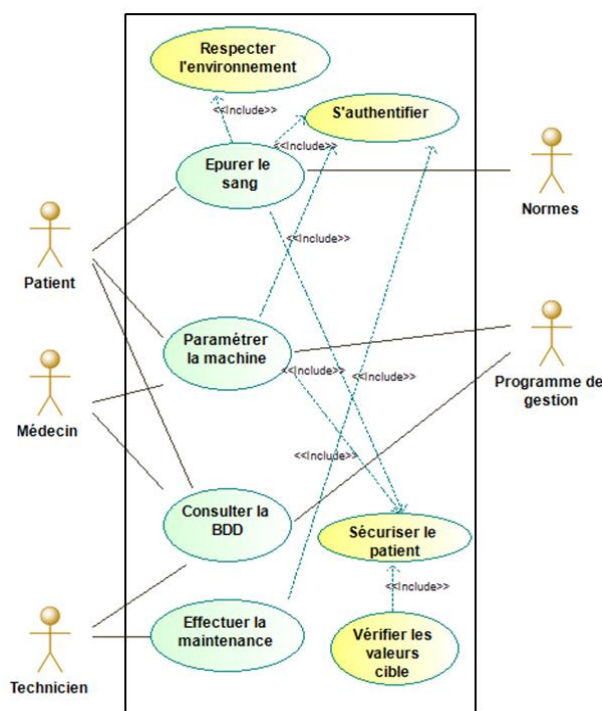


FIGURE 11 : DIGRAMME DES CAS D'UTILISATION DU MORWAK

### VI. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les premiers travaux de recherche de l'équipe ingénierie et Biomédical concerne la réalisation de recherches sur les moyens de contrôle volumique optimal et la portabilité en hémodialyse. Un premier brevet concernant un dispositif portable d'hémofiltration (MorWAK1) a été publié sous le numéro WO2016/072826A1 [12]. Un second brevet concernant un dispositif portable d'hémodialyse a été publié sous le numéro WO2017/164722 [4].

La caractérisation du MorWAK issue de l'étude critique des techniques actuelles d'épuration extracorporelle a été

couronnée par la réalisation d'un prototype satisfaisant le maximum d'exigences du cahier des charges fonctionnel. Des tests in vitro ont été réalisés sur des pochettes de sang bovin total en utilisant notre premier prototype, les résultats sont excellents et très prometteurs. Les essais animaux qui sont en phase de préparation permettront de tester la fiabilité, l'efficacité et les performances du MorWAK ainsi que l'exigence sécurité du patient.

### VII. CONCLUSION

L'approche ingénierie des systèmes adoptée dans cette étude a permis de décrire le système selon une approche fonctionnelle sous forme de graphiques (diagrammes SysML). La décomposition des exigences en macro exigences a simplifié la représentation du système. L'approche structurale permettra de définir l'architecture matérielle et logicielle globale du MorWAK sous une représentation arborescente des blocs ainsi que les flux des matières, d'énergie ou d'informations entre les blocs internes. L'approche comportementale quant à elle permettra de décrire les états et les transitions régissant les changements d'état ainsi que l'enchaînement des messages entre les acteurs et le MorWAK pour chaque cas d'utilisation. Ces deux approches feront l'objet de prochaines études.

### REFERENCES

- [1] K.Moqadem, "Aspects méthodologiques, mesure et facteurs associés à l'autonomie des patients utilisant les technologies de dialyse péritonéale à domicile," thèse.doctorat, Université de Montréal Faculté des études supérieures, Montréal, canada, mars, 2011.
- [2] N. Racine, B.Cantin, A.Ducharme, È.Gagné, F.Grenier, S.Kouz, S.Lepage, V.Nguyen, F.Philippon, and S.Rinfret "l'ultrafiltration appliquée au domaine de l'insuffisance cardiaque," La Direction des communications du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec.Rep. 978-2-550-51034-5, 2008.
- [3] RN Foley, PS Parfrey, MJ Sarnak, "Clinical epidemiology of cardiovascular disease in chronic renal disease," AMERICAN JOURNAL OF KIDNEY DISEASES., vol. 32, pp. S112–S119, Nov. 1998.
- [4] M.zamd, B.Ramdani, A.Ait taleb, A.Boualam, "DISPOSITIF PORTABLE POUR HÉMODIALYSE". Patent WO2017/164722, sept.28, 2017.
- [5] K.ishikawa, *Guide to Quality control*, Ed.IMPRINT, 1976.
- [6] R.tassinari, PRATIQUE DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE, Ed., DUNOD, 2006.
- [7] P.Roques, *Modélisation de systèmes complexes avec SysML*, Ed. Eyrolles , 2013
- [8] P.Roques, *SysML par l'exemple - Un langage de modélisation pour systèmes complexes*, Ed. Eyrolles, 2009.
- [9] W.J. KOLFF"First clinical experience with the artificial kidney," Ann Intern Med, vol.62, pp. 608–619, 1965.
- [10] J.Olson, "DESIGN AND MODELING OF A PORTABLE HEMODIALYSIS SYSTEM," M. Eng. thesis, Georgia Institute of Technology, U.S, May. 2009.
- [11] P.Just, F. de Charro, E. Tschosik, L. Noe, S. Bhattacharyya1 and M. Riella"Reimbursement and economic factors influencing dialysis modality choice around the world,"Nephrol Dial Transplant, vol. 23,pp. 2365–2373, January.2008.
- [12] M.zamd, "DISPOSITIF PORTABLE POUR HEMOFILTRATION" patent WO2016/072826A1 nov. 03. 2014