

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Construction mécanique

Présenté par :

Wieme Mabdoua

Thème

ETUDE ET ENTRETIENS D'UN GENERATEUR D'HEMODIALYSE

Devant le jury composé de:

NOM et Prénom	Grade	Qualité
Rokbi Mansour	Professeur	Encadreur
Farsi Chouki	Professeur	Co-Encadreur
Boukhari Amar	MCB	Président
Zergane Said	Professeur	Examineur

Remerciements

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله الذي علم بالقلم، علّم الإنسان ما لم يعلم، الحمد لله على نعمٍ لا تُعدّ، وعلى توفيقٍ لا يُفتر بثمن ،
الحمد لله الذي سخّر لنا من الأسباب ما يعيننا على طلب العلم، وجعل السعي فيه عبادة، والصبر عليه
جهادًا، والنية فيه ميزانًا ، والصلاة والسلام على سيدنا محمد، النبي الأمي، القائل

”من سلك طريقًا يلتمس فيه علمًا، سهّل الله له به طريقًا إلى الجنة“

أما بعد،

الى استاذي المشرف منصور رربي، شكرا على توجيهك ودعمك المتواصل طوال هذا العمل

والى قسم الهندسة الميكانيكية ، لكم مني خالص الامتنان والتقدير، شكرا لكم

ولكل من آمن أن هذا المشروع ليس مجرد صفحات، بل مشوار كفاح... جزاكم الله خيرا

Contents

Contents	1
Les tableaux :	4
Introduction générale.....	5
Chapitre I :Maladies chronique	6
I.1 Introduction.....	6
I .2 Type de maladies chronique.....	6
I .2.1 Diabète	6
Fig. I.02 :	8
I .2 .2 l'insuffisance rénale chronique	8
les signes et symptômes d'une insuffisance de la fonction rénale.....	9
I .2 .3 hypertension arteriole	10
les symptômes de l'hypertension artérielle	10
I .3 Impact des Maladies Chroniques sur les Patients.....	11
I .3 .1 Impact Physique	11
I .3.2 Impact Psychologique	11
I .3. 3 Impact Social	11
I .3.4 Impact Économique	11
I .4 Solutions adoptées pour la gestion des maladies chroniques	12
I .4 .1 Traitement du diabète de type 1 et de type 2	12
I .4 .2 Techniques de dialyse dans le traitement de l'insuffisance rénale chronique	13
Chapitre II : Etude d'un générateur d'hémodialyse	16
II.1.Évolution techno mécanique des dispositifs de dialyse rénale.....	16
II.1.1 Brève histoire du remplacement rénal	16
II.1.2 première tentative de dialyse chez l'homme	16
II.1.3 Machine à tambour de Kolff (1943–1945)	17
II.1.4 Design en spirale et double spirale (1950–1955)	18
II.1.5 Shunt de Scribner (1955–1960)	19
II.1.6. Dialyseur de Kiil	19
II.1.7. Dialyse unidirectionnelle (Single-pass) et dialyse à domicile (1960s)	20
II.2.Physiologie de base du rein humain	20
II.2.1 Hémodialyse et Hémodiafiltration : Principes de Fonctionnement et Différences Fonctionnelles	24
II.2.1.1 Hémodialyse.....	24
II.2.1.2. Hémodiafiltration.....	25
II.3 Composants du système d'hémodialyse.....	26
II.3.1 Les composants mécaniques du circuit sanguin extracorporel	27

4. Détecteur de bulles d'air (Air Bubble Detector).....	29
Fonctionnant généralement par ultrasons, ce capteur est fixé autour de la tubulure et détecte la présence de bulles d'air dans le sang (figure.II.22). Il déclenche une alarme sonore et visuelle pour éviter un risque d'embolie gazeuse, potentiellement fatal pour le patient.	
II.3.2. Fonctions principales du circuit du dialysat	30
II.2.3.2.1 Préparation du dialysat.....	30
II.2.3.2.2 Distribution du dialysat vers le dialyseur	31
II.2.3.2.3 Contrôle de l'ultrafiltration (retrait des liquides).....	31
II.3.3 Dialyseur	31
II.4 Systèmes de préparation du dialysat	32
II.4.1 Types de systèmes.....	32
II.4.2 Ratios de mélange courants.....	33
II.4.3 Considérations techniques importantes	33
II. 5 Procédure Complète de Nettoyage et de Désinfection de la Machine d'Hémodialyse 4008S – Guide Pratique	34
II.5.1 Nettoyage externe.....	34
Objectif :	34
II.5.2 Désinfection Interne Chimique	35
a) Objectif	35
b) Fréquence recommandée :.....	35
c) Procédure :.....	35
II.5.3 Désinfection Thermique (Optionnelle).....	36
II.5.4. Note	37
Il est essentiel d'enregistrer chaque opération de nettoyage ou désinfection dans un registre dédié, qui doit inclure :.....	37
• Le nom du désinfectant utilisé et sa quantité.[11].....	37
Chapitre 3 : entretiens d'un générateur d'hémodialyse	38
III.1 Généralités.....	38
III.1.1 Introduction	38
III.1.2 Définition et objectifs de la maintenance	38
III.1.3 Les phénomènes précurseurs de pannes	39
III.2.Types de maintenance	39
III.2.1.maintenance préventive	40
III.2.1.1Objectifs de la maintenance préventive	40
III.2.1.2 opérations de la maintenance préventive.....	40
III.2.2. maintenance corrective	40
III.2.2.1 Types de la maintenance corrective	40
III.2.2.1.1 maintenance palliative.....	40
III.2.2.1.2 La maintenance curative.....	41

III.3 Formules de Calcul des Indicateurs de Maintenance	42
III.4 Maintenance de l'équipement d'hémodialyse Fresenius 4008S.....	43
III.4.1 Maintenance préventive	43
III.4.1.1 Méthodologie	43
III.4.1.2 Données brutes avant et après maintenance préventive	45
III.4.1.3 Résultats	45
III.1.4 Conclusion	47
III.2 Analyse entretiens curative du générateur Fresenius 4008S : étude de cas dans les hôpitaux algériens \ bou saada	47
III.2.1. Introduction	47
III.2.2 Objectifs	48
III.2.3. Hypothèse	48
III.2.4. Méthodologie	48
III.2.5. Analyse statistique	48
III.2.6 Résultats	49
Tableau présente la répartition détaillée des pannes de 15 appareils d'hémodialyse, en indiquant la fréquence, la durée de réparation et le coût pour chaque type de panne :	49
III.2.7. Conclusion	50
III.3 Procédures de Stérilisation et de Maintenance – Fresenius 4008S.....	51
III.3. 1. Nettoyage Quotidien	51
III.3. 2. Désinfection Après Chaque Patient	51
III.3. 3. Maintenance Périodique	52
III.3.4. Conditions de Stockage	52
III.4 Modernisation du Dispositif de Dialyse Fresenius 4008S à l'Ère de l'Intelligence Artificielle et de la Santé Connectée	52
III.4.1 Propositions d'Amélioration	53
a. Intégration numérique et connectivité intelligente.....	53
b. Intégration de l'intelligence artificielle	53
c. Renforcement de la sécurité et de l'ergonomie	53
d. Maintenance intelligente et auto -diagnostic.....	54
Bibliographie :	55

Liste des tableaux :

Tableau II.4 : Tableau de type de système	35
Tableau III.4 : les données brutes collectées.....	47
Tableau III.2 : les données techniques relevées.....	47
Tableau III.3 : la répartition détaillée des pannes.....	51

Introduction générale

Dans le contexte de l'évolution constante du domaine médical, la machine d'hémodialyse s'impose comme une innovation majeure ayant transformé radicalement le traitement des patients souffrant d'insuffisance rénale. Ces dispositifs avancés reproduisent avec une grande précision la fonction naturelle des reins, en purifiant le sang des déchets et des toxines, tout en régulant l'équilibre des liquides et des sels essentiels dans le corps. Ainsi, ils représentent une véritable bouée de sauvetage pour des millions de personnes à travers le monde.

Le rôle de l'ingénieur mécanique dans ce domaine est fondamental : il est le pilier garantissant la conception de ces machines selon les normes les plus strictes de précision et de qualité, tout en assurant leur maintenance et leur bon fonctionnement. La maintenance préventive et régulière ne se limite pas à une simple opération technique, mais constitue un élément vital pour la sécurité des patients et la qualité du traitement fourni.

Le fonctionnement de ces machines requiert une compréhension approfondie des mécanismes mécaniques, électriques et électroniques assurant leur intégration parfaite, ainsi qu'une capacité à gérer efficacement et rapidement les pannes techniques. Ainsi, la synergie entre le savoir-faire technique et l'expertise médicale forme la pierre angulaire du développement et de la maintenance durable des appareils d'hémodialyse.

Dans ce mémoire, nous mettrons en lumière le fonctionnement de la machine d'hémodialyse, avec une étude détaillée de ses composants mécaniques et techniques, tout en abordant les défis liés à sa maintenance, en insistant sur l'importance des stratégies de maintenance préventive qui contribuent à optimiser la performance des appareils et à garantir la continuité d'un traitement sûr pour les patients.

Chapitre I : Maladies chronique

I.1 Introduction

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), les maladies chroniques sont des affections de longue durée qui, en règle générale, évoluent lentement. Responsables de 63 % des décès, les maladies chroniques (cardiopathies, accidents vasculaires cérébraux, cancer, affections respiratoires chroniques, diabète, etc.) (Figure. .I.1) sont la toute première cause de mortalité dans le monde.

Les maladies chroniques sont des affections de longue durée qui évoluent lentement et, en général, ne se guérissent pas complètement. Elles nécessitent une prise en charge continue pour limiter leur progression et améliorer la qualité de vie des patients.[1]

I .2 Type de maladies chronique

I .2.1 Diabète

Le diabète est une maladie chronique qui apparaît lorsque le pancréas ne produit pas suffisamment d'insuline ou que l'organisme n'utilise pas correctement l'insuline qu'il produit. Cela a comme effet d'augmenter le taux de sucre dans le sang; c'est ce qu'on appelle une hyperglycémie. Il existe deux principaux types de diabète.

Le diabète de type 1 survient lorsque le pancréas ne produit pas ou pas suffisamment d'insuline. Ce type de diabète apparaît la plupart du temps soit à l'enfance, à l'adolescence ou au début de l'âge adulte.

Le diabète de type 2 résulte d'une incapacité de l'organisme à bien utiliser l'insuline produit par le pancréas. Il se manifeste habituellement à l'âge adulte et est souvent la conséquence de la présence de plusieurs facteurs de risques parmi ceux-ci :

- Le surplus de poids ;
- Inactivates physique;

- Les mauvaises habitudes élémentaires;
- Hypertension artérielle;
- Avoir un membre de la famille qui en souffre;
- Hypercholestérolémie;

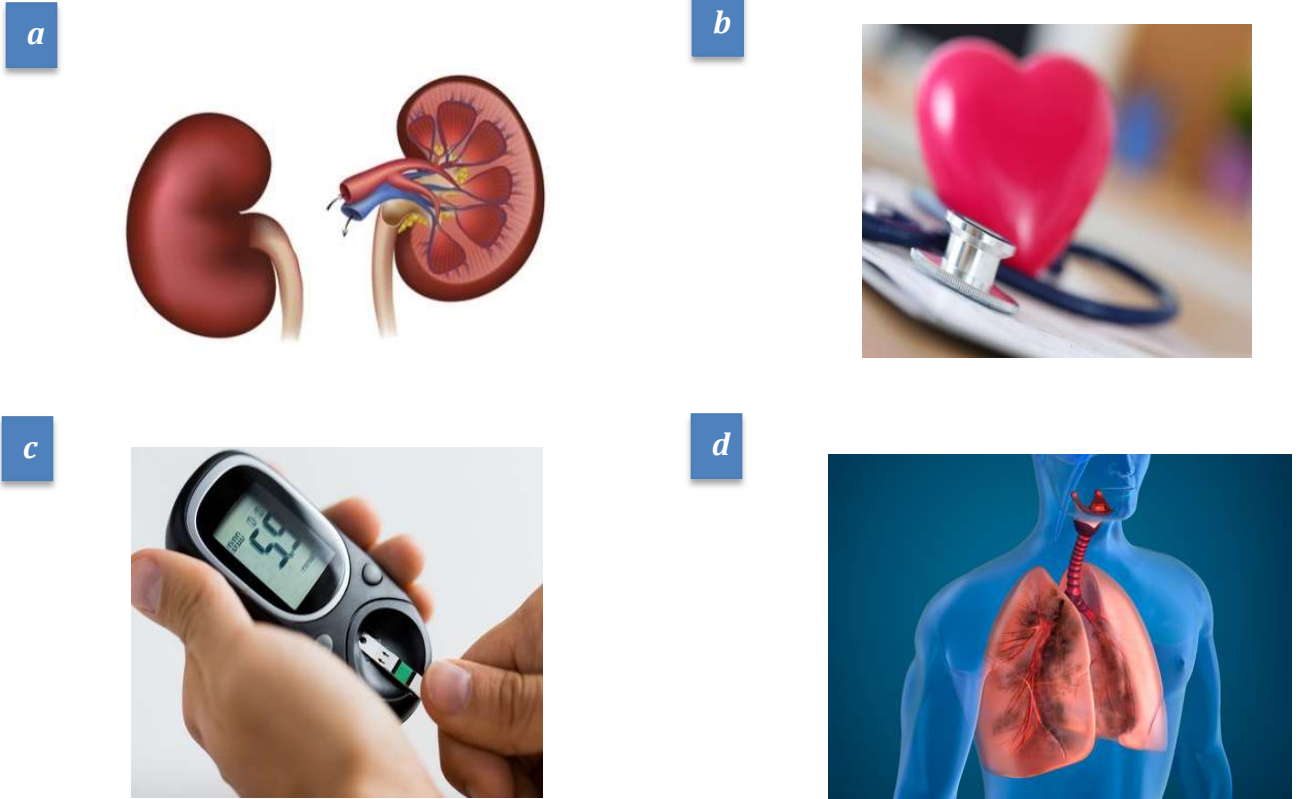


Fig. I.1 : Exemples de maladies chroniques

a) Reins, b) Tension artérielle, c) Diabète, d) Asthme

⇒ **Statistiques sur les patients diabétiques dans le monde**

On estime que, dans le monde, environ 8,42 millions de personnes vivaient en 2021 (**Figure.I.02**) avec un diabète de type 1 (DT1). Environ 1,48 million de personnes âgées de 0 à 19 ans étaient atteintes de DT1, 5,3 millions avaient entre 20 et 59 ans et 1,6 million d'individus étaient âgés de plus de 60 ans. Les dix pays ayant la plus forte prévalence de DT1 étaient les États-Unis, l'Inde, le Brésil, la Chine, l'Allemagne, le Royaume-Uni, la Russie, le Canada, l'Arabie Saoudite et l'Espagne. Ces pays totalisaient l'an dernier environ 60 % des cas de DT1 dans le monde, soit 5,08 millions de cas.

Ces chiffres proviennent d'une vaste étude conduite par une équipe de chercheurs internationaux et publiée le 10 octobre 2024 dans la revue Lancet Diabètes Endocrinologie .

Cette étude, conduite par des chercheurs australiens, canadiens et luxembourgeois, indique que le DT1 est un fléau dont l'impact devrait augmenter rapidement, en particulier dans les pays pauvres. Ces épidémiologistes estiment qu'environ 3,1 millions d'individus atteints de DT1 seraient restés en vie s'ils n'avaient pas manqué de soins et que 700 000 autres .[2]

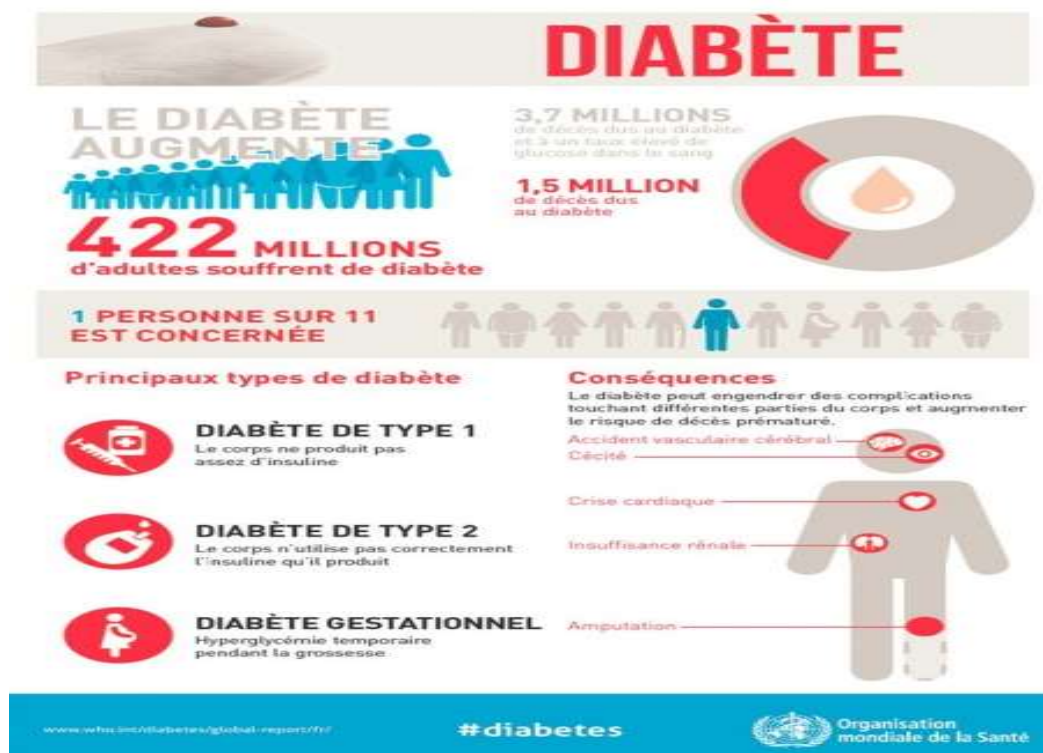


Fig. I.02 : Statistiques sur les patients diabétiques dans le monde

I .2 .2 l'insuffisance rénale chronique

Les reins sont des organes qui possèdent de nombreuses fonctions : la fonction endocrine (ils sécrètent des hormones) et exocrine (ils permettent la filtration des déchets et la réabsorption de certaines molécules). Ainsi, les reins permettent de maintenir la pression artérielle (en sécrétant la rénine), participent à l'homéostasie acido-basique, jouent un rôle dans le métabolisme phosphocalcique (en sécrétant la vitamine D) ou encore participent à la formation des globules rouges (en sécrétant l'érythropoïétine). Les reins filtrent chaque jour 190 litres de

sang. La moitié des cas d'insuffisance rénale est due aux maladies chroniques, comme le diabète et l'hypertension artérielle mal contrôlés. Il existe de nombreuses causes entrant en jeu dans l'insuffisance rénale.

L'insuffisance rénale aiguë peut être due à une infection, une intoxication médicamenteuse ou encore des calculs. (**Figure.I.03**)

L'insuffisance rénale chronique peut être liée à des maladies génétiques par exemple, ou des maladies inflammatoires, des pyélonéphrites ou encore une polykystose. 5 à 10 % de la population souffre d'une pathologie (notamment le diabète, l'hypertension artérielle) pouvant mener à une insuffisance rénale chronique.



Fig.I.03 : insuffisance rénale

les signes et symptômes d'une insuffisance de la fonction rénale

Dans les premiers temps, l'insuffisance rénale chronique est asymptomatique, ce qui rend son diagnostic difficile.

Quand la fonction rénale est très altérée, certains signes commencent à apparaître. Ces signes sont liés au **syndrome urémique** qui peut provoquer par exemple :

- une **anémie** (due à la baisse de la production d'érythropoïétine);

- des **douleurs** (crise de goutte, crampes);
- des problèmes **métaboliques** (perturbation du métabolisme glucidique et lipidique).

Il peut se produire une rétention de sodium qui provoque une hypertension et des œdèmes. Les reins ne filtrent pas assez les déchets, ceux-ci peuvent s'accumuler et devenir toxiques pour l'organisme.[3]

I.2.3 hypertension artérielle

On parle d'hypertension artérielle quand la pression du sang dans les artères est trop élevée. Les deux valeurs de la pression artérielle sont habituellement comprises entre 10 et 14 pour la pression maximale, et 6 et 8 pour la pression minimale. Ainsi, une tension de 12 - 8 est considérée comme normale.

L'hypertension artérielle(**Figure.I.04**) est l'un des principaux facteurs de risque des maladies cardiaques, de l'insuffisance rénale, et des accidents vasculaires cérébraux ou AVC. Elle apparaît généralement avec l'âge, souvent accompagnée d'un excès de poids.

les symptômes de l'hypertension artérielle

Les symptômes de l'hypertension artérielle peuvent être des maux de tête, des vertiges, des bourdonnements d'oreille, des troubles de la vision, ou des saignements de nez. Mais le plus souvent, elle ne donne aucun signe clinique et on la découvre lors d'une consultation pour un autre motif. Pour la dépister, le médecin mesure systématiquement la pression artérielle lors d'une consultation ,quel que soit son motif.[4]



Fig.I.04 :Hypertension artérielle

I.3 Impact des Maladies Chroniques sur les Patients

Les maladies chroniques, telles que le diabète, l'hypertension, les maladies cardiovasculaires ou encore les maladies respiratoires chroniques, ont un impact profond sur la vie des patients. Cet impact peut être analysé sous plusieurs aspects : physique, psychologique, social et économique.

I.3.1 Impact Physique

Les maladies chroniques entraînent souvent une diminution de la qualité de vie en raison des symptômes persistants, de la fatigue, des douleurs ou des complications associées par exemple les patients diabétiques peuvent souffrir de neuropathies, tandis que les insuffisants cardiaques peuvent avoir des limitations dans leurs activités quotidiennes.

I.3.2 Impact Psychologique

Vivre avec une maladie chronique peut engendrer du stress, de l'anxiété ou de la dépression. L'adaptation à une nouvelle réalité, la peur des complications ou la perte d'autonomie contribuent à un mal-être psychologique.

I.3.3 Impact Social

Les relations familiales et professionnelles peuvent être affectées. Un patient souffrant d'une maladie chronique peut avoir des difficultés à maintenir un emploi stable ou à participer à des activités sociales, ce qui peut mener à l'isolement.

I.3.4 Impact Économique

Les coûts liés aux soins, aux traitements et aux hospitalisations sont souvent élevés. En plus des dépenses médicales, l'incapacité de travailler peut entraîner une perte de revenus, accentuant ainsi les difficultés financières.

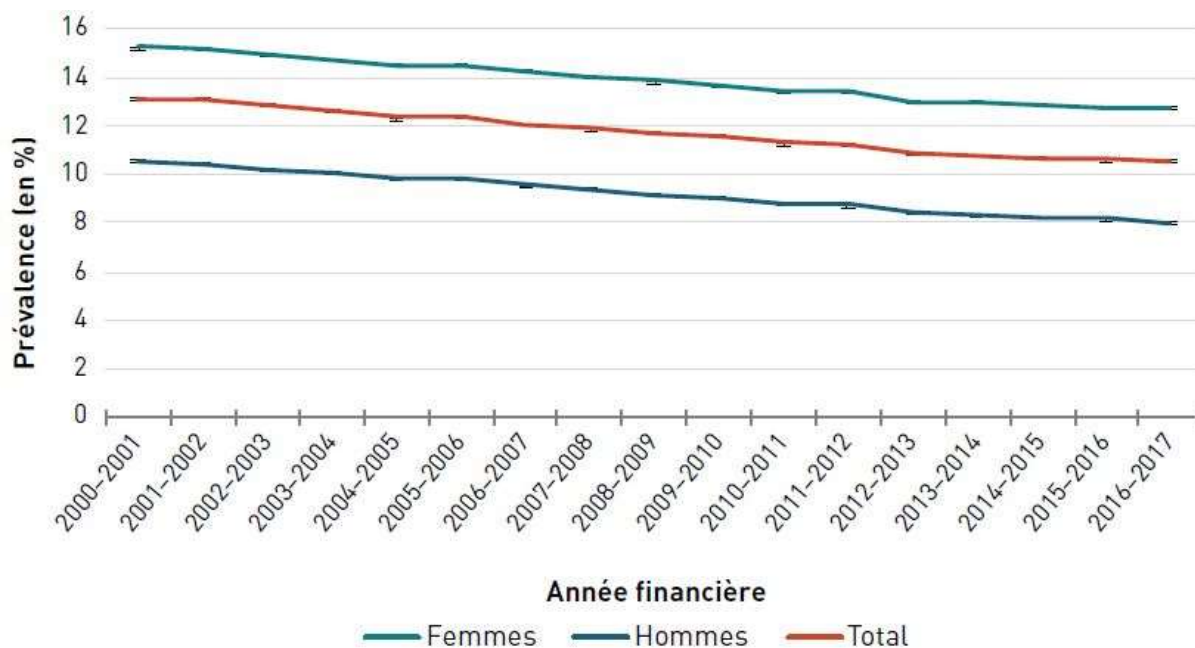


Fig.I.05 maladies chroniques en algérie

I.4 Solutions adoptées pour la gestion des maladies chroniques

I.4.1 Traitement du diabète de type 1 et de type 2

Le traitement du diabète de type 1 comprend des injections d'insuline

(Figure.I.06) ou l'utilisation d'une pompe à insuline, la surveillance fréquente du taux de sucre dans le sang et le comptage des glucides. La transplantation pancréatique ou la greffe d'îlots pancréatiques peut également être une option possible pour certaines personnes atteintes de diabète de type 1.

Le traitement du diabète de type 2 repose généralement sur des changements de mode de vie, la surveillance du taux de sucre dans le sang, ainsi que la prise de médicaments antidiabétiques oraux, d'insuline ou des deux.

L'insuline :

Les personnes atteintes de diabète de type 1 doivent utiliser de l'insuline pour survivre. De nombreuses personnes atteintes de diabète de type 2 ou de diabète gestationnel peuvent également avoir besoin d'un traitement à l'insuline.

Il existe plusieurs types d'insuline : à action rapide, à action courte (insuline régulière), à action intermédiaire et à action prolongée. Le médecin peut prescrire une combinaison de ces types d'insuline en fonction de vos besoins tout au long de la journée et de la nuit.



Fig.I.06 : injections d'insuline

I .4 .2 Techniques de dialyse dans le traitement de l'insuffisance rénale chronique

La dialyse est une technique destinée à éliminer les déchets du métabolisme dans un liquide neutre (le « dialysat ») à travers une membrane de filtration qui le met en contact avec le sang du patient([Figure.I.07](#)). Cette membrane peut être synthétique, au sein d'une machine appelée dialyseur, ou biologique, au niveau du péritoine du patient (la double membrane qui tapisse les parois et les organes de l'abdomen).

Le choix de la technique de dialyse se fait selon les capacités et la préférence du patient, et selon ses antécédents médicaux.

La dialyse péritonéale consiste à placer, de manière permanente, un tube fin (cathéter) à travers la paroi du ventre dans l'espace compris entre les deux membranes du péritoine. Grâce à ce cathéter, le patient peut remplir le péritoine avec le dialysat. Les déchets du métabolisme et l'eau en surplus filtrent alors à travers la paroi des vaisseaux sanguins du péritoine et passent dans le dialysat qui est ensuite aspiré et remplacé par du dialysat « propre ».



Fig.I.07 : Dialyse péritonéale

La dialyse péritonéale peut être réalisée par le patient à son domicile, le plus souvent en se branchant à une pompe qui va faire circuler du dialysat tout au long de la nuit.

La dialyse péritonéale est contre-indiquée chez les personnes qui souffrent d'obésité ou de dénutrition, qui ont déjà subi une intervention chirurgicale au niveau du ventre, qui présentent une insuffisance respiratoire chronique ou une immunodépression sévère, ou qui souffre de polykystose rénale sévère.

L'efficacité de la dialyse péritonéale tend à diminuer au bout de quelques années et il est alors nécessaire d'avoir recours à l'hémodialyse ou à la greffe de reins.[5]

Dans le cadre de ce projet, nous avons choisi d'étudier et de faire la maintenance de la machine d'hémodialyse, qui est l'un des dispositifs médicaux vitaux les plus essentiels dans les hôpitaux et les centres de santé, en raison de son rôle crucial dans le sauvetage des patients souffrant d'insuffisance rénale aiguë ou chronique. Cet appareil est utilisé pour filtrer le sang des déchets et des excès de liquides lorsque les reins ne peuvent plus assurer correctement leurs fonctions. L'importance de ce projet réside dans la compréhension du principe de fonctionnement de la machine, de ses composants principaux, ainsi que dans l'apprentissage des méthodes d'entretien préventif et périodique afin de garantir son efficacité et sa continuité de fonctionnement, ce qui a un impact direct sur la santé et la sécurité des patients([Figure.I.08](#)). Ce travail inclura également une tentative de diagnostiquer et de résoudre certains dysfonctionnements ou problèmes techniques courants rencontrés lors de l'utilisation de l'appareil. Cela renforcera nos compétences pratiques et techniques dans le domaine du génie biomédical et contribuera à notre formation académique et professionnelle dans cette spécialité.



Fig.08 : Machine d'hémodialyse 4008 S

Chapitre II : Etude d'un générateur d'hémodialyse

II.1.Évolution techno mécanique des dispositifs de dialyse rénale

II.1.1 Brève histoire du remplacement rénal

Les reins peuvent défaillir pour diverses raisons, mais la plupart des patients sous hémodialyse souffrent de diabète, d'hypertension artérielle ou de glomérulonéphrite. Pendant la majeure partie de l'histoire de l'humanité, une insuffisance rénale équivalait à une condamnation à mort — sans reins fonctionnels, les toxines s'accumulent rapidement dans le sang, entraînant la mort. La première tentative de recréer artificiellement la fonction rénale a été réalisée en 1913 (Figure.II.09) par une équipe de chercheurs de l'Université Johns Hopkins, dirigée par John J. Abel. Leur appareil se composait de plusieurs tubes colloïdaux de 40 cm. Ils ont obtenu un certain succès en dialysant des chiens urémiques, mais ils n'ont pas pu l'essayer sur des humains faute d'anticoagulant adéquat. À l'époque, l'anticoagulant utilisé était l'hirudine (extraite de têtes de sangsues broyées), mais elle était difficile à se procurer.

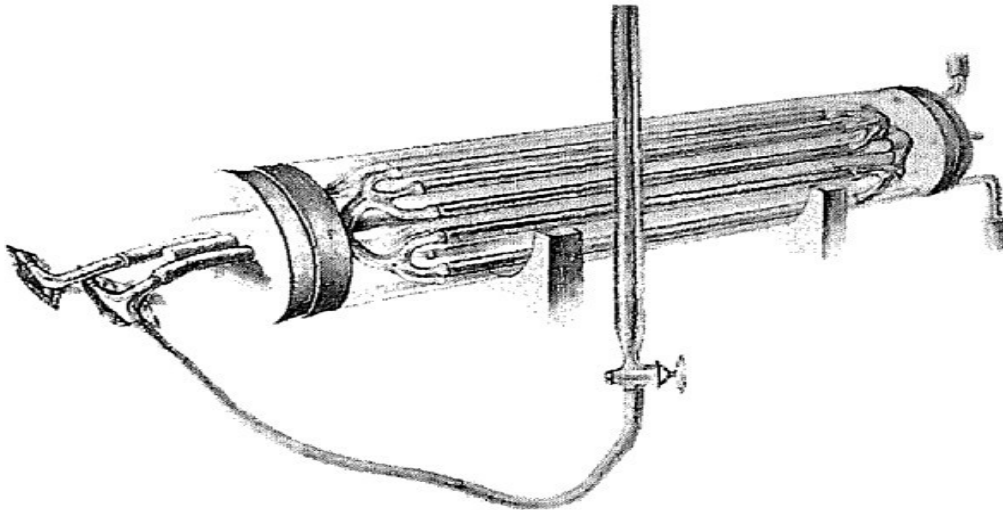


Fig.II.09 : dialyseur d'Abel (Abel, Rentre et Turner, 1913)

II.1.2 première tentative de dialyse chez l'homme

Le Dr Georg Haas, travaillant en Allemagne sans connaissance des travaux d'Abel, a réalisé la première dialyse humaine réussie (Pasquale, 2001). Son

appareil(Figure.II.10) , similaire à celui d'Abel, a été connecté à un patient atteint d'une insuffisance rénale en phase terminale pendant 15 minutes en 1924

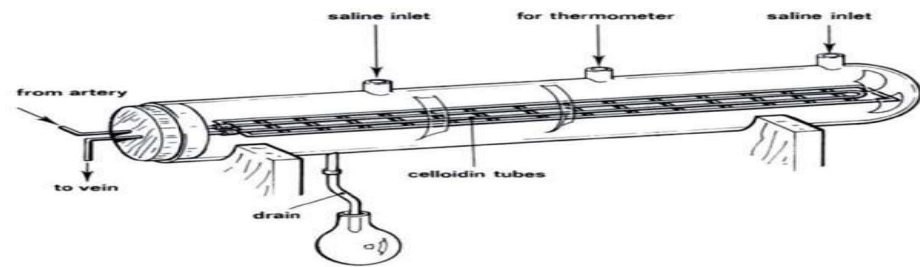


Fig.II.10 Haas's 1924 dialyzer (Gottschalk & Filner)

II.1.3 Machine à tambour de Kolff (1943–1945)

Premier système mécaniquement fonctionnel et efficace.(Figure..II.11)

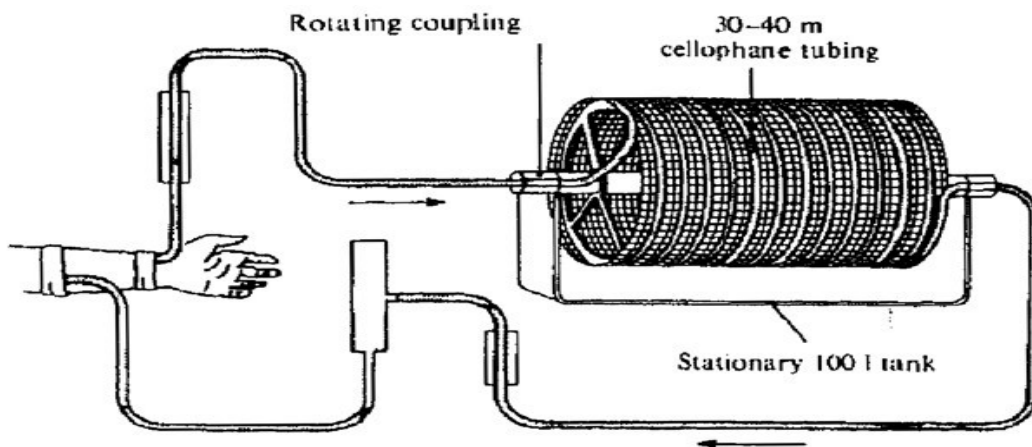


Fig.II.11 Kolff drum dialyzer (Gottschalk & Fellner, 1997)

Éléments clés :

- Membrane : cellophane — perméable à l'eau et aux petites molécules, mais non aux protéines.
- Mécanisme rotatif : le tambour tourne lentement pour renouveler constamment la surface de contact et éviter la stagnation.
- Circuit sanguin fermé : sang contenu dans des tubes, séparé du dialysat.

Avancées mécaniques :

- Meilleure maîtrise du gradient de concentration entre le sang et le dialysat (Figure.II.12) .
- Début de la modularité dans la conception : tambour, support, pompe manuelle ou motorisée.

Défis :

- Volume important de dialysat requis.
- Nécessité d'un personnel médical spécialisé pour contrôler les débits et prévenir l'hypotension ou l'hémolyse.



Fig.II.12 First Kolff dialyzers ready to be sent around the world following the end of World War

II.1.4 Design en spirale et double spirale (1950–1955)

Objectif mécanique : augmenter la surface d'échange dans un espace restreint.

Conception :

- Tubes de cellophane enroulés autour d'un noyau central, immergés dans un bain de dialysat.
- La double spirale augmente la capacité de traitement.

Limites techniques :

- Pas encore de système de connexion vasculaire permanent.
- Chaque session implique une chirurgie mineure — inefficace pour les traitements répétés.

II.1.5 Shunt de Scribner (1955–1960)

Révolution en bio-ingénierie vasculaire.

Innovation : shunt en Téflon créant un accès artério- veineux externe permanent.

Conséquences mécaniques :

- Intégration facile avec des circuits extracorporels.
- Élimination du besoin de nouvelles ponctions.
- Réduction drastique des risques infectieux et de la morbidité associée.

II.1.6. Dialyseur de Kiil

Nouvelle génération avec approche modulaire (Figure.II.13).

Design :

- Membranes planes (plates) entre des plaques rigides.
- Permet une répartition uniforme du flux sanguin et du dialysat.
- Le sang circule grâce à la pression artérielle : pas besoin de pompe.

Matériaux :

- Passage au Cupro phane, une cellulose modifiée plus résistante et sélective.

Avantages mécaniques :

- Facilité de nettoyage et de réutilisation.
- Réduction du volume de dialysat utilisé par séance.
- Économie d'énergie grâce à l'absence de pompe.

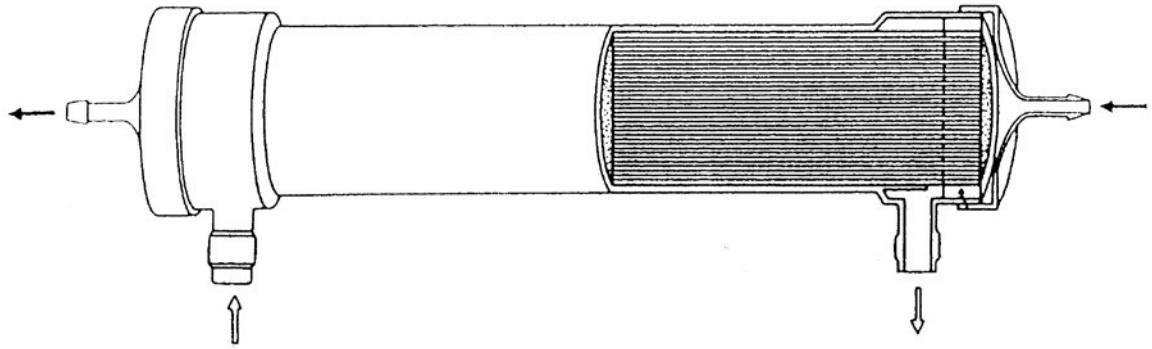


Fig.II.13 Shell-and-tube hollow fiber dialyzer

II.1.7. Dialyse unidirectionnelle (Single-pass) et dialyse à domicile (1960s)

Optimisation hydraulique : passage à un système où le dialysat est utilisé une seule fois, évitant la contamination.

- Conception plus compacte pour permettre l'utilisation à domicile.

Sécurité accrue :

ajout de capteurs de pression, de débit, et de détection de bulles d'air.[6]

II.2. Physiologie de base du rein humain

Tous les organismes vivants doivent constamment réguler leur état physiologique afin de maintenir la vie. Les reins humains jouent un rôle essentiel dans ce processus, appelé homéostasie, en remplissant plusieurs fonctions qui permettent de maintenir un équilibre sain à l'intérieur du corps. Bien que la fonction principale du rein soit de réguler les solutés dans l'organisme, il est aussi responsable de la sécrétion d'hormones qui jouent un rôle important dans la régulation de l'homéostasie par d'autres organes. L'unité fonctionnelle de base du rein humain est appelée le néphron. Il est composé de cinq parties principales :

- le corpuscule rénal,
- le tubule proximal,
- l'anse de Henlé,
- le tubule distal,
- et les tubules collecteurs.

Dans ces différentes parties, le rein utilise trois fonctions principales pour réguler les solutés dans le sang : la filtration, la réabsorption et la sécrétion. Tout d'abord, le rein filtre la majorité des substances à travers le glomérule, un ensemble de capillaires entouré par la capsule de Bowman, formant ensemble le corpuscule rénal

(Figure.II.14). Plusieurs facteurs influencent la filtration glomérulaire :

- la taille et la charge des molécules filtrées,
- la taille des fentes de filtration du glomérule,
- la charge de la membrane basale glomérulaire,
- ainsi que plusieurs facteurs hémodynamiques.

Ces derniers incluent le débit sanguin, la convection, la diffusion, la différence de pression entre les capillaires glomérulaires et la capsule de Bowman (Jennette, Hepinstall, Olson, Schwartz & Silva, 2006)

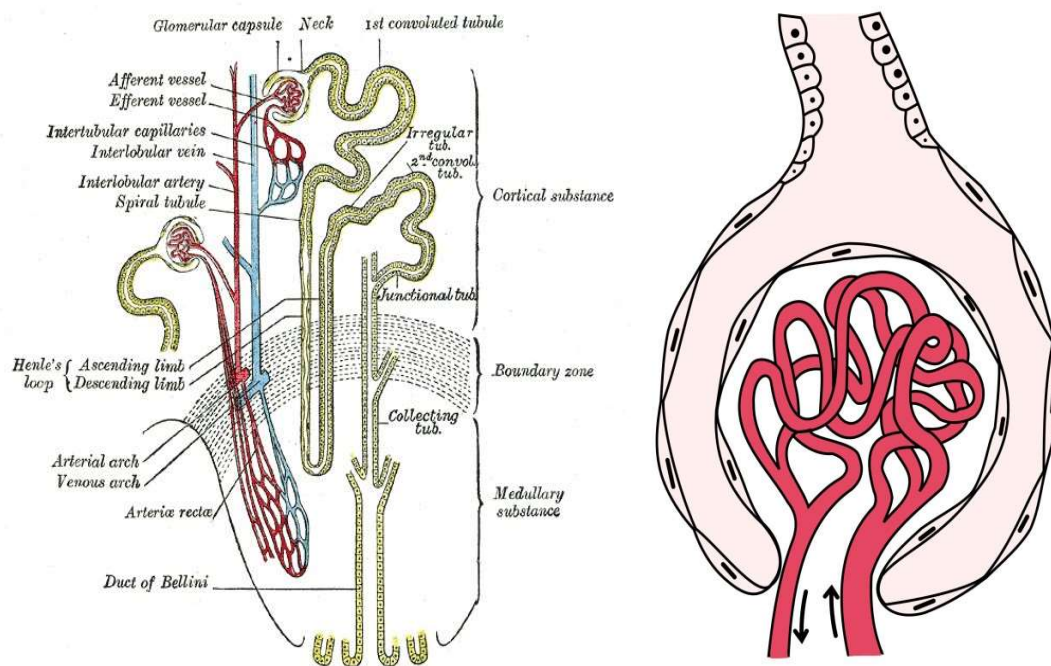


Fig.II.14 : À gauche, un néphron complet ; à droite, le glomérule (en rouge foncé) entouré de la capsule de Bowman (en rose), formant le corpuscule rénal.

Après le passage par le glomérule, les substances importantes sont soit réabsorbées, soit excrétées de nouveau dans la circulation sanguine au niveau du tubule proximal, de l'anse de Henlé, du tubule distal ou des tubules collecteurs. Enfin,

les substances non filtrées au niveau du glomérule peuvent être excrétées à un stade ultérieur.

Environ 625 mL de plasma passent par chaque rein chaque minute. De ce volume, environ 20 % (soit 125 mL) sont filtrés à travers le glomérule. Toutefois, seulement 1 mL/min est excrété sous forme d'urine vers la vessie. Cette différence est expliquée par les processus de réabsorption et de sécrétion. Après avoir filtré une grande quantité de plasma, le rein réabsorbe les substances bénéfiques pour maintenir l'homéostasie.

Exemple : tout le glucose contenu dans le sang entrant par l'artère rénale est filtré dans le corpuscule rénal. Mais comme le glucose est vital pour l'homéostasie, il est immédiatement réabsorbé dans le tubule proximal. Un modèle hiérarchique du processus d'élimination des déchets par le rein est illustré (Figure.II.15)

- La figure du haut montre la fonction de base du rein en tant que filtre, séparant les déchets du sang.
- La figure du bas montre en détail comment les cinq parties du néphron utilisent quatre stratégies fonctionnelles différentes pour agir .

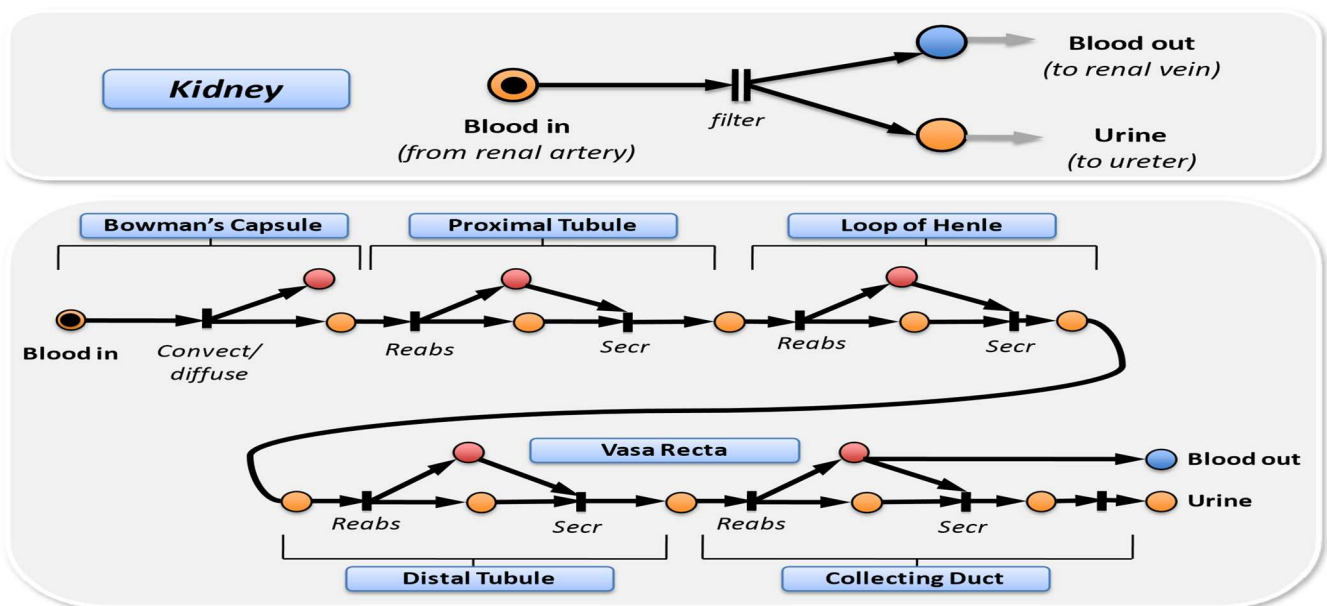


Fig.II.15 Modèle fonctionnel de l'élimination des déchets dans le rein

d'abstraction rénal, le sang impur entre par la veine rénale et les déchets sont filtrés vers l'urine, tandis que le sang propre restant retourne dans le corps via l'artère rénale. Au niveau de décomposition en sous-systèmes, on distingue la capsule de Bowman, le tubule proximal, l'anse de Henlé, le tubule distal et le canal collecteur.

À ce niveau, le plasma sanguin et ses solutés sont transportés par convection et diffusion à travers la capsule de Bowman. Ensuite, les solutés passent par plusieurs étapes de réabsorption et de sécrétion, pour être finalement excrétés sous forme d'urine par le canal collecteur. Deux éléments remarquables caractérisent la fonction du rein humain : il utilise des milliers d'unités fonctionnelles petites et identiques (les néphrons) au lieu d'une grande unité unique, et il procède à une filtration en plusieurs étapes.

L'utilisation de nombreuses petites unités fonctionnelles au lieu d'une grande unité rappelle d'autres systèmes biologiques. En répartissant la fonction entre de nombreuses petites unités à grande échelle, le rein permet à une petite unité de sortie (le néphron) de produire des résultats importants. Ce concept ne se retrouve pas seulement dans la biologie, mais aussi dans l'industrie – comme les panneaux solaires en réseau. Lorsqu'une technologie fonctionne à petite échelle, les recherches peuvent se concentrer non pas sur son agrandissement, mais sur la manière de répliquer efficacement sa fonction à grande échelle.

L'autre comportement fonctionnel intéressant du rein humain réside dans sa méthode de filtration.

Plutôt que d'éliminer uniquement les molécules indésirables en quantité précise en une seule fois, il élimine à la fois les solutés désirables et indésirables, puis réabsorbe ceux qu'il souhaite conserver. Ce concept ingénieux permet de créer un filtre multi phasé, offrant une capacité d'élimination spécialisée des molécules. L'hémodiafiltration – une combinaison efficace de l'hémodialyse et de l'hémofiltration – repose sur un principe similaire. L'inconvénient principal de cette méthode est la perte importante de liquides du sang, qui doivent être remplacés immédiatement – ce qui limite cette technique aux services de soins intensifs[7]

II.2.1 Hémodialyse et Hémodiafiltration : Principes de Fonctionnement et Différences Fonctionnelles

II.2.1.1 Hémodialyse

La membrane semi-perméable est le composant principal de l'hémodialyse moderne, située dans un dispositif appelé *dialyseur* (Figure.II.16). Dans ce dialyseur, le sang du patient circule d'un côté de la membrane, en contre-courant du dialysat, créant ainsi un gradient de concentration à travers la membrane. Contrairement au système rénal humain, le rein artificiel ne possède pas de niveau d'abstraction plus profond. Principe de fonctionnement : L'hémodialyse repose sur la diffusion des petites molécules à travers la membrane vers les zones de concentration plus faible.

- La concentration des solutés à éliminer est nulle dans le dialysat, tandis que celle des solutés à conserver est équivalente à celle du sang.
- Selon les lois de la diffusion, plus la molécule est grande, plus sa vitesse de passage à travers la membrane est faible.
- Ainsi, les petites molécules comme l'urée (60 Da) sont éliminées efficacement,

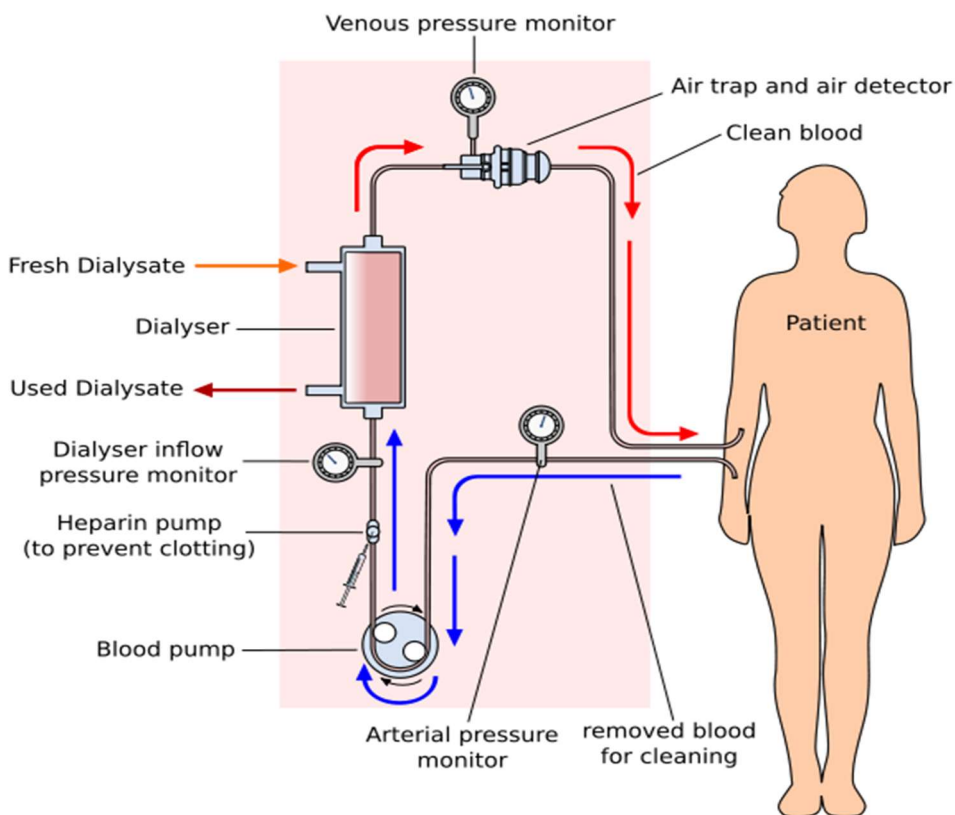


Fig.16 Hemodialysis circuit (YassineMrabet, 2008).

II.2.1.2. Hémodiafiltration

L'hémodiafiltration est une innovation clé qui combine l'hémodialyse avec une thérapie rénale de remplacement par convection appelée hémofiltration. Cette technique hybride exploite les deux mécanismes : la diffusion et la convection (Figure.15). Contexte historique : Dans les années 1960, l'hémofiltration a été introduite pour améliorer l'élimination des molécules de poids moyen et la tolérance hémodynamique. Dans les années 1970, des recherches ont visé à combiner les avantages de l'hémodialyse (élimination des petites molécules) et de l'hémofiltration (élimination des solutés de poids moyen) (Figure.II.17). Mécanisme de fonctionnement

- L'hémodiafiltration fonctionne de manière similaire au rein humain : un grand volume de plasma est filtré, puis les substances utiles sont remplacées.
- Le sang et le dialysat sont pompés à contre-courant à travers le filtre, comme dans la filtration glomérulaire.
- L'eau et les substances jusqu'à un poids moléculaire de 20 000 Da sont diffusées et convoyées à travers la membrane dans le liquide de dialyse.
- Les éléments désirables sont ensuite réintroduits dans la partie distale du circuit à l'aide [8]

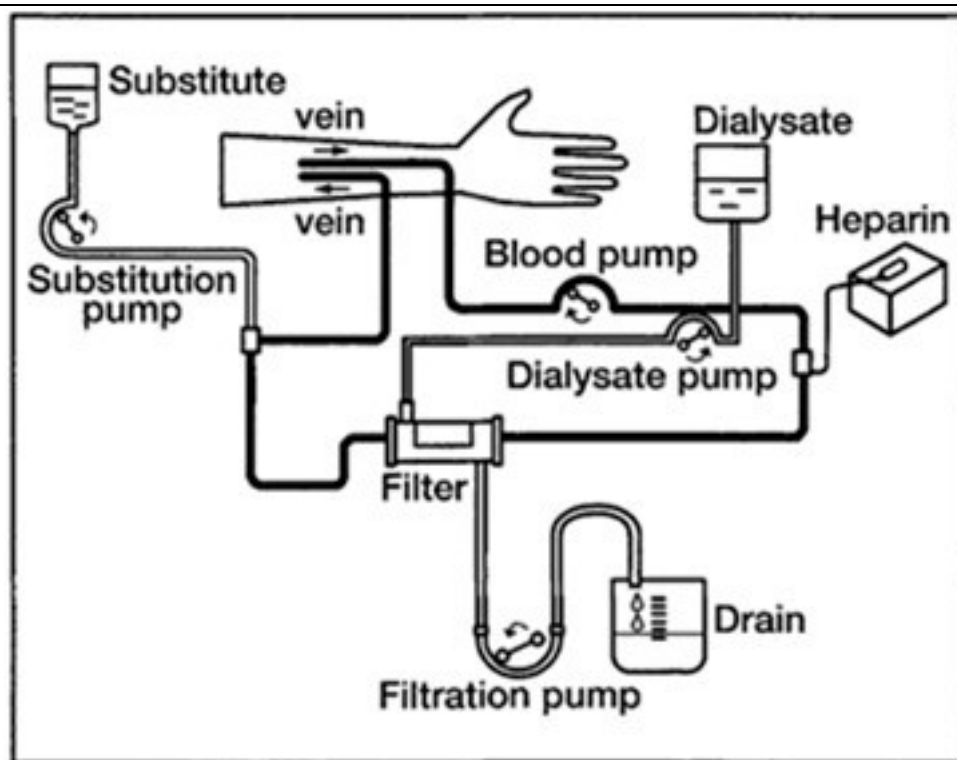


Fig.II.17 Typical hemodiafiltration circuit (Asahi Kasei Medical Company).

II.3 Composants du système d'hémodialyse

À travers schéma(Figure.II.18), nous mettons en évidence les principaux composants mécaniques ainsi que les étapes opératoires précises impliquées dans le fonctionnement du système d'hémodialyse. Le processus commence par l'accès vasculaire, permettant le transfert du sang vers le circuit extracorporel, où une pompe péristaltique assure un débit constant et contrôlé. Ce circuit intègre également des capteurs de pression et des détecteurs d'air pour garantir la sécurité. Le sang est ensuite dirigé vers le dialyseur, équipé d'une membrane semi-perméable, où se déroulent les échanges avec le dialysat, préparé en amont par une unité de mélange dotée de contrôles thermiques et chimiques. Le sang épuré est ensuite réinjecté dans le corps du patient. L'ensemble du processus repose sur une coordination mécanique rigoureuse et un contrôle précis des paramètres pour assurer l'efficacité du traitement et la sécurité du patient

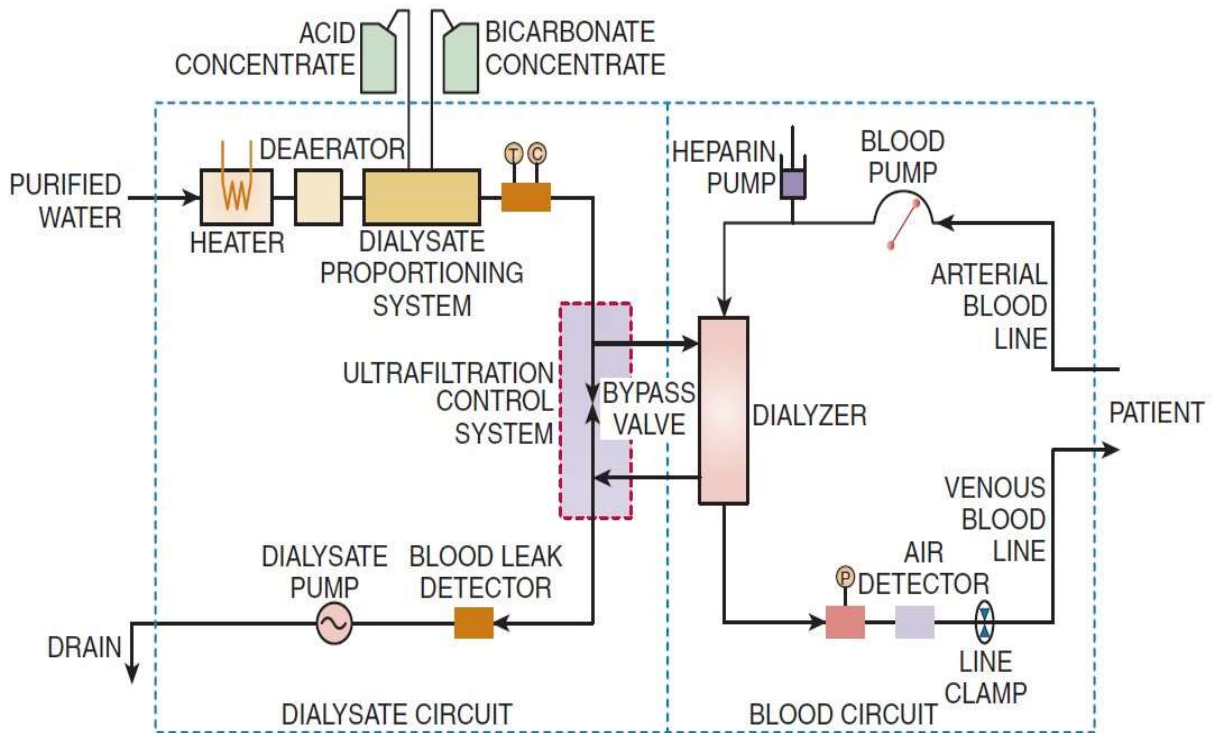


Fig.II.18 Hemodialysis System Components

II.3.1 Les composants mécaniques du circuit sanguin extracorporel

1. Pompe péristaltique :

à galets (Roller Péristaltique Pump) La pompe péristaltique constitue l'élément principal et le plus critique du circuit. Elle assure le pompage du sang à travers un tube flexible par une pression progressive et continue, sans contact direct entre le sang et les éléments mécaniques

Ce mécanisme réduit le risque de contamination et de destruction des cellules sanguines. Le débit est contrôlé précisément par la vitesse (figure.II.19) de rotation (tours/minute) et le diamètre du tube utilisé

Sûre pour les cellules sanguines :provoque une hémolyse minimale.

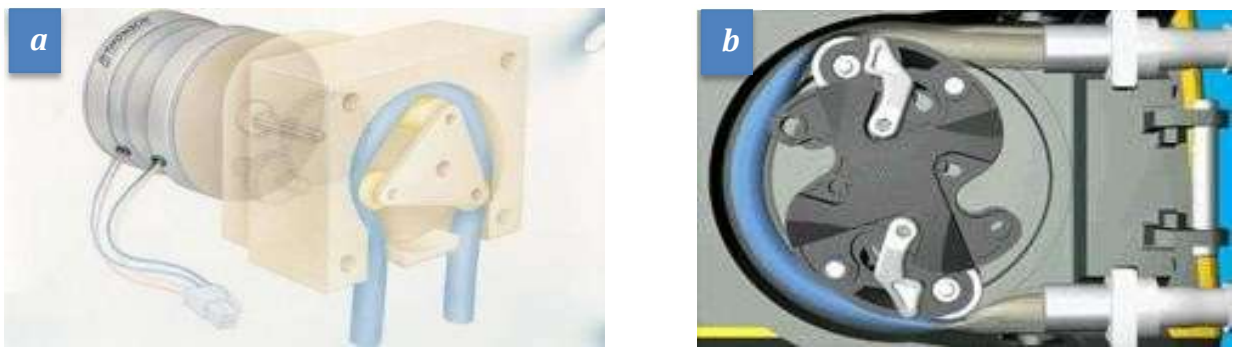


Fig .II.19 Pompe péristaltique

- Sûre contre les infections croisées : grâce à l'utilisation d'une ligne sanguine jetable à usage unique.
- Peut être actionnée manuellement : en cas de panne de courant.
- Vitesse contrôlable : par le système automatiquement, mais aussi manuellement.

2. Tubulure sanguine (Blood Tubing)

Fabriquée à partir de matériaux souples comme le silicone ou le PVC, la Résistante à la pression, une section du tube est insérée dans la pompe (figure.II.20)

ainsi un rôle actif dans la régulation du débit sanguin tubulure transporte le sang du patient vers le dialyseur, puis le ramène.



Fig.II.20 Tubulure sanguine

3. Capteurs de pression (Capteurs de pression)

Placés en amont et en aval du dialyseur, ces capteurs surveillent les pressions dans le circuit (Figure.II.21). Les variations de pression sont converties en signaux électriques analysés par le système de contrôle afin de détecter toute obstruction, fuite ou anomalie de fonctionnement.



Fig.II.21 Capteurs de pression

4. Détecteur de bulles d'air (Air Bubble Detector)

Fonctionnant généralement par ultrasons, ce capteur est fixé autour de la tubulure et détecte la présence de bulles d'air dans le sang (figure.II.22). Il déclenche une alarme sonore et visuelle pour éviter un risque d'embolie gazeuse, potentiellement fatal pour le patient.



Fig.II.22 Détecteur de bulles d'air

5. Pompe à héparine (Pompe à héparine)

Petite pompe conçue pour administrer en continu de très faibles doses d'héparine, un anticoagulant, afin de prévenir la coagulation du sang dans le circuit. Elle fonctionne mécaniquement de manière similaire à une pompe péristaltique mais avec une précision et un débit beaucoup plus faibles.

6. Pincés de serrage (Pincés)

Utilisées pour contrôler manuellement ou automatiquement le flux sanguin dans les tubes. Placées généralement à l'entrée ou à la sortie du circuit, elles permettent d'arrêter ou de rétablir le flux en cas d'urgence ou lors des phases de démarrage et d'arrêt de la séance.

7. Structures de support et de fixation

(Supports mécaniques) Ces éléments assurent la fixation stable des tubes, pompes et capteurs sur le châssis de la machine. Ils garantissent la stabilité

mécanique du système pendant la séance de dialyse, réduisant les risques de glissements ou de vibrations. [9]

II.3.2. Fonctions principales du circuit du dialysat

II.2.3.2.1 Préparation du dialysat

Le dialysat est préparé en mélangeant de l'eau ultrapure avec des concentrés chimiques (figure.II.23). L'eau utilisée doit être :

- Ultrapure, c'est-à-dire exempte d'agents microbiens et de contaminants chimiques.
- Dégazée, pour éviter la formation de bulles dans le circuit.
- Chauffée à une température corporelle (généralement entre 35°C et 37°C) pour garantir le confort du patient et éviter les chocs thermiques.

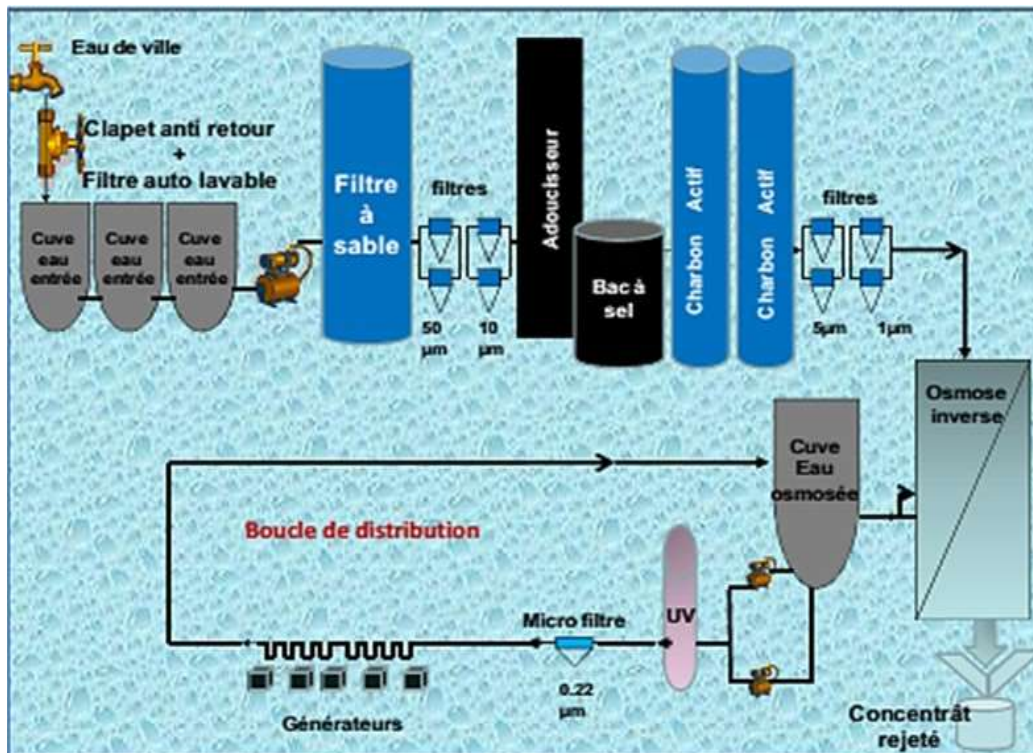


Fig.II.23 Méthode Préparation du dialysat

II.2.3.2.2 Distribution du dialysat vers le dialyseur

Le dialysat est pompé vers le dialyseur à un débit constant et contrôlé (Figure.II.24), où il circule en parallèle du sang, séparé par une membrane semi-perméable. Cette étape permet les échanges de substances sans contact direct entre le sang et le dialysat.

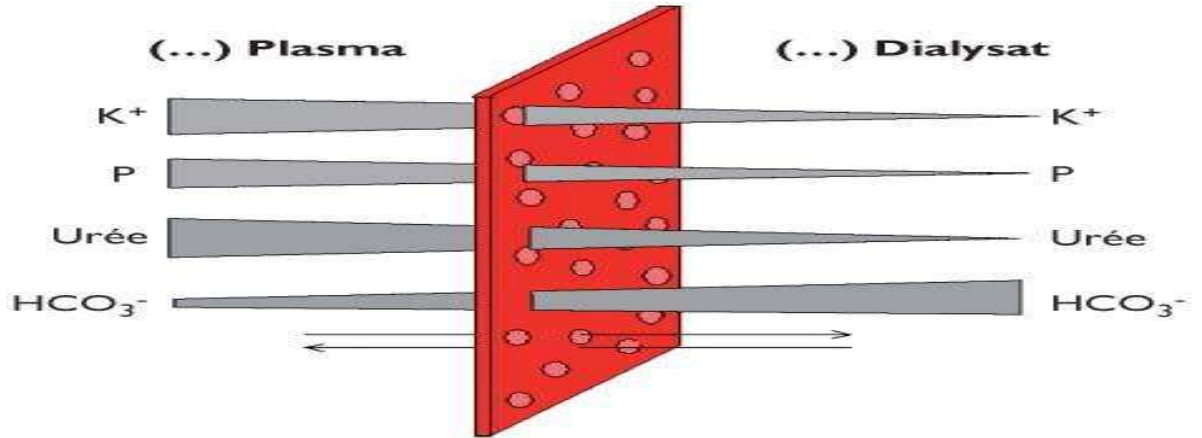


Fig.II.24 Hémodialyse intermittente aux soins intensifs

II.2.3.2.3 Contrôle de l'ultrafiltration (retrait des liquides)

Le circuit permet également de réguler la quantité de liquide retirée du patient, en contrôlant la pression entre les compartiments sanguin et dialysat. Ce processus est essentiel pour prévenir les déséquilibres hydriques.

II.3.3 Dialyseur

Structure géométrique :

- Le dialyseur est constitué d'un cylindre extérieur contenant des milliers de fibres fines creuses (fibres capillaires) ayant un diamètre interne d'environ 200 à 300 microns (Figure.II.25).
- Ces fibres sont alignées parallèlement et fixées à leurs extrémités dans une résine d'encapsulation (putting) qui assure l'étanchéité.
- La structure est analogue à celle des échangeurs de chaleur à tubes et calandre (Shell and tube Heat échanger), mais ici, l'échange concerne la matière (solutés et eau), et non la chaleur.

Principe physique utilisé :

- Le transfert s'effectue par diffusion (selon le gradient de concentration) et parfois par convection (figure.II.25) (effet du gradient de pression).
- La membrane des fibres est semi-perméable, permettant le passage des petites molécules (urée, créatinine, eau) tout en retenant les grosses (protéines, cellules sanguines).

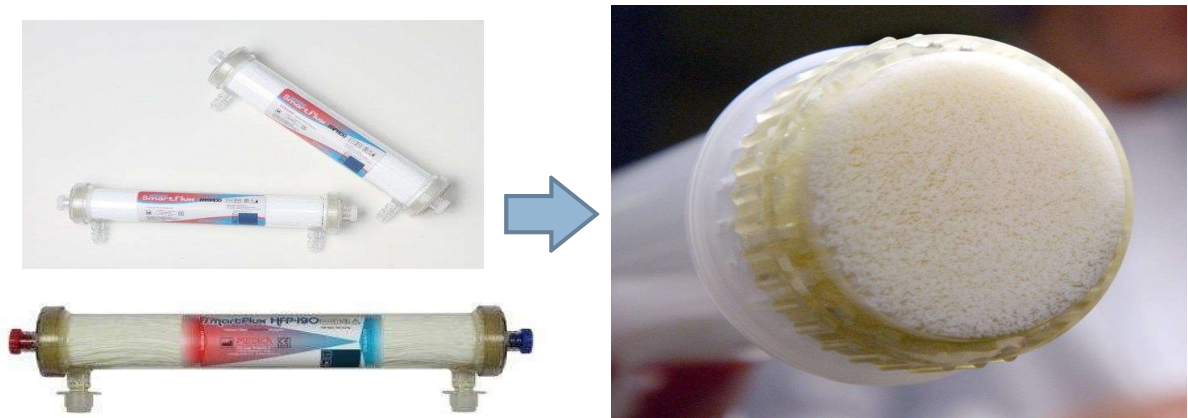


Fig.II.25 Dialyseur

II.4 Systèmes de préparation du dialysat**II.4.1 Types de systèmes**

- **Système A** – Proportionnement à volume fixe :

Le mélange de l'eau, du concentré acide (A) et du concentré bicarbonate (B) se fait selon un volume fixe prédéfini.

- **Système B** – Proportionnement dynamique avec mesure de conductivité : Des capteurs mesurent la conductivité du dialysat en temps réel. Le système ajuste automatiquement le débit des pompes des concentrés acide et bicarbonate pour atteindre la valeur de consigne (CS). (FigureII.26).

- **Système C** – Proportionnement dynamique avec cartouche de poudre : Une cartouche contenant de la poudre de bicarbonate est utilisée pour préparer le concentré bicarbonate en ligne, pendant la **séance (préparation "on-line")**

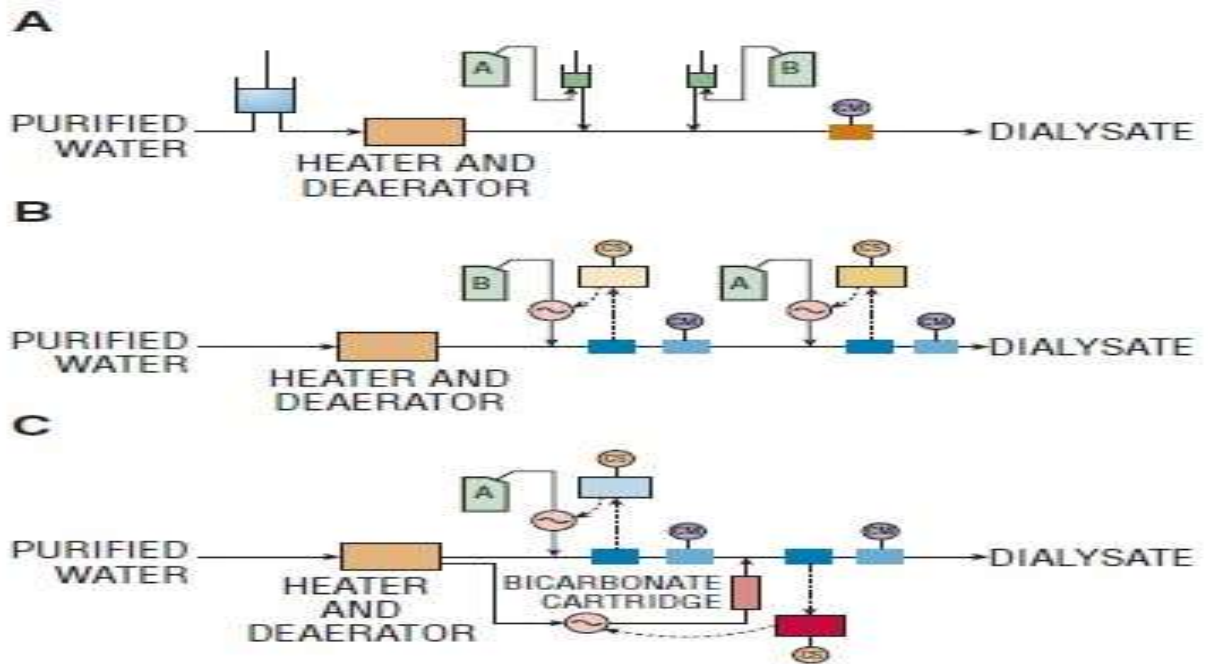


Fig.II.26 Types de systèmes de préparation du dialysat

. **Légende :** A = concentré acide B = concentré bicarbonate CM = capteur de conductivité (Conductivité Monitor) CS = point de consigne de conductivité (conductivité Set Point)

II.4.2 Ratios de mélange courants

Selon le type de système, on trouve plusieurs ratios de mélange entre les concentrés et l'eau, comme

Tableau de type de système :

Acide	bicarbonate	eau
1	1,225	32,775
1	1,83	34
1	1,72	42,28

Remarque : Chaque ratio de mélange nécessite des concentrés spécifiques, compatibles avec le système utilisé.

II.4.3 Considérations techniques importantes

- Certaines machines sont conçues pour un seul ratio fixe, d'autres permettent de changer le ratio selon les besoins.

- Comme les machines surveillent uniquement la conductivité pour vérifier le dialysat, il est possible d'avoir une conductivité correcte mais une composition chimique incorrecte, si les concentrés ne sont pas adaptés.
- Utiliser des concentrés inadaptés ou une mauvaise configuration peut mettre le patient en danger.

II. 5 Procédure Complète de Nettoyage et de Désinfection de la Machine d'Hémodialyse 4008S – Guide Pratique

II.5.1 Nettoyage externe

Objectif :

Éliminer les saletés visibles, les résidus de sang ou de fluides biologiques susceptibles de provoquer une contamination de surface ou une transmission d'infections.

Quand effectuer ce nettoyage ?

- Après chaque séance d'hémodialyse.
- À la fin de chaque quart de travail
- Lorsqu'une contamination visible est détectée sur l'appareil.[\[10\]](#)

Matériel nécessaire :

- Chiffon doux et propre.
- Solution désinfectante approuvée (ex. : eau de Javel diluée ou solution alcoolique à 70 %).
- Gants médicaux.

Procédure de nettoyage :

- Déconnecter l'appareil de l'alimentation électrique si nécessaire, pour éviter tout risque électrique
- .Mettre des gants.
- Imbiber le chiffon avec la solution désinfectante.
- Essuyer toutes les surfaces extérieures de l'appareil, y compris :
 - L'écran d'affichage.
 - Le panneau de commande

- Les poignées et boutons de commande.
- La structure en plastique.
- La chambre de la pompe à sang.
- Les pinces et raccords.
- Laisser sécher naturellement sans rincer à l'eau.

II.5.2 Désinfection Interne Chimique

a) Objectif

Éliminer les bactéries, champignons et virus à l'intérieur des circuits de l'appareil (circuit d'eau, lignes sanguines, module de chauffe, etc.), surtout ceux que le nettoyage externe ne peut pas atteindre.

Produits désinfectants approuvés :

- Puristeril 340 : solution contenant du peroxyde d'hydrogène et de l'acide peracétique.
- Citrosteril : solution acide utilisée pour éliminer le tartre et les dépôts organiques.

b) Fréquence recommandée :

- Une fois par jour (de préférence après la dernière séance).
- Après chaque patient porteur d'une infection virale ou bactérienne.
- Après un arrêt prolongé de l'appareil.

c) Procédure :

❖ Préparation :

- Vérifier la disponibilité du produit désinfectant.
- Connecter le flacon du désinfectant à l'entrée prévue sur l'appareil.
- S'assurer que l'eau utilisée provient du système d'osmose inverse (RO).

❖ Lancement via le menu de l'appareil :

- Accéder au menu principal.

- Sélectionner « Désinfection », puis « Chemical Désinfection ».
- L'appareil affiche le type de désinfectant détecté (il doit être calibré).
 - ❖ Cycle de désinfection :
 - L'appareil pompe le désinfectant dans le circuit hydraulique et thermique.
 - Certains composants sont chauffés si le programme l'exige.
 - Le cycle dure généralement 30 à 60 minutes selon le programme.
 - ❖ Rinçage (Rinse) :
 - Une fois la désinfection terminée, un cycle de rinçage automatique est lancé.
 - Si des résidus de désinfectant persistent, effectuer un rinçage manuel supplémentaire.
 - ❖ Vérification post-rinçage :
 - Utiliser des bandelettes de mesure du pH ou un appareil de mesure de la conductivité.
 - Les valeurs doivent se situer dans la plage normale (pH \approx 6,8 à 7,6).

Avertissements et consignes de sécurité :

- Ne jamais mélanger deux produits désinfectants différents.
- Ne pas utiliser l'appareil sur un patient tant que le rinçage n'est pas complètement terminé.
- Toujours porter des gants et une protection oculaire pendant la manipulation des produits.
- Conserver un registre quotidien de toutes les désinfections (date, type, nom de l'agent, produit utilisé).

II.5.3 Désinfection Thermique (Optionnelle)

- Certains centres effectuent une désinfection thermique une à deux fois par semaine.
- L'eau est chauffée à 90–95 °C pour éliminer les microbes.

- Aucun produit chimique n'est utilisé dans ce procédé.

II.5.4. Note

Il est essentiel d'enregistrer chaque opération de nettoyage ou désinfection dans un registre dédié, qui doit inclure :

- Le type d'opération (nettoyage / désinfection chimique / thermique).
- La date et l'heure.
- Le nom du technicien ou de l'infirmier(ère) responsable.
- Le nom du désinfectant utilisé et sa quantité.[\[11\]](#)

Conclusion:

À travers ce chapitre, nous avons exploré en détail le principe de fonctionnement de la machine d'hémodialyse. Il en ressort que ce dispositif médical simule la fonction rénale naturelle à l'aide d'un système complexe composé de circuits sanguins et liquidiens, de pompes, de filtres et de capteurs sophistiqués, tous coordonnés avec précision pour assurer l'épuration efficace et sécurisée du sang. Chaque composant joue un rôle essentiel, non seulement dans la filtration, mais aussi dans la surveillance et l'ajustement des paramètres physiologiques du patient tout au long de la séance.

Cependant, pour garantir une performance optimale et sécurisée de ce système sensible, une maintenance régulière et rigoureuse s'impose.

Celle-ci permet non seulement de prévenir les pannes soudaines, mais aussi de prolonger la durée de vie de la machine et d'assurer la sécurité des patients.

Ainsi, le chapitre suivant sera consacré à l'étude des aspects techniques liés à la maintenance de la machine d'hémodialyse, en abordant les types d'entretien, les pannes fréquentes et les méthodes de diagnostic et de réparation.

Chapitre 3 : Entretiens d'un générateur d'hémodialyse

III.1 Généralités

III.1.1 Introduction

La recherche des performances des systèmes de production devenus complexes même la fonction maintenance à être responsable de la garantie de la disponibilité de tels systèmes. Cette garantie doit être assurée dans des conditions financières optimales.

La maintenance industrielle, qui a pour vocation d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, est une fonction stratégique dans les entreprises. Intimement liée à l'incessant développement technologique, à l'apparition de nouveaux modes de gestion, à la nécessité de réduire les coûts de production, elle est en constante évolution. Elle n'a plus aujourd'hui comme seul objectif de réparer l'outil de travail mais aussi de prévoir et éviter les dysfonctionnements. Au fil de ces changements, l'activité des personnels de maintenance a également évolué, pour combiner compétences technologiques, organisationnelles et relationnelles

III.1.2 Définition et objectifs de la maintenance

La maintenance est « l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de gestion durant le cycle de vie d'un bien, destinée à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ».

L'expérience a montré que toute usine, entreprise ou unité de production n'est jamais bénéficiaire si elle applique une mauvaise maintenance ou elle la néglige, ceci s'explique par la mauvaise connaissance de la vie de matériel, par la négligence des opérations d'entretien et par le manque de soucis de maintenir l'outil de production en bon état. Ces facteurs sont les causes des pertes considérables et des déficits remarquables.

Pour éviter des situations pareilles et dégager des bénéfices, les responsables de l'entreprise ont compris le rôle important de la maintenance. En effet la concurrence est devenue de plus en plus rude voir farouche; toutes les entreprises

Sont tenues à appliquer la maintenance grâce aux objectifs qu'elle présente:

- Contribuer à assurer la production prévue.
- Contribuer à maintenir le niveau de qualité du produit fabriqué.
- Contribuer au respect des délais.
- Respecter les objectifs humains: conditions de travail et de sécurité.
- Préserver l'environnement.

III.1.3 Les phénomènes précurseurs de pannes

La connaissance intime des machines et équipements permet à la longue de pouvoir prédire les pannes en observant, écoutant, sentant un certain nombre de signes, généralement précurseurs de panne. il s'agit de

- Usure, visible notamment par des limailles, débris, des poussières, du jeu...
- Oxydation d'organes, de pièces ou des traces d'oxydation.
- Connexions électriques, mécaniques ou hydrauliques relâchées, défailtantes.
- Vibrations anormales, inhabituelles.
- Fuites de fluides, d'air comprimé...
- Echauffements, odeurs ou couleurs particulières et inhabituelles.
- Résultats dégradés; dérivés des spécifications des pièces, besoins de réglages fréquents.

Ces signes, le plus souvent discrets, ne sont perceptibles qu'à ceux qui sont proches des machines et observent avec suffisamment d'habitude et de "compétence" ; les opérateurs qui les utilisent au quotidien ou des agents de maintenance très présents sur le terrain.

III.2.Types de maintenance

Les principaux types de maintenance sont : la maintenance préventive et la maintenance corrective.

III.2.1.maintenance préventive

C'est une maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.

III.2.1.1 Objectifs de la maintenance préventive

Les Objectifs de la maintenance préventive sont :

- Augmenter la durée de vie de matériels et de la sécurité.
- Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- Prévenir et aussi prévoir les interventions de maintenance corrective.
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions (gestion de la maintenance).
- Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiants...etc.
- Supprimer les causes d'accidents graves,
- Diminuer les travaux urgents.

III.2.1.2 opérations de la maintenance préventive

Elles peuvent être regroupées en trois familles: les inspections, les contrôles, les visites. Elles permettent de maîtriser l'évolution de l'état réel du matériel. Elles peuvent être effectuées de manière continue ou à des intervalles, prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

III.2.2. maintenance corrective

Selon la norme AFNOR X 60-010 : "maintenance effectuée après défaillance". C'est une politique de maintenance (dépannage ou réparation) qui correspond à une attitude de réaction à des événements plus ou moins aléatoires et qui s'applique après la panne. Ce qui ne veut pas dire obligatoirement que celle-ci n'a pas été « pensée ».

III.2.2.1 Types de la maintenance corrective

III.2.2.1.1 maintenance palliative

Est un ensemble d'activités de maintenance corrective (figure.III.27) destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement une fonction ou partie d'une fonction. Elle est appelée couramment dépannage.

III.2.2.1.2 La maintenance curative

Est un ensemble d'activités de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Elle est appelée couramment réparation.

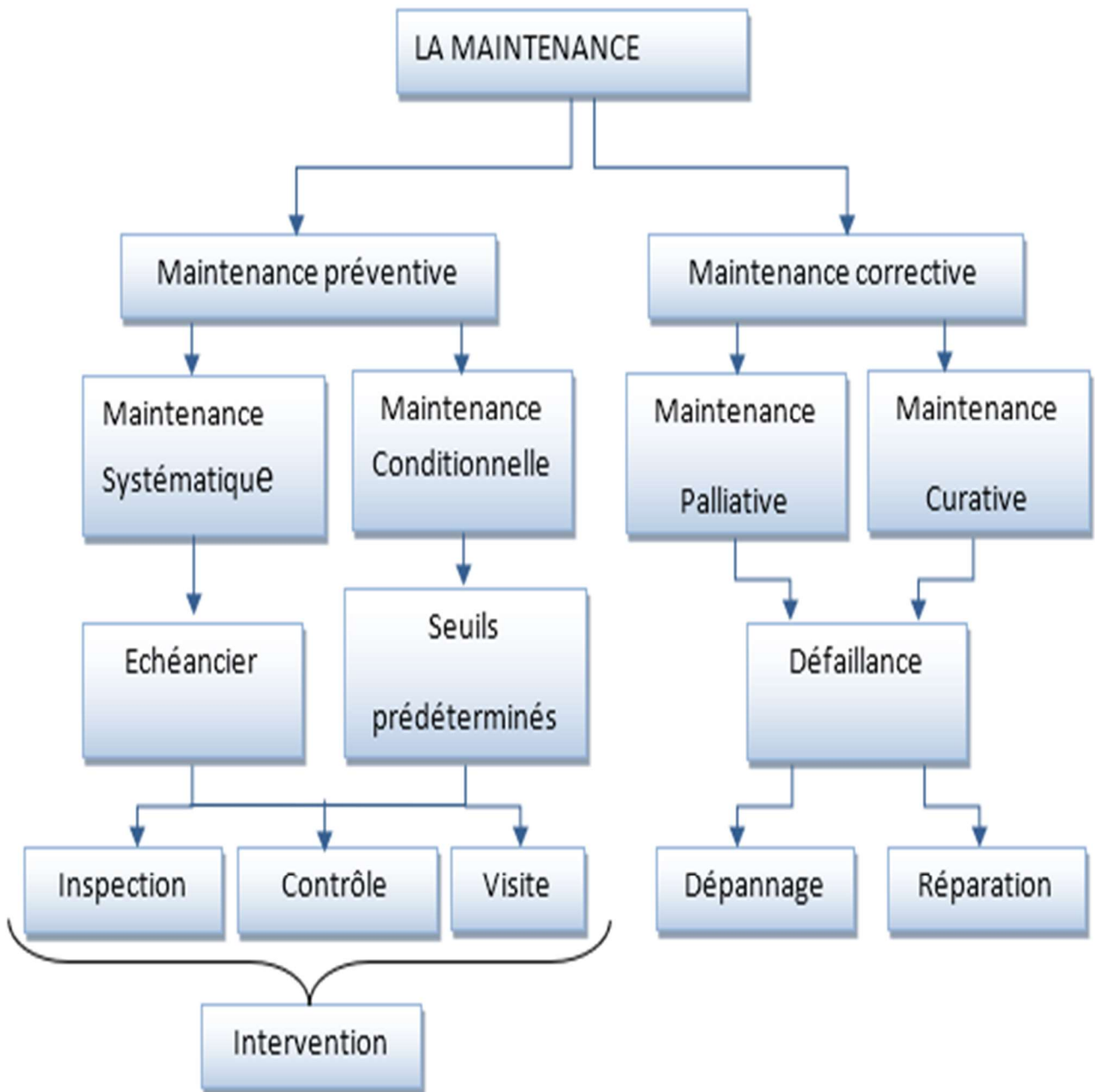


Fig.III.27 Types de maintenance

III.3 Formules de Calcul des Indicateurs de Maintenance

- **Détermination du taux moyen de pannes mensuelles**

Le taux moyen de pannes mensuelles représente mesure la proportion d'équipements en panne par rapport au parc total sur un mois. Indique la fiabilité des appareils .ce taux moyen est donné par la formule

Formule de calcul du taux moyen de pannes mensuelles :

$$\text{Taux de pannes mensuel} = \frac{\text{Nombre total de pannes}}{\text{Nombre de mois} \times \text{Nombre d'appareils}}$$

- **Détermination de temps d'arrêt moyen**

Le temps d'arrêt moyen Durée moyenne d'indisponibilité par panne, impactant la productivité ce temps d'arrêt moyen

$$\text{Temps d'arrêt moyen (h)} = \frac{\text{Durée d'arrêt de chaque panne}}{\text{Nombre total de pannes}}$$

- **Détermination Coût moyen par réparation**

Dépense moyenne par intervention de réparation pour ce type de panne ; Dépense moyenne engagée pour chaque intervention corrective

$$\text{Coût moyen par réparation (en DZD)} = \frac{\text{Total des coûts de réparation pour ce type}}{\text{Nombre de réparations}}$$

❖ Variables de l'étude

➤ Variable indépendante :

Application du programme de maintenance préventive.

➤ Variables dépendantes :

- Taux mensuel de pannes.
- Durée moyenne d'immobilisation (en heures).
- Coût annuel de la maintenance corrective.

➤ Variables de contrôle :

- Nombre d'heures d'utilisation quotidienne.
- Âge de l'appareil.

III.4 Maintenance de l'équipement d'hémodialyse Fresenius 4008S

La présente étude vise à évaluer l'impact d'un programme structuré de maintenance sur les performances de la machine, notamment dans le cadre de l'utilisation du générateur d'hémodialyse Fresenius 4008S .

Deux types de maintenance sont appliqués dans cette étude en vue de :

- Augmenter la durée de vie du matériel ;
- Éviter les pannes soudaines ;
- Assurer le bon fonctionnement de l'appareil ;
- Garantir une machine propre, sécurisée et conforme aux normes sanitaires ;
- Optimiser les performances de l'équipement durant les séances de traitement.

III.4.1 Maintenance préventive

Dans le domaine des soins de santé, les générateurs d'hémodialyse sont des dispositifs essentiels pour le traitement des patients atteints d'insuffisance rénale chronique. Le modèle Fresenius 4008S figure parmi les plus utilisés dans le monde en raison de sa fiabilité et de ses performances techniques. Cependant, ces performances dépendent fortement de la mise en œuvre rigoureuse de la maintenance préventive. [12]

III.4.1.1 Méthodologie

Une analyse de ces données est présentée. Cette analyse repose sur des données opérationnelles collectées dans un centre de dialyse ; hypothèse principale suggère qu'une maintenance préventive régulière permet de réduire les taux de pannes d'au moins 30 %, ce qui se traduit par une amélioration de la qualité du service et une réduction des coûts de maintenance corrective.

❖ Conception de l'étude

Type d'étude : quasi-expérimentale (comparaison avant/après).

- Échantillons : 15 générateurs *Fresenius 4008S* utilisés dans un centre de dialyse situé à BouSaadâ

- Protocole de maintenance préventive

➤ Contrôles quotidiens :

- Vérification des capteurs de pression.([Figure.III.28.a](#)) et de débit.

- Détection de fuites dans le circuit externe.
- **Maintenance hebdomadaire :**
 - Nettoyage des filtres à eau.(Figure.III.28.b) et désinfection des circuits.
 - Contrôle de l'état de la pompe sanguine.(Figure.III.28.d).
- **Maintenance mensuelle :**
 - Calibration de l'écran de contrôle.(Figure.III.28.c) et des alarmes.
 - Remplacement des pièces d'usure (joints toriques, etc.).



capteurs de pression



filtres à eau



l'écran de contrôle



la pompe sanguine

Fig.III.28 capteurs de pression

❖ Collecte des données

Les données analysées dans cette étude sont collectées depuis :

- Registres de maintenance officiels des appareils.
- Rapports de pannes issus du système d'information hospitalier (SIH).
- Registre d'entretiens semi-directifs avec les techniciens de maintenance.

III.4.1.2 Données brutes avant et après maintenance préventive

Le tableau suivant présente les données brutes collectées à partir d'un échantillon de 15 appareils d'hémodialyse, avant et après la mise en œuvre d'un programme de maintenance préventive. Les indicateurs relevés pour chaque appareil sont : le nombre mensuel de pannes, le temps moyen d'arrêt (en heures) et le coût de maintenance. Ces valeurs seront utilisées ultérieurement pour le calcul des moyennes et des écarts-types, afin d'évaluer l'impact de la maintenance préventive sur la performance des appareils.

N° Appareil	Pannes avant	Pannes après	Temps arrêt avant(h)	Temps arrêt après(h)	CM avant(DZ)	CM après (DZ)
1	5,8	2,4	20,1	11,0	18 500	10 200
2	4,9	1,8	17,3	9,5	21 200	14 300
3	5,3	2,0	19,0	10,1	22100	12 000
4	6,0	2,2	21,4	9,8	18 900	11 000
5	4,7	1,7	15,6	8,9	19 300	13 500
6	5,4	2,5	17,8	11,5	23 000	12 100
7	5,1	2,3	16,9	10,2	19 500	13 000

Tbaleau.III.1 les données brutes collectées

III.4.1.3 Résultats

Ce tableau présente les données techniques relevées sur 15 appareils avant et après la maintenance préventive.

Indicateur	Avant le programme	Après le programme	Amélioration
Taux de pannes mensuel	5,2 ±0,8	2,1 ±0,3	59,6 %
Temps d'arrêt moyen (h)	18,5 ±3,2	10,2 ±1,7	↓ 45 %
Coût de maintenance / appareil	20,250Dz ±16,000DZ	12,150DZ ±8,750DZ	↓ 46 %

Tbaleau.III.2 les données techniques relevées

L'Histogramme (FigureIII.28) représente clairement l'amélioration suite à notre maintenance préventive.

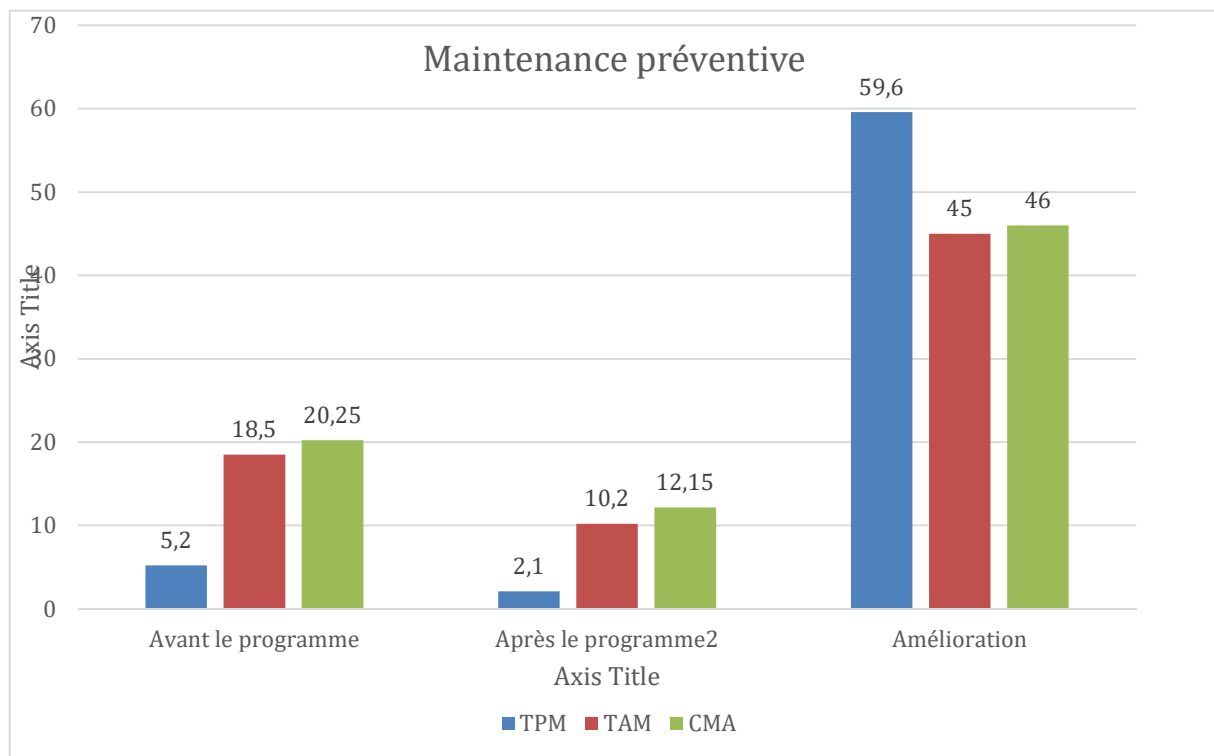


Fig.III.28 Performance avant et après maintenance

Les résultats obtenus montrent clairement que la mise en œuvre d'un programme structuré de maintenance préventive a eu des effets positifs notables sur la performance des générateurs d'hémodialyse :

- Réduction significative du nombre de pannes, notamment au niveau de la pompe sanguine et des circuits hydrauliques.
- Amélioration de la disponibilité opérationnelle des appareils, traduisant une continuité de service plus fiable.
- Diminution considérable des coûts de maintenance corrective, estimée à -46 % par appareil et par an. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Smith et al. (2021) concernant les générateurs Fresenius 5008S, ce qui renforce la validité externe de notre étude.

△ □ Contraintes identifiées :

- Résistance initiale de certains techniciens, liée à une perception d'augmentation de la charge de travail.
- Délais d'approvisionnement pour certaines pièces détachées, impactant la rapidité des interventions.

III.1.4 Conclusion

L'étude met en évidence qu'un programme de maintenance préventive rigoureusement planifié constitue une stratégie efficace pour optimiser la performance des générateurs d'hémodialyse Fresenius 4008S.

Il contribue de manière significative à :

- Réduire les pannes,
- Améliorer la continuité des soins aux patients,
- Réduire les coûts globaux de maintenance.

Il est vivement recommandé de généraliser ce type de programme dans les centres de dialyse, en

- Renforçant la formation continue des techniciens,
- Mettant en place une gestion proactive des stocks de pièces détachées pour éviter les interruptions non planifiées.

III.2 Analyse entretiens curative du générateur Fresenius 4008S : étude de cas dans les hôpitaux algériens \ Boussaadâ

III.2.1. Introduction

Dans les unités de dialyse, les générateurs Fresenius 4008S jouent un rôle essentiel dans le traitement des patients atteints d'insuffisance rénale chronique. Malgré une maintenance préventive, des pannes imprévues peuvent survenir, nécessitant une intervention rapide et efficace. La maintenance curative, qui intervient après une défaillance, est donc indispensable pour rétablir le fonctionnement optimal des appareils. Cette étude vise à analyser la fréquence, la nature, et l'impact des pannes sur ces

dispositifs, en vue d'optimiser la gestion des réparations et de réduire les interruptions de service.

III.2.2 Objectifs

- Identifier et minimiser les types de pannes les plus fréquents sur les générateurs Fresenius 4008S.
- Évaluer les délais et coûts associés à la maintenance curative.
- Proposer des recommandations pour améliorer la gestion des interventions correctives.
 - Réduire le délai de panne de l'appareil

III.2.3. Hypothèse

La majorité des pannes sont liées à des composants spécifiques récurrents (pompe sanguine, circuits hydrauliques, capteurs), et une meilleure gestion de la maintenance curative peut réduire les temps d'arrêt et les coûts.

III.2.4. Méthodologie

- Type d'étude : Étude descriptive rétrospective.
- Échantillon : 15 générateurs Fresenius 4008S utilisés dans différents hôpitaux algériens.

Collecte des données :

- Rapports de pannes issus du système d'information hospitalier (SIH).
- Carnets d'intervention des techniciens de maintenance.
- Entretiens semi-directifs avec les techniciens.

III.2.5. Analyse statistique

- Classification des pannes selon la nature (mécanique, électrique, logicielle).
- Calcul de la fréquence mensuelle des pannes par type.
- Analyse des temps moyens de réparation (heures).
- Coûts moyens de réparation par panne.

III.2.6 Résultats

Tableau présente la répartition détaillée des pannes de 15 appareils d'hémodialyse, en indiquant la fréquence, la durée de réparation et le coût pour chaque type de panne :

Type de panne	Fréquence mensuelle moyenne	Temp M de réparation(h)	Cout M par réparation dz	Solutions proposées	Fréquence de résolution par maintenance préventive (%)
Pompe sanguine	4.5	5.2	45.000	Remplacement périodique, contrôle renforcé	60%
Circuit hydraulique	3.2	4.0	30.000	Révision des joints, nettoyage des conduites	50%
Capteurs (Pr,elc..)	2.8	3.5	20.000	Calibration régulière, remplacement si défaillant	55%
Logiciel\Alarmes	2.5	2.0	15.000	Mise à jour du logiciel, diagnostic avancé	40%
Autres	1.0	3.0	10.000	Analyse au cas par cas	30%

Tbaleau.III.3 Répartition détaillée des pannes

Diagramme circulaire montre la répartition en pourcentage de chaque type de panne observée sur 15 appareils, permettant ainsi de mieux identifier les pannes les plus fréquentes et d'orienter les efforts de maintenance préventive :

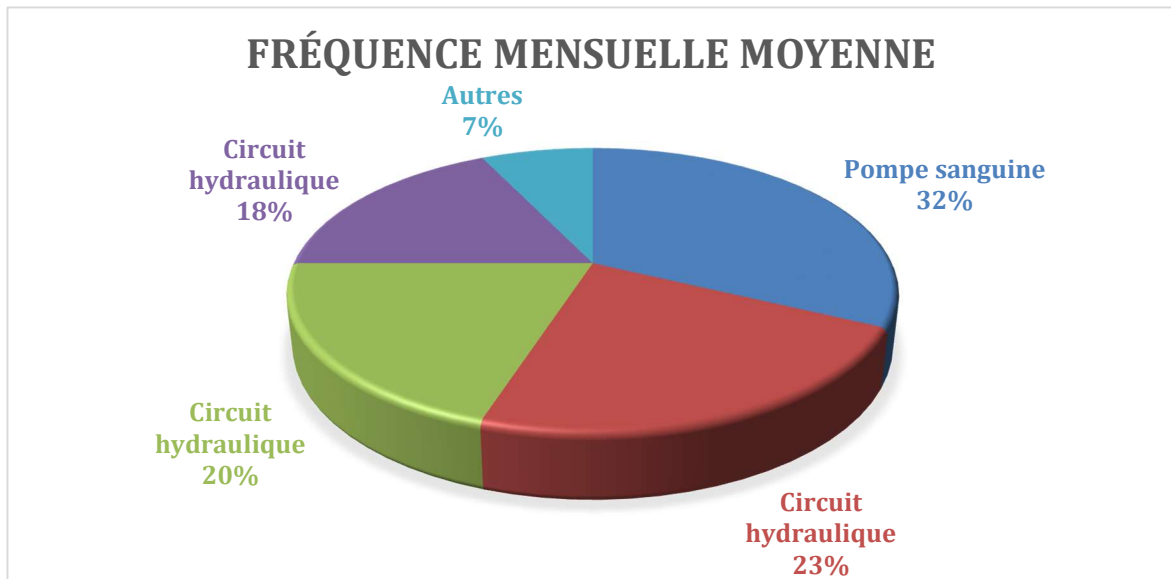


Fig.III.29 Analyse des pourcentages des types de pannes

- La pompe sanguine est le composant le plus souvent en panne, ce qui correspond aux conclusions d'études similaires.
- Les temps de réparation et coûts sont variables selon le type de panne.
- La maintenance curative peut être optimisée par un meilleur stock de pièces de rechange et une formation technique renforcée.
- Limites : difficultés d'accès rapide à certaines pièces, charge de travail élevée des techniciens.

III.2.7. Conclusion

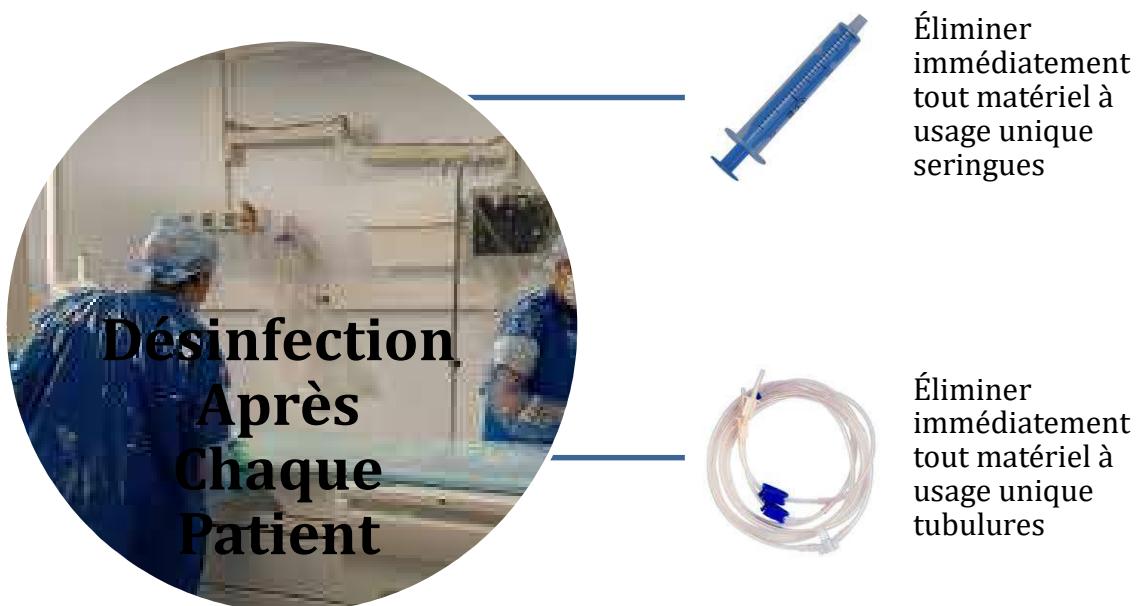
L'étude démontre que la maintenance curative reste un élément clé pour assurer la disponibilité des générateurs Fresenius 4008S. En ciblant les composants les plus défaillants et en optimisant les processus d'intervention, il est possible de réduire les temps d'arrêt et les coûts associés, améliorant ainsi la qualité des soins en dialyse.

III.3 Procédures de Stérilisation et de Maintenance – Fresenius 4008S

III.3. 1. Nettoyage Quotidien



III.3. 2. Désinfection Après Chaque Patient



III.3. 3. Maintenance Périodique



III.3.4. Conditions de Stockage

- Température ambiante : entre 10°C et 40°C.
- Humidité relative : inférieure à 80%.
- Conserver à l'abri de la lumière directe du soleil et de toute source de chaleur.

III.4 Modernisation du Dispositif de Dialyse Fresenius 4008S à l'Ère de l'Intelligence Artificielle et de la Santé Connectée

Avec l'évolution rapide des technologies médicales et l'intégration croissante de l'intelligence artificielle (IA) dans le secteur de la santé, il devient impératif d'adapter les

équipements médicaux pour garantir efficacité, sécurité et conformité aux exigences modernes.

Parmi ces équipements, les pompes intelligentes d'administration de médicaments comme l'Alaris 4008S occupent une place centrale. Ces propositions de développement s'appuient sur :

- ✓ Une analyse approfondie des défis actuels d'exploitation et de maintenance.
- ✓ Les besoins des hôpitaux modernes en matière de numérisation et de connectivité.
- ✓ Le respect des normes internationales de qualité et de sécurité (telles que ISO 13485 et les exigences de la FDA).

III.4.1 Propositions d'Amélioration

a. Intégration numérique et connectivité intelligente

- Connecter le dispositif au dossier médical électronique (DME) pour une traçabilité automatique des doses administrées.
- Intégration de technologies Bluetooth / Wi-Fi / NFC pour l'identification sécurisée du patient et l'automatisation du dosage.
- Mise en place d'un panneau de contrôle numérique pour l'affichage en temps réel des alertes et des états de maintenance.

b. Intégration de l'intelligence artificielle

- Implémenter des algorithmes d'IA pour la détection précoce des pannes et des risques médicamenteux.
- Utiliser le machine Learning pour ajuster les doses en fonction de l'état clinique du patient.
- Génération d'alertes prédictives pour la maintenance préventive (batterie, composants internes...).

c. Renforcement de la sécurité et de l'ergonomie

- Intégrer des systèmes de reconnaissance biométrique ou de badges intelligents pour contrôler l'accès au dispositif.

- Repenser l'interface utilisateur : simple, intuitive et multilingue pour réduire les erreurs humaines.
- Implémenter un journal d'événements numérique automatique (log book) pour tracer les manipulations et les opérations de maintenance.

d. Maintenance intelligente et auto -diagnostic

- Intégration d'un système d'auto -diagnostic pour évaluer en continu les performances du dispositif.
- Envoi d'alertes techniques automatiques via e-mail ou application mobile en cas de défaillance.
- Génération de rapports périodiques automatisés sur l'état d'usage et les statistiques de fonctionnement

Bibliographie :

- [1]. Global incidence, prevalence, and mortality of type 1 diabetes in 2021 with projection to 2040: a modelling study *Gregory et al., The Lancet Diabetes & Endocrinology (2024)*
- [2]. Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2024). *Maladies non transmissibles*.
- [3]. Skorecki, K., Chertow, G. M., Marsden, P. A., Taal, M. W., & Yu, A. S. L. (2020). *Brenner et Rector - Le rein* (11^e éd.) [Livre]. Elsevier. ISBN 978-0-323-54642-3
- [4]. Melmed, S., Polonsky, K. S., Larsen, P. R., & Kronenberg, H. M. (2020). *Williams Textbook of Endocrinology* (14^e éd.). Elsevier. Chapitre consulté : *Hypertension and Kidney Disease*
- [5]. [Ameli.fr](https://www.ameli.fr) – Assurance Maladie (France). (2023). *Prise en charge du diabète et de l'insuffisance rénale chronique*.
- [6]. Fresenius Medical Care. (2022). *L'histoire de la dialyse : du tambour de Kolff aux technologies modernes*
- [7]. Elsevier Masson. (2024). *Chapitre 1 – Rein*. In : *Physiologie rénale*. [PDF]
- [8]. 1. B. Canaud et al., *Principes et modalités d'application de l'hémodialyse* (EM-Consulte, 2006) – résumé complet des bases
- [9]. *Handbook of Dialysis Therapy*, 4^e édition – Allen R. Nissenson & Richard N. Fine – Référence dans le domaine, avec un chapitre dédié à la machine d'hémodialyse décrivant les circuits sanguin et dialysat, la pompe péristaltique, les capteurs de pression, les détecteurs d'air et la régulation de l'ultrafiltration
- [10]. Chapitre "The Hemodialysis Machine *Essentials of Dialysis* – Manjunath Kulkarni (Springer, 2024)
- [11]. *Frank's Hospital Workshop – Dialysis Machine User Manual* Ce manuel (par exemple pour B. Braun Dialog+) détaille les cycles de nettoyage et désinfection quotidienne, en distinguant les parties internes (fluides) et externe
- [12]. *Maintenance Engineering and Management* — R. C. Mishra Chapitres consacrés à la fiabilité, MTBF, MTTR et disponibilité. notamment la relation