



Journal Homepage: - [www.journalijar.com](http://www.journalijar.com)

## INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI: 10.21474/IJAR01/15254

DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/15254>



### RESEARCH ARTICLE

#### ETUDE DE LA POSSIBILITE DE REUTILISATION DES EAUX DE REJET DE DIALYSE DE L'HOPITAL UNIVERSITAIRE PRIVEE DE MARRAKECH

O. Khaldouni<sup>1,2</sup>, L. Berrhoute<sup>3</sup>, L. Zerrouk<sup>4</sup>, S. Moukhli<sup>5</sup>, I. Youlyouz-Marfak<sup>2</sup>, M. Mesradi<sup>2</sup>, Y. Ait Ahmed<sup>2</sup>, R. El Baydaoui<sup>2</sup>, A. Marfak<sup>2,6</sup> and E. Saad<sup>1,2</sup>

1. Laboratoire Physico Chimique des Procédés et des Matériaux, Faculté des Sciences et Techniques (FST), Université Hassan 1er, Settat, Maroc.
2. Laboratoire Sciences et Technologies de la Santé, Institut Supérieur des Sciences de la Santé (ISSS), Université Hassan 1er, Settat, Maroc.
3. Centre Hospitalier régional de Guelmim (CHRG), Ministère de la santé et de la protection sociale, Guelmim, Maroc.
4. Laboratoire Génie Civil et Environnement (LGCE), école Mohammadia des ingénieurs, université Mohammed V, Rabat, Maroc.
5. Hopital Universitaire Privé de Marrakech.
6. Ecole Nationale de Santé Publique, Rabat.

#### Manuscript Info

##### Manuscript History

Received: 26 June 2022

Final Accepted: 28 July 2022

Published: August 2022

##### Key words:-

Eau, Dialyse, Réutilisation, Optimisation

#### Abstract

La prévalence de l'insuffisance rénale terminale chronique ne cesse d'augmenter partout dans le monde, avec pour conséquence une augmentation du nombre des patients nécessitant un traitement d'hémodialyse. Néanmoins, ce traitement est très coûteux et exige des ressources telles que l'eau dont une quantité énorme part dans l'égoût. Cela a un impact environnemental grave. Dans ce contexte, de nombreux centres de dialyse réfléchissent sur les potentialités de recyclage et d'utilisation des effluents de dialyse d'autant plus que le monde affronte une période critique de sécheresse. L'objectif de notre travail est d'étudier les possibilités d'utilisation des eaux de rejet de la salle de traitement d'eau du centre de dialyse de l'Hôpital Universitaire Privé de Marrakech dans le but de réduire l'impact environnemental et le coût que dépense l'hôpital sur la dialyse.

Copy Right, IJAR, 2022.. All rights reserved.

#### Introduction:-

La prévalence de l'insuffisance rénale terminale chronique connaît une croissance régulière dans le monde entier. L'hémodialyse est une thérapie fréquemment utilisée pour traiter les patients insuffisants rénaux, néanmoins elle a un fort impact économique et écologique, notamment au sujet de la consommation d'eau.

L'eau est un élément primordial au déroulement, l'efficacité et la sécurité de l'hémodialyse. Sa raréfaction représente un soucis majeur dans de nombreux pays et son utilisation dans les soins de santé, surtout en hémodialyse contribue davantage à son épuisement. Cela oblige les centres de dialyse à étudier les potentialités de recyclage et d'utilisation des rejets d'eau de la dialyse.[1]

**Corresponding Author:- O. Khaldouni**

Address:- Laboratoire Physico Chimique des Procédés et des Matériaux, Faculté des Sciences et Techniques (FST), Université Hassan 1er, Settat, Maroc.

Le service de dialyse de l'HUPM dispose de 12 générateurs et un système double osmose inverse pour traiter l'eau. Après son démarrage, nous estimons un rejet d'eau de 26.75 m<sup>3</sup>/j. C'est un volume énorme qui se perd dans l'égout. De nombreuses stratégies ont été proposées pour promouvoir son utilisation dans différents services. L'objectif de notre étude est de faire le point sur les possibilités de réutilisation des eaux de rejets du système de la double osmose au niveau de l'HUPM afin de réduire l'impact écologique, économique et environnemental de la dialyse. [1]

**Contexte et Enjeux :**

L'hémodialyse a un fort impact sur l'environnement vu qu'elle est la procédure de soins de santé la plus demandeuse en ressources comme l'eau et engendre une grande quantité d'eau rejetée. Au Maroc, l'insuffisance rénale chronique terminale et son traitement par hémodialyse constitue un problème majeur, avec une incidence en progression constante. Une étude faite en 2015 sur neuf centres de dialyse d'Agadir montre qu'environ 32 000 patients sont hémodialysés sur le territoire Marocain, payant en moyenne 850 DHs par séance. En raison de 3 séances par semaine, le coût annuel d'hémodialyse par patient s'élève à 132 600 DHs en tenant en compte des dépenses directes et indirectes . [01], [02]

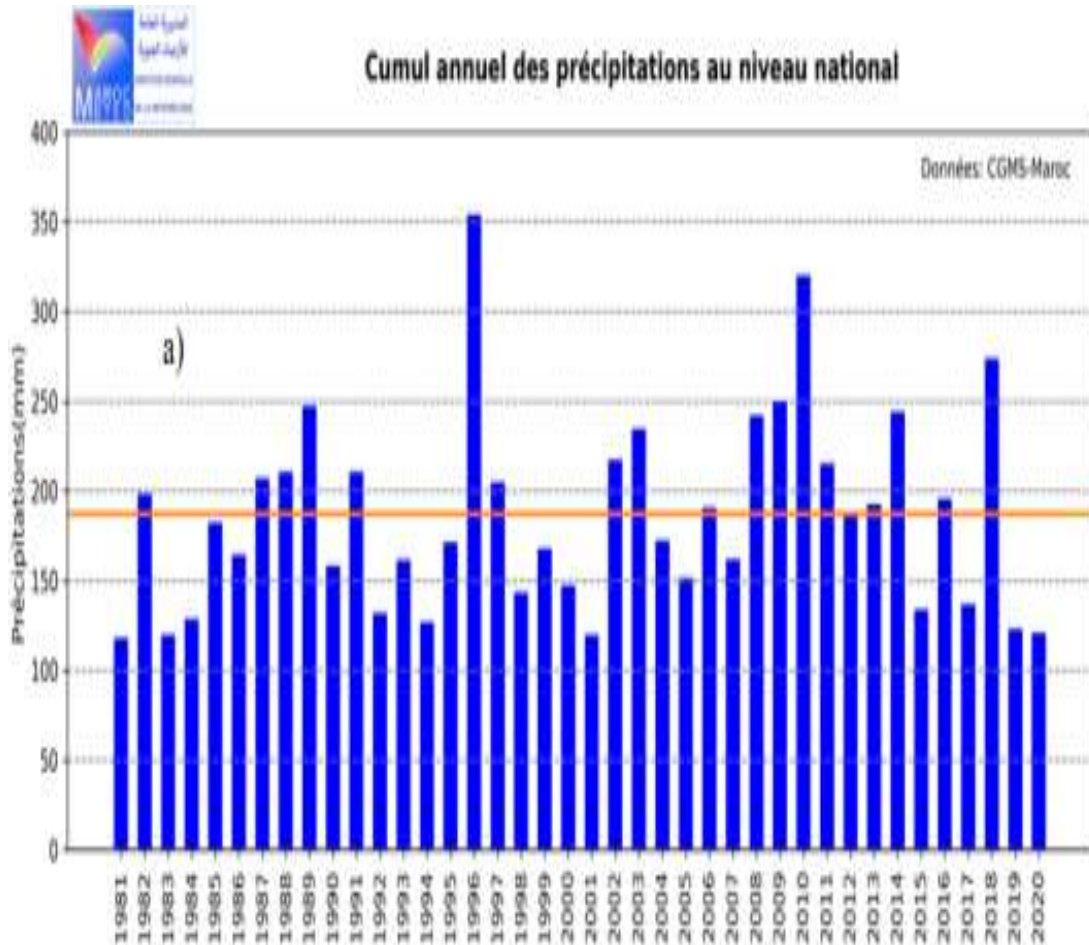
Pour développer et améliorer ses services de santé, l'HUPM a ouvert un service de dialyse au sein de son établissement. C'est une charge lourde sur l'hôpital étant donné qu'un seul patient est exposé à 120 litres d'eau purifiée et qu'un mètre cube d'eau potable coûte 14,62 DHs, selon la facture de la RADEEMA de l'année 2022. Avec la mise en service de 12 générateurs d'hémodialyse, il peut traiter 36 patients par jour (de 8h à 20h), Or l'hôpital doit disponibiliser 4320 litres d'eau traitée par jour, qui coûte en moyenne 63.16 DHs/jour . En outre, lors du traitement d'eau, une grande quantité est éliminée dans les égouts, ce qui augmente davantage la charge financière de l'hôpital par rapport aux années précédentes.

Dans ce contexte, nous avons procédé, durant l'année 2022, de Février à juillet, à une étude prospective du potentiel du recyclage et de la réutilisation des effluents de l'hémodialyse permettant ainsi d'économiser les ressources en eaux et la protection de l'environnement.

Le monde entier connaît une augmentation croissante du nombre de personnes souffrant d'insuffisance rénale chronique terminale. Selon un article publié en 2020 sur Finance News, nous estimons atteindre 50 000 patients hémodialysés en 2030 au Maroc. [03]

L'hémodialyse a amélioré la survie de ces patients insuffisants rénaux mais elle reste une thérapie extrêmement énergivore, causant une détérioration marquante des conditions environnementales et ayant un impact économique élevé, notamment en ce qui concerne la consommation d'eau. En outre, le Maroc fait face cette année à la pire sécheresse depuis trente ans. Depuis le début de l'hiver 2021-2022, le déficit pluviométrique a atteint 64%. [04], [05], [06]

La direction générale de la météorologie affirme qu'en 2019 et 2020, le cumul des précipitations annuelles au Maroc a été en-dessous de la moyenne normale. Cela ressemble aux années les plus sèches enregistrées en 1981, 1983 et 2001. [07]



**Figure 1:-** Cumul annuel des précipitations au niveau national 1981-2020[07].

De ce fait, les centres de dialyse se sont mobilisés afin d'adopter une attitude plus écologique qui pourrait contribuer à la réduction de l'impact environnemental et par conséquent les frais que dépensent l'hôpital sur la dialyse et même sur d'autres services baisseront.[08]

### Problématique :

La rareté de l'eau et de l'énergie, ainsi que les exigences en matière de rejet des déchets et des eaux usées obligent les centres de dialyse à adopter un concept de purification et recyclage d'eau ne laissant que peu ou pas d'effluents à la fin du processus d'hémodialyse, ce qui permet de faire des économies et d'être bénéfique pour l'environnement.

L'hémodialyse conventionnelle de 4h, trois fois par semaine, avec un débit de dialysat de 500ml/min, consomme environ 20 000L d'eau par an. Au Maroc, qui connaît actuellement un stress hydrique élevé, la consommation d'eau des installations d'hémodialyse dépasse 0,6 million de mètres cubes par an. [09]

L'un des principaux problèmes environnementaux causés par ces rejets d'eau est leur déversement non traité dans les égouts. Cela nuit à l'environnement à cause de la forte salinité et turbidité de ces eaux.

Le centre de dialyse de l'HUPM, disposant d'un système double osmose, prête attention à ce gaspillage énorme d'eau et étudie la possibilité d'utiliser le rejet d'eau de l'osmoseur chimique et celui de l'osmoseur chimique/chaaleur.

1. Quelles sont les possibilités d'utilisation des eaux de rejet de la double osmose de dialyse ?
2. Comment exploiter ce rejet dans les autres services de l'hôpital ?
3. Combien économisera l'hôpital en préservant l'eau de rejet ?

Pour identifier la problématique et suivre les actions à mener, l'outil de qualité QOOQCP a été utilisé :

**Tableau 1:-** Outil QOOQCP.

QOOQCP : cadrer le problème	KHALDOUNI Otmane :	Réf : QOOQCP 2022
Donnée d'entrée : Problématique	Recycler et utiliser l'eau de rejet de la salle de traitement d'eau de dialyse dans d'autres services de l'HUPM.	
Qui est concerné ?	HUPM – service biomédical et centre de dialyse	
De quoi s'agit-il ?	Maîtriser et optimiser l'utilisation de l'eau de rejet de la salle de traitement d'eau de dialyse.	
Où ?	HUPM - Le service de dialyse – Salle de traitement d'eau	
Quand ?	Depuis le 1 <sup>er</sup> février jusqu'au 29 juillet 2022	
Comment ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse des données du processus</li> <li>- Réaliser les mesures nécessaires</li> <li>- Déterminer et piloter les actions</li> </ul>	
Pourquoi ?	Pour éviter le gaspillage de l'eau	

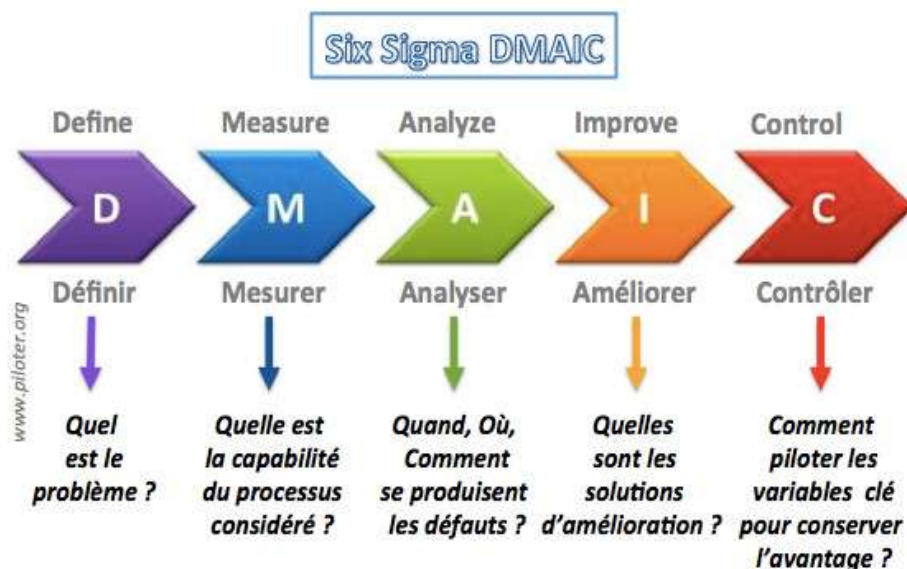
### Matériels Et Méthodes:-

Afin de maîtriser le déroulement du projet, un planning de Gantt est mis en place pour la gestion du temps de chaque étape : Définition du périmètre, mesure et prélèvement, analyse, action d'amélioration et contrôle des paramètres cibles.

La méthode Lean six sigma a été l'une parmi les méthodes utilisées pour le traitement de cette problématique. Lean six sigma est un ensemble de philosophies et de méthodes opérationnelles de management qui contribuent à créer une valeur maximale pour réduire le gaspillage et les attentes. À l'origine, l'approche est dérivée du système de chaîne de production de la société automobile Toyota: un système d'amélioration continue des processus comprenant des techniques structurées de gestion des stocks, de réduction des déchets et d'amélioration de la qualité. [10]

Le Lean Six Sigma consiste à identifier les causes des dysfonctionnements dans les processus de fabrication et à mettre en œuvre des actions de progrès basées sur des observations et des faits objectifs. La juxtaposition des deux approches, toutes deux orientées processus, permet justement de piloter globalement la démarche d'amélioration en tenant compte de l'ensemble des attentes clients en matière de qualité, de délais et de coûts. [11]

La méthode 6 Sigma se base sur les cinq étapes de l'outil DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control).[12]



**Figure 2:-** Les différentes étapes de l'outil DMAIC. [12].

**Résultats:-****Phase de définition :**

La salle de traitement d'eau est primordiale pour fournir l'eau ultrapure que les générateurs utilisent durant une séance de dialyse.

La salle de traitement d'eau de l'HUPM répond aux normes de dialyse, elle se compose de :

1. Entrée d'eau de ville déjà adoucie
2. Six filtres à particules
3. Deux cuves de stockage d'eau
4. Deux pompes de refoulement
5. Quatre manomètres
6. Un filtre à sable
7. Deux adoucisseurs avec deux bacs à sel à côté
8. Un déchlorureur
9. Un osmoseur chimique et un osmoseur chimique /chaleur (système double osmose)
10. Deux vannes de prélèvement : une conduisant l'eau vers les générateurs de dialyse via la boucle de distribution et l'autre rejette l'eau utilisée par les générateurs dans l'égout
11. Deux climatiseurs (12 000 btu – 24 000 btu)
12. Un tableau d'électricité
13. Un égout accueillant l'eau de rejet du filtre à sable, des adoucisseurs, du déchlorureur, des deux osmoseurs et des générateurs de dialyse.

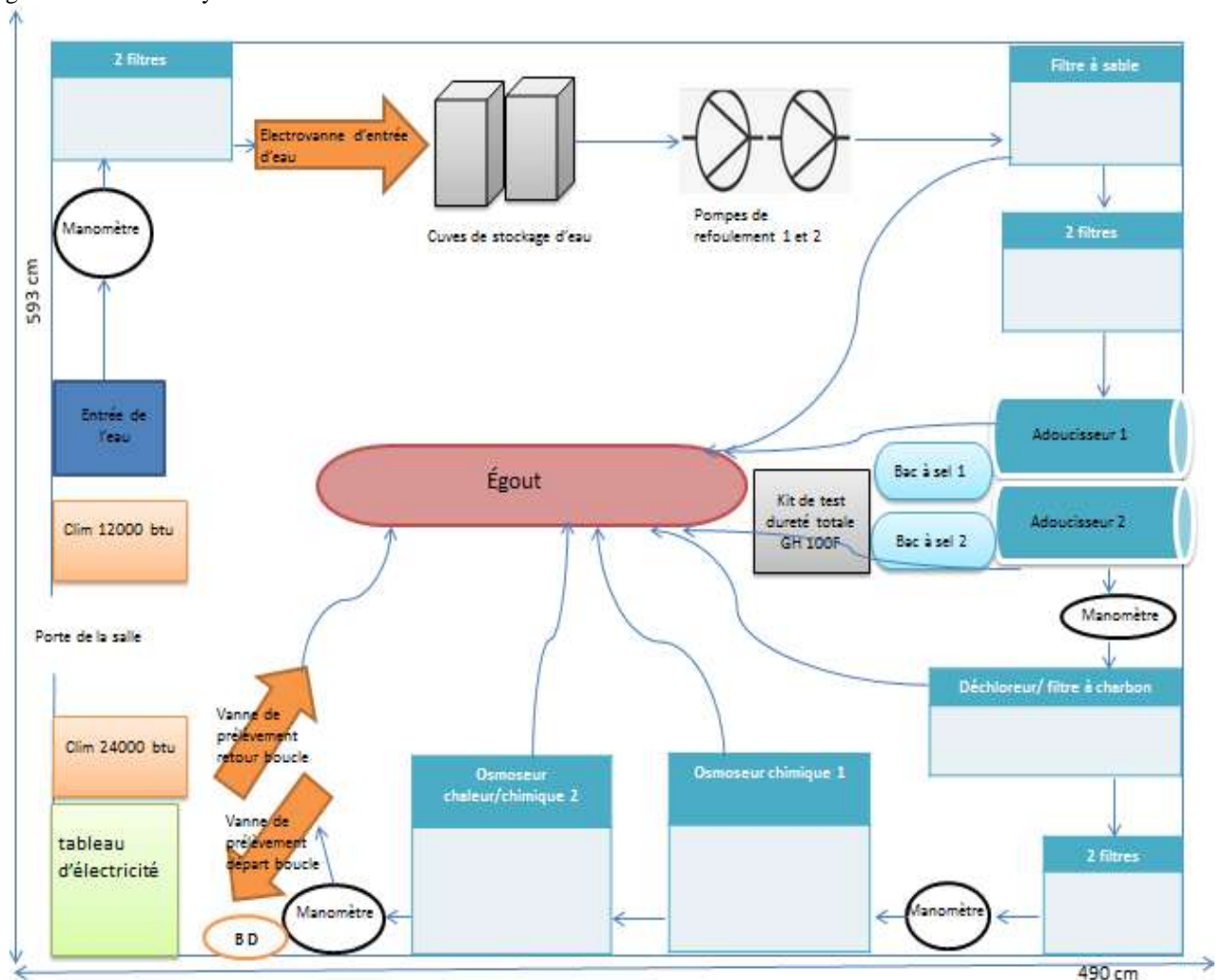


Figure 3:- Schéma de la salle de traitement d'eau de dialyse de l'HUPM.



La superficie de la salle de traitement d'eau de 29.06 m<sup>2</sup>, a une température de 22 °C grâce aux deux climatiseurs qui s'y trouvent.

L'eau de ville entre dans le filtre à particules de 20 µm de diamètre pour être stockée par la suite dans les deux cuves de stockage dont leur capacité est égale à 1 tonne chacune. Ces cuves suffisent pour alimenter 4 générateurs de dialyse pendant une heure de marche.

Les pompes de refoulement, de puissance maximale de 3.4 Kw/h et d'un débit de 25 à 116 l/min pompent l'eau depuis les cuves vers le filtre à sable. Ce dernier peut contenir jusqu'à 100 L d'eau, en plus du sable qui a une durée de vie de deux à trois ans.

Il se trouve ensuite deux filtres à particules éliminant les résidus de 5µm de diamètre. L'eau passe après aux adoucisseurs.

Le déchlorureur ou filtre à charbon accueille l'eau à pression de 4 bar.

Deux autres filtres à particules de 1 µm de diamètre assurent l'élimination des résidus ayant le même diamètre puis passent l'eau à l'osmoseur chimique, avec une pression de 4 bar.

L'osmoseur chimique permet de produire 35 l/min d'eau osmosée. Ses pertes sont de 14 à 16 l/min, jetées dans l'égout. Il contient 6 membranes avec un diamètre de 0.006 mm. Sa puissance maximale est de 2.3 Kw/h.

Après l'osmoseur chimique, vient l'osmoseur chimique/chaaleur qui se compose par contre de deux membranes d'un diamètre identique. Sa puissance maximale est plus élevée et est égale à 11 kW. Il produit 20 l/min à partir de 30 l/min et rejette 7 à 10 l/min.

L'eau est finalement prête à passer dans la boucle de distribution avec une pression de 4 bar.

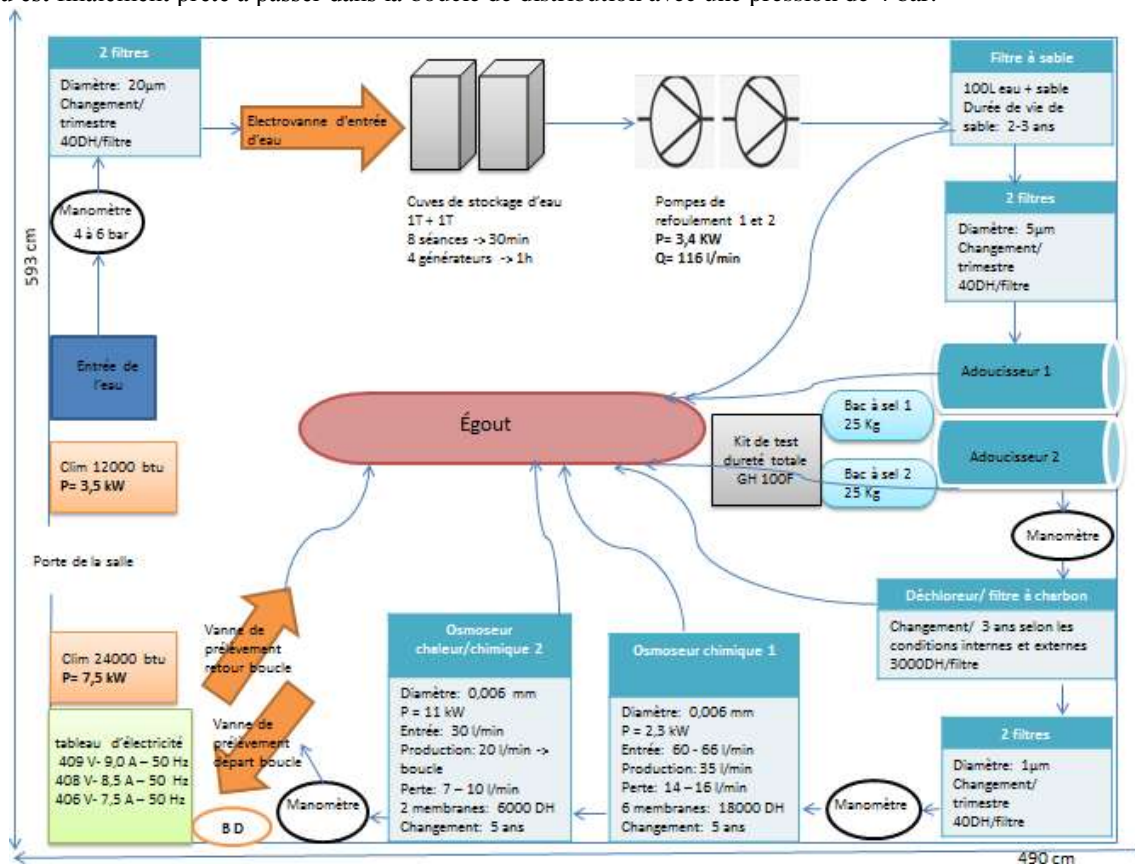


Figure 4:- Les mesures des équipements de la salle de traitement d'eau de dialyse de l'HUPM.

**Les mesures effectuées dans la salle de traitement d'eau de dialyse :**

Afin d'optimiser le déroulement du travail du service de dialyse, et pour réaliser des mesures fiables dans les meilleures conditions, des actions correctives au niveau de la salle de traitement d'eau de dialyse ont été proposées :

Installation de cinq manomètres permettant de savoir la pression d'entrée d'eau et de pouvoir détecter la sources des problèmes. Leur installation s'est faite comme suit :

1. Le premier manomètre avant les cuves de stockage d'eau
2. Le deuxième manomètre avant le filtre à sable et le troisième juste après
3. Le quatrième manomètre avant les adoucisseurs
4. Le dernier manomètre entre les deux osmoseurs.

Installation d'un débitmètre à l'entrée de l'eau dans la salle pour s'assurer des quantités d'eau entrante et consommée par les équipements de la salle, notamment par les osmoseurs.

Installation d'un signal d'alarme lié à la salle de dialyse qui avertit les infirmiers et les médecins si les cuves sont vides.

Augmentation du volume des cuves pour répondre au besoin d'eau en cas de marche de douze générateurs d'hémodialyse.

Substitution des pompes de refoulement par d'autres plus puissantes avec une commande séparée

La présence d'une caméra de surveillance est utile pour se renseigner des personnes qui entrent dans la salle.

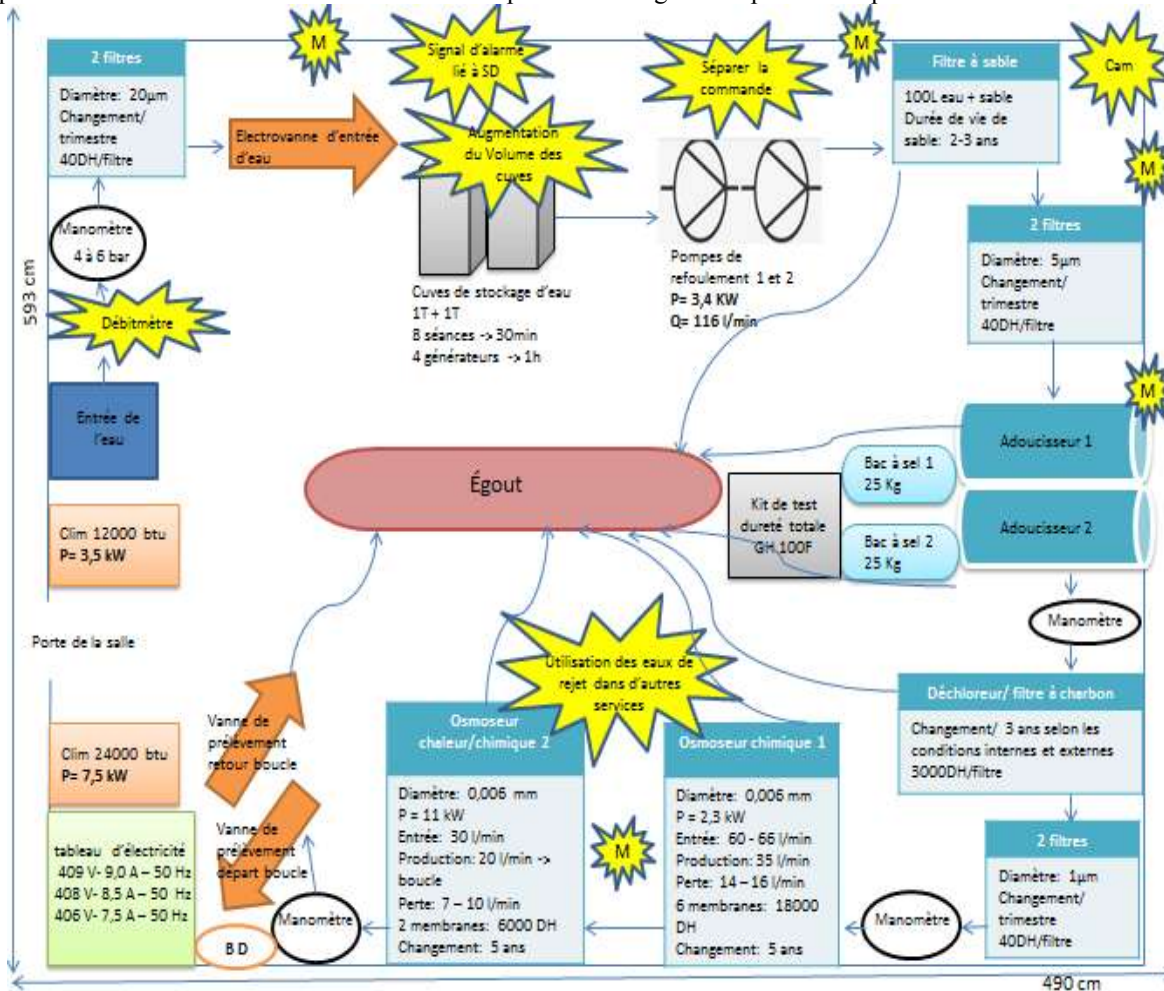


Figure 5:- Les améliorations au niveau de la salle de traitement d'eau de dialyse (couleur jaune).

Les osmoseurs chimique et chimique/chaleur sont programmés comme suit :

1. La production d'eau d'hémodialyse : de 8 heures à 20 heures
2. La désinfection chimique : deux heures par mois
3. La désinfection thermique :
4. Augmentation de la température d'eau à 90°C : de minuit à 3 heures
5. La circulation d'eau dans la boucle de distribution pour la désinfecter : de 3 heures à 5 heures
6. La circulation d'eau pour empêcher la stagnation :
7. Pour l'osmoseur chimique, la circulation se répète six fois pendant cinq minutes : de 20 heures à 8 heures (14 l/min).
8. Pour l'osmoseur chimique/chaleur, la circulation se fait deux fois pendant cinq minutes : de 20 heures à minuit (9 l/min).

NB : Seule la désinfection chimique qui produit un rejet par contre, après la désinfection thermique, l'eau est stockée dans la cuve de l'osmoseur chimique/chaleur.

Nous avons installé, un débitmètre à l'entrée de la salle de traitement d'eau de dialyse afin de prélever chaque matin à 8 heures la quantité d'eau consommée par les équipements de la salle.

Nous avons constaté que le volume en m<sup>3</sup> qu'affiche le débitmètre ne change pas même si les équipements de la salle marchent, donc nous avons dû le changer et reprendre les prélèvements, Le tableau ci-dessous représente les prélèvements :

<b>Compteur de la Salle de traitement d'eau de dialyse HUPM (cas d'arrêt des générateurs)</b>			
<b>Après le changement du compteur de la salle de traitement d'eau de dialyse</b>			
<b>Date</b>	<b>Heure de prélèvement</b>	<b>Volume (m3)</b>	<b>Consommation m3/j</b>
02-juin	08:00	4	4
03-juin	08:00	10	6
04-juin	08:00	14	4
06-juin	08:00	17	3
07-juin	08:00	23	6
08-juin	08:00	30	7
09-juin	08:00	33	3
10-juin	08:00	41	8
11-juin	08:00	44	3
13-juin	08:00	54	10
14-juin	08:00	64	10
15-juin	08:00	68	4
16-juin	08:00	74	6
17-juin	08:00	82	8
18-juin	08:00	87	5
20-juin	08:00	98	11
21-juin	08:00	103	5
22-juin	08:00	111	8
23-juin	08:00	116	5
<b>Moyenne de consommation m3/j</b>			<b>6,11</b>

**Tableau 2:-** La consommation d'eau dans la STE de dialyse après changement du débitmètre / cas d'arrêt des générateurs

Pour la réalisation du projet, nous avons organisé des réunions avec le fournisseur du centre de dialyse et l'équipe technique de l'hôpital.

Il a été proposé d'utiliser le rejet, pour la première phase, dans la salle de traitement d'eau de stérilisation, les vestiaires du bloc opératoire et du personnel et dans la salle de chaufferie pour produire l'eau chaude.

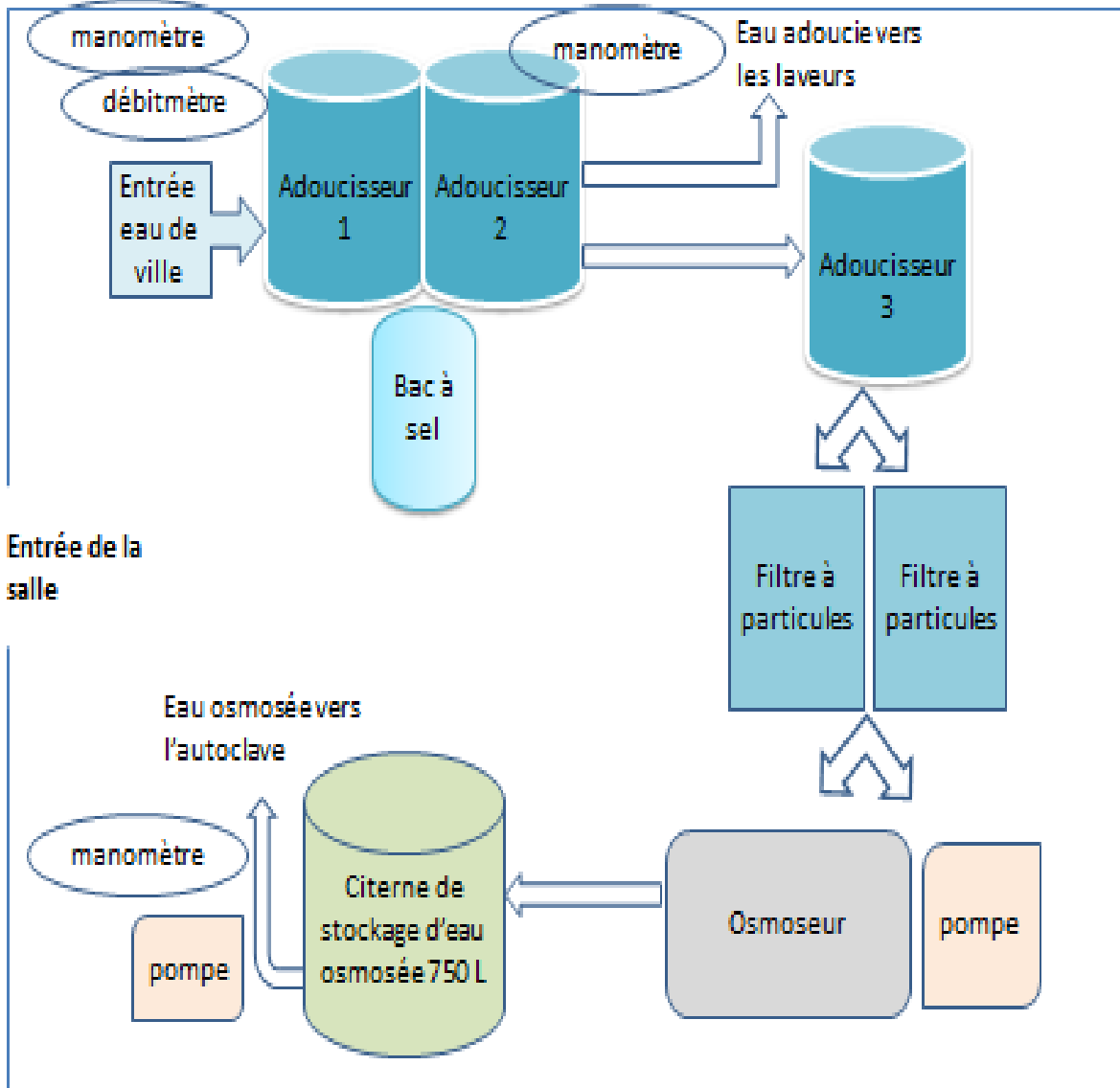
Une citerne pour stocker l'eau de rejet sera installée à la sortie de la salle de traitement d'eau et une pompe est nécessaire pour conduire l'eau jusqu'aux endroits requis. Afin de déterminer le volume de la citerne, la puissance de



la pompe et le diamètre des canalisations, nous avons effectué un ensemble d'exercices pour quantifier les usages d'eau chaude et d'eau consommée dans les douches et le poste de stérilisation.

**Exercice N°1 : Le volume d'eau consommée par les différents cycles de l'autoclave.**

La mise en place d'un débitmètre à l'entrée d'eau dans la salle de traitement d'eau de stérilisation était primordiale. L'autoclave consomme l'eau osmosée pour le générateur de l'autoclave et l'eau adoucie pour le refroidissement. L'eau osmosée est stockée dans une citerne de 750 litres alors que l'eau adoucie passe par le circuit de l'auto-lavage. Ce dernier distribue l'eau vers l'autoclave pour le refroidissement et vers les auto-laveurs.



**Figure 6:-** Schéma de la STE du poste de sterilization.

Afin de savoir exactement la quantité d'eau consommée durant le refroidissement, nous avons lancé un cycle d'auto-lavage P1 et P2 et il s'est montré que ce dernier consomme 505 litres par cycle.

Chaque matin, nous remplissons entièrement la citerne puis nous arrêtons la pompe. Nous notons la valeur du débitmètre avant et après chaque cycle de l'autoclave ainsi que le pourcentage de la consommation d'eau osmosée. L'exercice a duré neuf jours et les résultats obtenus sont présentés dans le tableau :

Eau consommée dans les cycles de stérilisation et d'autolavage en litres - Poste de stérilisation - HUPM-									
Cycle	Durée	Volume débitmètre	Eau adoucie (circuit laveurs)	Eau adoucie (refroidissement)	Eau osmosée (citerne)	Consommation totale du cycle	Consommation moyenne par cycle	Nombre moyen de cycle par jour	
Préchauffage	30min	200	168,12	336,88	31,88	368,76	368,76	1	
Test Bowie&Dick	34min	960	928,13	423,13	31,88	455,01	455,01	1	
Rapide	34min	200	200	305	30	335	335	4	
Standard 121	1h05	400	272,5	232,5	127,5	360	284	3	
Standard 121	1h05	380	350	155	30	185			
Standard 121	1h05	320	290	215	30	245			
Standard 121	1h05	420	300	205	120	325			
Standard 121	1h05	440	320	185	120	305			
Auto-lavage (P2 + P4)	1h45	540	540	-	-	540	505	1	
Auto-lavage (P1 + P4)	1h10	470	470	-	-	470			
Consommation moyenne du jour								3 520,77	
Consommation moyenne du mois								105 623,10	
Consommation moyenne du mois en tonnes								105,62	

**Tableau 3:-** L'eau consommée dans les cycles de stérilisation et d'autolavage dans l'HUPM.

### Exercice N°2 : Fréquence de fréquentation des douches dans sous-sol 1.

Un questionnaire sur la fréquence de fréquentation des douches des vestiaires du sous-sol n°1 a été préparé et partagé avec le chef du bloc opératoire et la responsable du personnel afin de le remplir selon leurs utilisations des douches.

Le personnel consomme 90 litres d'eau pour une douche de 15 minutes (6 l/min). [29'] La chaudière de l'hôpital est réglée à 50°C pendant la période froide de l'année, où un quart d'eau est chaude (22,5 l). Par contre, elle chauffe l'eau qu'à 38,4 °C dans la période chaude ainsi le personnel n'utilise que l'eau chaude. [13]

Volume d'eau chaude et d'eau froide consommé pendant les douches dans les vestiaires du sous-sol n°1		
Vestiaire	Nombre de douche /mois	Volume d'eau consommée (l/mois)
Bloc opératoire	64	5760
Personnel	128	11520
Total	192	17280

**Tableau 4:-** Volume d'eau chaude et d'eau froide consommé dans les vestiaires du SS1.

	Eau consommée par le personnel dans une douche en litres			
	Période chaude		Période froide	
	Eau froide	Eau chaude	Eau froide	Eau chaude
Pourcentage	—	100%	70%	25%
Consommation par douche	—	90	63	22,5
Consommation moyenne d'eau chaude (par douche)	56,25			

**Tableau 5:-** La consommation de l'eau froide et l'eau chaude dans les douches.

Etant donné que chaque mois, 192 douches sont prises dans les vestiaires du sous-sol N°1, le besoin en eau chaude est de 10 800 l/mois (360 l/j).

### Analyse des résultats :

Nous constatons que le volume d'eau consommée par jour dans la salle de traitement d'eau de dialyse n'est pas constant en cas d'arrêt des générateurs de dialyse. Cette différence varie de  $3 \text{ m}^3$  à  $11 \text{ m}^3$  selon la régénération du filtre à sable, des adoucisseurs et du filtre à charbon. Pour le filtre à sable et le filtre à charbon, la régénération se fait trois fois par semaine à deux heures du matin pendant 30 minutes, c'est une régénération chronométrique. Alors que celle des adoucisseurs, elle est volumétrique parce qu'elle se réalise quand les osmoseurs ne sont pas en marche et un certain volume est consommé. Le volume moyen est de  $6.11 \text{ m}^3/\text{j}$ .

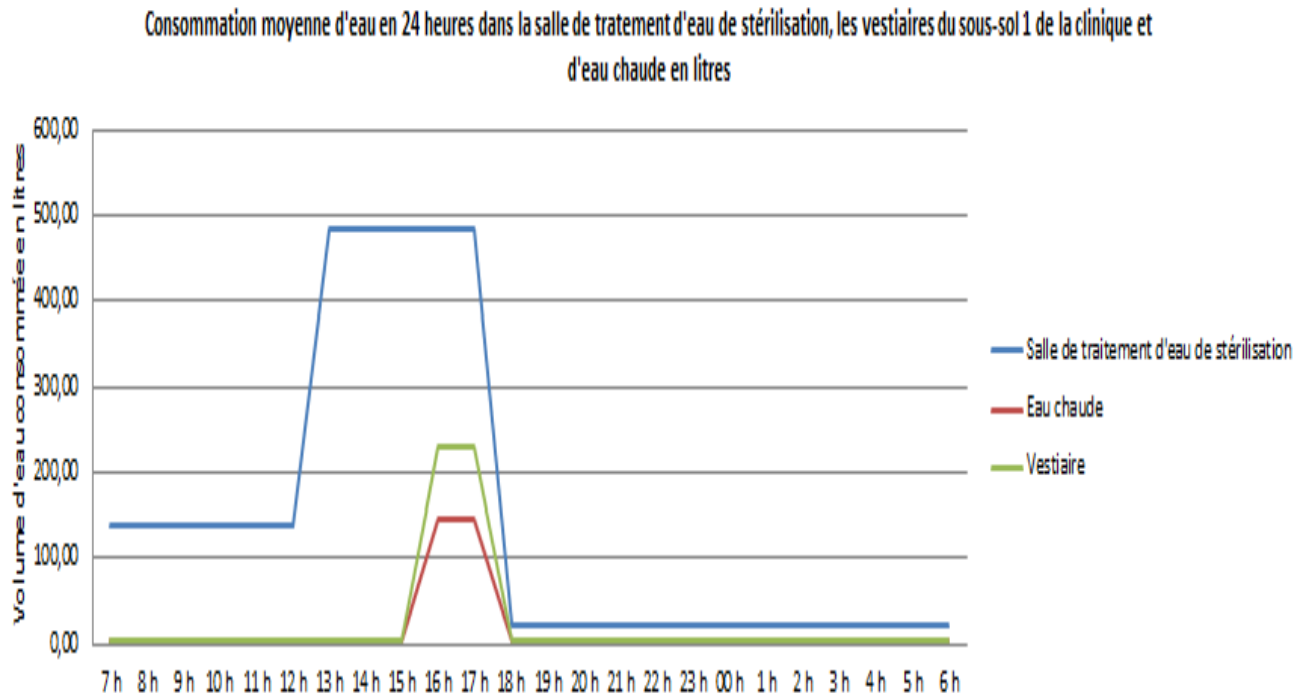
Les régénérations du filtre à sable et du filtre à charbon ne se passent pas au même temps. Ce problème ne se pose pas pour la régénération volumétrique des adoucisseurs (elle peut coïncider avec la régénération chronométrique).

Le volume d'eau consommé dans le poste de stérilisation ( $3520.77 \text{ l/j}$ ) est plus élevé que celui de l'eau chaude et l'eau froide utilisées dans les vestiaires du sous-sol n°1 de la clinique ( $576 \text{ l/j}$ ). Le poste de stérilisation prépare l'autoclave en lançant le cycle de préchauffage et le test Bowie&Dick, d'où une consommation de  $137.29 \text{ l/h}$ , de 7 heures à midi. L'activité augmente à partir de midi à 17 heures, pour stériliser le matériel utilisé dans les opérations chirurgicales ;  $482.6 \text{ l/h}$  d'eau consommée. A partir de 18 heures, les cycles de stérilisation sont uniquement lancés en cas d'urgence, c'est pour cette raison, la consommation d'eau s'abaisse à  $21.85 \text{ l/h}$ .

Par contre, la consommation d'eau chaude et d'eau froide dans les vestiaires est uniquement élevée de 16 heures à 17 heures parce que les vestiaires sont surtout fréquentés lorsque le personnel finit le travail en fin d'après-midi.

La consommation d'eau chaude ( $360 \text{ l/j}$ ) est plus élevée que celle de l'eau froide ( $216 \text{ l/j}$ ). C'est pour cette raison, nous voulons exploiter la petite citerne qui se trouve dans la salle de chaufferie, d'un volume de  $7.75 \text{ m}^3$ .

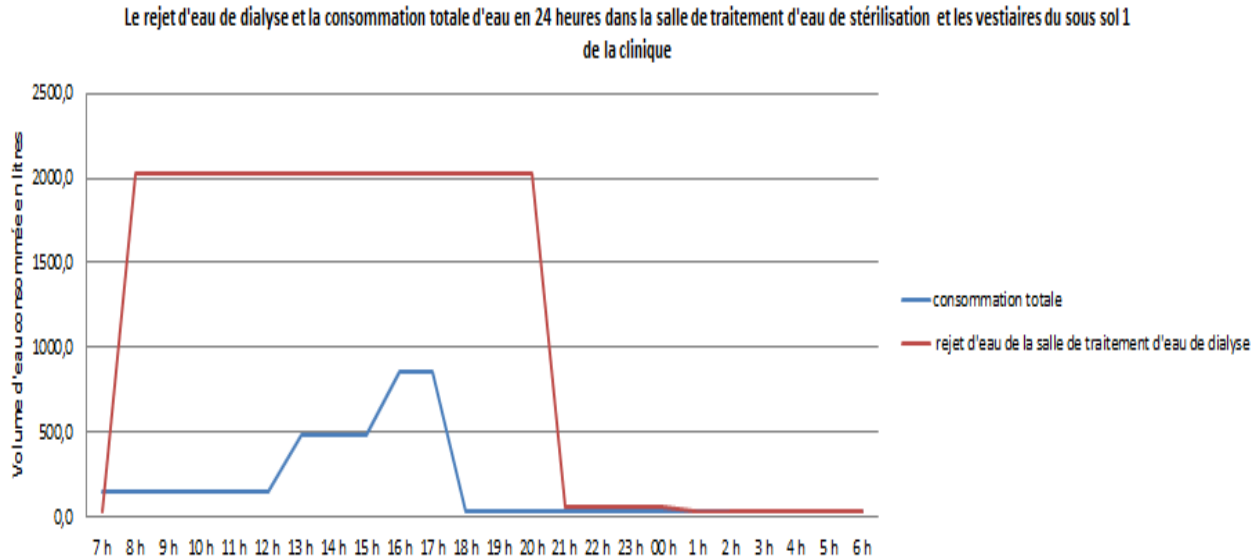
Vu que l'eau chaude est utilisée dans les douches, sa consommation augmente en parallèle avec celle des vestiaires.



**Figure 7:-** Consommation moyenne d'eau dans la STE de stérilisation, les vestiaires.

Un générateur d'hémodialyse a besoin de  $112.32 \text{ m}^3/\text{an}$  pour fonctionner, à raison de 12 heures par jour et 6 jours par semaine. [29']. En considérant que le service de dialyse de l'HUPM travaille également 12 heures par jour (de 8 heures à 20 heures) et 6 jours par semaine, il aura besoin de  $4.68 \text{ l/j}$  d'eau traitée pour la mise en service de 12 générateurs.

Le graphe ci-dessous résume le volume total d'eau consommée en litres par jour dans la salle de traitement d'eau de stérilisation et dans les vestiaires du sous-sol n°1 (eau chaude et eau froide) ainsi que le rejet d'eau dans la salle de traitement d'eau de dialyse.



**Figure 8:-** Le rejet de dialyse et la consommation totale d'eau dans la salle de stérilisation et les vestiaires.

Une étude faite en 2017 dans le centre d'hémodialyse de Guelmim qui dispose de 8 générateurs et un système de double osmose montre que le rejet d'eau dans la salle de traitement est de 1460 l/h durant la période de production d'eau pour les générateurs. Pour notre service de dialyse disposant de 12 générateurs, nous estimons une quantité d'eau rejetée de 2190 l/h.

La quantité d'eau rejetée diminue à partir de 20h. Les deux osmoseurs font circuler l'eau à partir de 20h à minuit, ce qui engendre un rejet d'eau de 57.5 l/h. De minuit à 8 heures, seul l'osmoseur chimique continue cette circulation en rejetant 40 l/h.[14]

#### **Améliorations mises en place pour la réutilisation de l'eau de rejet :**

Suites aux analyses détaillées de chaque étape du processus et aux réunions périodiques avec les différents intervenants, nous avons priorisé certaines possibilités de réutilisation d'eau de rejet des osmoseurs.

Pour obtenir une eau réutilisable dans les cas précédents, une déminéralisation et désalinisation sont obligatoires. L'électrodialyse est la technologie de dessalement utilisée du fait qu'elle est moins gourmande en énergie et sépare sélectivement les ions monovalents et multivalents.

Les systèmes d'électrodialyse utilisent une membrane à perméabilité sélective pour déplacer les ions d'un côté à l'autre sous l'influence d'un potentiel électrique. Dans presque tous les procédés pratiques d'électrodialyse, plusieurs cellules d'électrodialyse sont disposées dans une configuration appelée pile d'électrodialyse, avec des membranes échangeuses d'anions et de cations alternées formant les multiples cellules d'électrodialyse. [15]

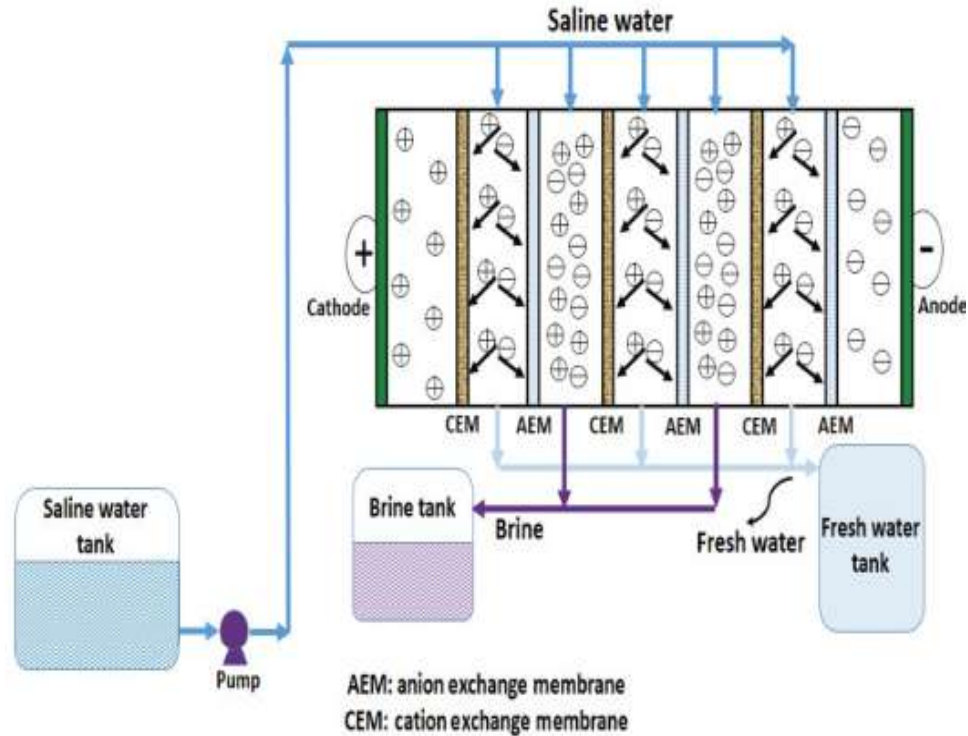


Figure 9:- Principe d'électrodialyse [15].

Dans la salle de traitement d'eau de notre service de dialyse, le rejet d'eau estimé est de 643.2m<sup>3</sup>/mois, et seul 122.9 m<sup>3</sup>/mois ( 19.1 %) sont exploités dans le poste de stérilisation et dans les douches des vestiaires du sous-sol n°1. C'est pour cela, nous avons pensé à utiliser ce rejet également dans le jardinage, les chasses d'eau et les autres vestiaires de l'hôpital.

Le rejet d'eau de dialyse et la consommation d'eau dans le jardinage, les vestiaires, les chasses d'eau et le poste de stérilisation de l'hôpital HUPM - 2022

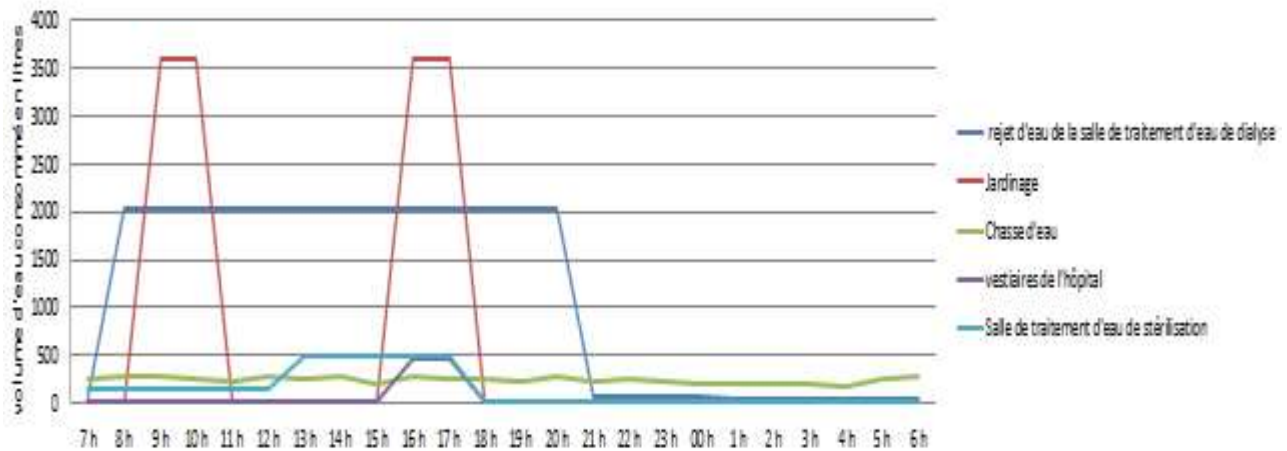


Figure 10:- Le rejet de la STE de dialyse et la consommation d'eau dans les vestiaires et les chasses d'eau de l'hôpital et le jardinage.

L'arrosage des jardins se fait chaque jour pendant 4 heures ; deux heures le matin (de 8h à 10h) et deux heures l'après-midi (de 15h à 17h). La pompe utilisée est d'un débit de 3600 l/h. Or, 14 400 l/j d'eau sont consommés dans l'arrosage.



L'hôpital dispose de 200 chasses d'eau dont le volume de chacune est 6 litres. Supposons qu'une toilette est fréquentée 5 fois par jour, 6000 l/j d'eau sont utilisés (en moyenne 250 l/h).

En plus des vestiaires du bloc opératoire et du personnel du sous-sol n°1, il y'en a deux autres dans l'unité de greffe et les soins de suite et de réadaptation avec la même capacité. Donc pendant les douches, l'eau consommée dans les vestiaires de l'hôpital (selon le questionnaire) est d'un volume de 1152 l/j dont 80% est utilisé de 16 heures à 17 heures.

Le rejet d'eau de la salle de traitement d'eau de dialyse et la consommation totale d'eau dans le jardinage, vestiaires, stérilisation et chasses d'eau de l'HUPM

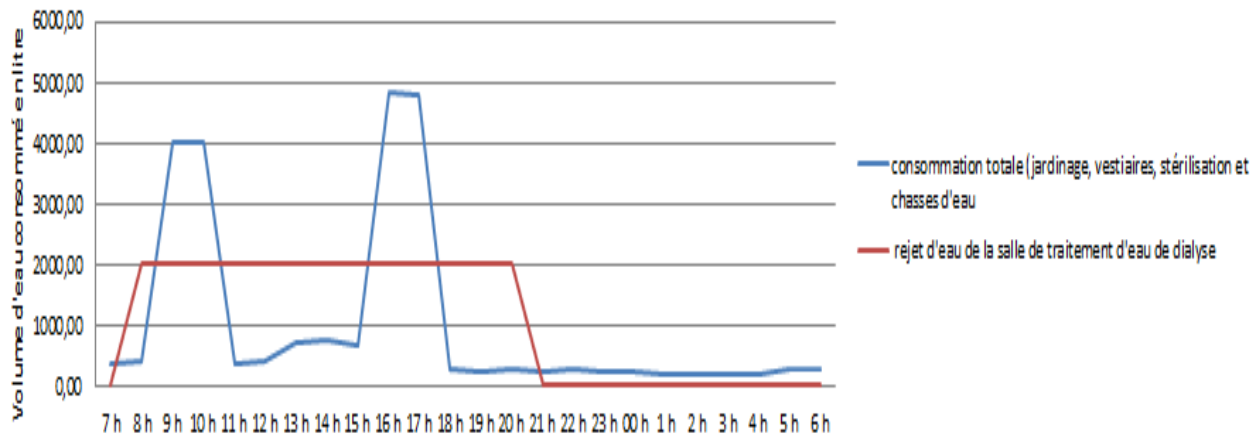


Figure 11:- Le rejet de la salle de traitement d'eau de dialyse et la consommation totale (jardinage, stérilisation, vestiaires et chasses d'eau).

Le jardinage est la cause de la consommation élevée d'eau, de 8h à 10h et de 15h à 17h. A partir de 21h la consommation augmente en raison des chasses d'eau.

Un volume de 14.4 m<sup>3</sup>/j est consommé dans l'arrosage des jardins (4 heures par jour), la dialyse produit, durant ces 4 heures, 8.8 m<sup>3</sup> d'eau rejetée. Les chasses d'eau utilisent 2.5 m<sup>3</sup> de 21h à 8 h pourtant l'eau de rejet est seulement de 0.5 m<sup>3</sup>. Donc, nous proposons un réservoir d'un volume de 8 m<sup>3</sup> pour récupérer le rejet d'eau des osmoseurs qui va subir par la suite un dessalement par électrodialyse.

Le bassin d'eau d'arrosage, la salle de traitement d'eau de stérilisation, les vestiaires, la majorité des chasses d'eau et la salle de chaufferie se situent au niveau du sous-sol n°1 et sous-sol n°2, d'une hauteur de 6 m. Un nombre minime des chasses d'eau se trouvent dans le premier et deuxième étage, une hauteur maximale de 16 m. Une pompe avec une pression de 6 bar et une canalisation PVC sont nécessaires afin de conduire l'eau dans les différents endroits et services proposés.

L'hôpital fournit 753 m<sup>3</sup>/mois d'eau pour l'arrosage, la stérilisation, les vestiaires et les chasses d'eau. Ainsi, en utilisant le rejet d'eau d'un volume de 643.2 m<sup>3</sup>/mois, après son dessalement par électrodialyse, l'hôpital économisera 9403.6DH/mois.

#### Contrôle des actions :

Le suivi et la mesure du volume d'eau entrante dans la salle de traitement d'eau de dialyse sont importants pour prévenir les problèmes que peut rencontrer le service de dialyse de l'HUPM. Nous avons donc installé un débitmètre à l'entrée de la salle. Néanmoins, nous avons constaté que les prélèvements journaliers pris par la suite étaient nuls alors que les équipements de la salle effectuent leurs opérations programmées. C'est pour cette raison, nous l'avons changé, et depuis, le volume d'eau que consomme la salle correspond au volume prélevé du débitmètre.

Les pompes de refoulement d'eau sont déjà tombées en panne. Pour éviter cela, nous avons séparé leur commande avec un variateur de vitesse par deux autres contenant un contrôleur de pression qui a pour but de garder au minimum une pression de 4 bar. Aucun problème n'a été détecté après le changement.

Les manomètres ajoutés avant chaque équipement indiquent tous une pression du passage d'eau de 4 bar.

Au niveau de la salle de traitement d'eau de stérilisation, nous avons mis en place un débitmètre à l'entrée de l'eau. Il affiche un volume moyen de 3.05 m<sup>3</sup>/j.

Les actions qui consistent à traiter l'eau de rejet et la conduire vers la salle de traitement d'eau de stérilisation, les vestiaires et les chasses d'eau et également l'utiliser dans le jardinage ne sont pas encore mises en place, dans la première phase du projet. D'autres phases sont nécessaires afin d'apporter plus de précisions et de justifications en ce qui concerne l'implantation de la méthode d'électrodialyse pour le dessalement d'eau de rejet du système double osmose de dialyse et son exploitation dans d'autres services de l'hôpital.

### **Discussion:-**

Comme nous l'avons déjà évoqué, la pénurie d'eau fait partie des problèmes principaux auxquels le monde dans son ensemble est confronté. Certes, la dialyse sauve la vie des personnes insuffisantes rénales, mais le grand volume d'eau rejetée rend pertinente l'étude de la possibilité d'utilisation de ces eaux de rejet.

Le ministère de la santé de l'état Victoria a lancé un projet intitulé « Greening our hospitals », d'une durée de 3 ans (de 2007 à 2010) et a confirmé qu'il existe un large éventail d'options de réutilisation possibles pour l'eau de rejet :

1. Chasse d'eau des toilettes
2. Irrigation
3. Eau de stérilisation
4. Eau d'appoint de blanchisserie
5. l'eau d'appoint des bouches d'incendie
6. Systèmes de chauffage/ boucles fermées
7. Eau d'appoint des chaudières
8. Eau d'alimentation des refroidisseurs
9. Eau d'étanchéité des pompes
10. Eau des cuisines industrielles et des lave-vaisselle
11. Piscines (nécessite l'approbation de l'EPA)
12. Débits environnementaux (nécessite l'approbation de l'EPA et de l'administration des eaux).
13. Retour à l'approvisionnement en eau potable (nécessiterait l'approbation du service des eaux et du ministère de la Santé).

Sauf qu'il faut prioriser les options sur la base d'un rapport coût/bénéfice en considérant :

1. La distance entre l'option de réutilisation et l'unité d'OI car des distances significatives (>100m) pourraient nécessiter de nouvelles canalisations
2. Le profil de la demande : il faut viser les demandes constantes et significatives comme au niveau de la salle de bain et toilettes, la buanderie, le tour de refroidissement, unité de stérilisation, eau d'appoint de chaudière et arrosage.
3. Il y'a des avantages significatifs à maximiser l'utilisation des infrastructures existantes pour réduire les dépenses d'investissement.

En 2014, le service d'HD de l'hôpital El Ghassani de fès a effectué la caractérisation physico-chimique des effluents d'osmose inverse de dialyse afin d'apprécier leur qualité hygiénique avant qu'elles ne subissent de traitement. Pour cela, des échantillons ont été prélevés et les résultats s'affichent dans le tableau ci-dessous :

Echantillons et Mélanges	pH	Conductivité Electrique (mS/cm)	Chlorures (mg/l)	Nitrites (mg/l)	Nitrates (mg/l)	Sulfates (mg/l)	Ortho phosphates (mg/l)
Ech1	7,47	3,47	638,15	0,007	9,37	10,47	0,00
Ech2	7,37	3,46	29,07	0,009	9,58	178,69	0,00
Ech3	7,81	3,50	609,79	0,009	8,44	191,73	0,00
M1	8,11	3,47	638,15	0,030	40,02	143,91	0,00
Ech4	8,03	3,50	638,15	0,005	4,03	457,39	0,00
Ech5	8,05	3,50	595,61	0,007	4,27	505,21	0,00
Ech6	7,92	3,41	482,16	0,003	22,06	28,69	0,00
M2	8,21	3,42	453,79	0,021	72,87	174,34	0,00
Ech7	8,04	3,44	453,79	0,000	28,44	202,60	0,00
Ech8	7,58	3,44	453,79	0,000	45,36	200,86	0,00
Ech9	7,72	3,48	638,15	0,000	5,10	87,82	0,00
M3	8,11	3,35	467,97	0,004	62,53	209,13	0,00
Ech10	7,92	3,42	680,69	0,000	5,75	309,56	0,00
Ech11	7,78	3,50	567,24	0,000	5,89	237,39	0,00
Ech12	7,63	3,34	680,69	0,000	59,98	209,13	0,00
M4	8,18	3,35	467,97	0,000	57,55	146,08	0,00
Ech13	8,12	3,46	638,15	0,000	23,78	204,78	0,00
Ech14	7,94	3,43	567,24	0,017	2,137	209,13	0,00
Ech15	8,01	3,43	467,97	0,000	0	204,78	0,00
M5	8,22	3,43	638,15	0,006	47,85	217,82	0,00
Ech16	7,12	3,45	581,42	0,000	16,67	239,56	0,00
Ech17	7,44	3,56	609,79	0,000	0	204,78	0,00
Ech18	7,78	3,51	482,16	0,000	43,83	150,43	0,00
M6	7,81	3,43	638,15	0,000	23,47	139,56	0,00
Ech19	7,82	3,53	638,15	0,000	47,63	187,39	0,00
Ech20	7,80	3,52	482,16	0,000	45,36	224,34	0,00
Ech21	7,84	3,56	496,34	0,000	41,32	198,26	0,00
M7	7,83	3,42	467,97	0,000	45,18	217,82	0,00
Valeurs Max	8,22	3,56	680,69	0,030	72,87	505,21	0,00
Moyennes	7,85	3,46	542,96	0,014	27,80	203,27	0,00
Valeurs Min	7,12	3,34	29,07	0,000	2,137	10,47	0,00
Valeur Maximale admissible*	8,5	2,7	350	0,5	30	500	2

\* Arrêté conjoint n° 2942-13 du 07 octobre 2013) [12].

**Tableau 6:-** Résultat d'analyse physico-chimique des effluents avant traitement ; Référence : Le parcours de déchet, le site deTom. [31].

La comparaison des valeurs trouvées avec celles de la réglementation nationale relative aux eaux d'irrigation montre que le pH des effluents est conforme aux normes. Par contre, la conductivité dépasse la valeur limite de la réglementation. Idem pour les nitrates, les sulfates et les chlorures.Or, ces effluents ne peuvent pas être utilisés directement pour l'arrosage et un traitement préalable est indispensable.

Suite à une étude faite par le centre d'hémodialyse 2 Mars de Casablanca en 2021, ce dernier se met également d'accord sur la possibilité de réutilisation de ces eaux dans l'arrosage des jardins, le refroidissement des stérilisateurs et aussi dans la chasse d'eau, à l'exception de vérifier le niveau de solides dissous totaux (SDT) dans l'eau, appelé aussi le total des minéraux dissous et sont principalement des composés de calcium, Magnésium et Sodium. Une eau avec un SDT inférieur à 1000 mg/l est autorisée pour l'irrigation autrement la production des cultures pourra être réduite ou interdite.

Une eau avec un SDT de 1000 à 1500 mg/l peut être employée dans la chasse d'eau des toilettes. Par contre, si la teneur en sel est beaucoup plus élevée que 1500 mg/l, l'hôpital peut implanter une voie de récupération d'eau de pluie afin de diluer les sels progressivement.

Si l'irrigation est choisie comme une option possible de réutilisation des eaux de rejet, la concentration en sodium doit également être évaluée. La méthode la plus courante pour évaluer la teneur en sodium de l'eau est la mesure du rapport d'adsorption du sodium (SAR), qui est la proportion d'ions sodium (Na) par rapport à la concentration de calcium (Ca) et de magnésium (Mg). En général, une valeur SAR inférieure à 9 est considérée comme sûre pour la plupart des situations de jardinage ou d'irrigation des pelouses, tandis que des niveaux supérieurs à 9 peuvent causer de graves problèmes dans certains types de sol au fil du temps.

L'effluent de dialyse est hautement salé. Au Maroc, l'aptitude chimique et la sécurité microbiologique de cette eau ont été évaluées et comparées aux normes des eaux usées agricoles de l'Organisation mondiale de la santé et de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. A l'exception attendue de la concentration en sodium et en chlorure, et donc de sa conductivité, l'analyse chimique, les niveaux de matière organique et les comptes bactériens étaient bien dans les limites des deux normes.[09]

Les rejets d'osmose inverse ont été prélevés dans les centres polycliniques Saint-Côme et la Dialoïse Compiègne en France en 2021. Les paramètres physico-chimiques sont donnés dans le tableau suivant :

Parameter	Dialysis RO Loop Water Reject Mean ( $\pm$ SD)
Conductivity ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	1960 $\pm$ 0.086
pH	8.12 $\pm$ 0.22
Calcium, $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	0.025 $\pm$ $3.06 \times 10^{-3}$
Chloride, $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	2.183 $\pm$ 0.115
Total Hardness, °F	0.32 $\pm$ 0.04
Magnesium, $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	0.005 $\pm$ $9.12 \times 10^{-4}$
Sodium, $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	19.164 $\pm$ 0.7844
Sulfates, $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	1.77 $\pm$ 0.104
Turbidity, NFU	0.10 $\pm$ 0.00
Ammonium, $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	<0.0027 $\pm$ 0.00
Nitrates, $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	0.0715 $\pm$ 0.0042
Free Chlorine, $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	<0.00006 $\pm$ 0.00
Total Chlorine, $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	0.00007 $\pm$ $2 \times 10^{-5}$
Iron, $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	0.07 $\pm$ 0.01
Arsenic, $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	0.00253 $\pm$ $2.02 \times 10^{-4}$
Cadmium, $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	<0.000088 $\pm$ 0.00
Mercury, $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	<0.00005 $\pm$ 0.00

**Tableau 7:-** Les paramètres physico- chimiques du rejet d'osmose inverse de la polyclinique Saint-Côme [33].

Le rejet d'osmose inverse d'hémodialyse est légèrement concentré en ions Sodium, nitrate, sulfate et chlorure. Leur déminéralisation et désalinisation sont obligatoires avant leur réutilisation en irrigation, nettoyage, alimentation de chaudières, stérilisation ou réhabilitation de piscines selon des normes nationales ou internationales.

Les techniques de dessalement sont nombreuses et reposent sur des moyens physiques différents. Il y'a les technologies thermiques impliquant un changement de phase (distillation) mais elles sont rarement utilisées car elles ne sont pas rentables et demandent beaucoup d'énergie.

En revanche, les technologies membranaires telles que l'osmose inverse (RO) sont déjà bien établies. L'électrodialyse (ED) consomme beaucoup moins d'énergie si le taux de conductivité n'est pas assez élevé. Cette technique ne nécessite pas de produits chimiques et est plus respectueuse de l'environnement. Elle est en concurrence avec l'osmose inverse car elle permet de contrôler la concentration de sel dans l'eau produite, de modifier la composition du sel pour répondre aux exigences spécifiques de qualité de l'eau pour chaque utilisation et se caractérise par un fonctionnement facile, une longue durée de vie de la membrane et une séparation sélective des ions monovalents (tels que  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{NO}_3^-$ ) des ions multivalents (par exemple,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ).

La nanofiltration consomme moins d'énergie également mais un inconvénient majeur est qu'elle entraîne des rejets de sels monovalents plus faibles, par conséquent, elle n'est pas une alternative pour le dessalement des concentrés de l'OI. [17]

En se référant à toutes ces études, l'eau de rejet du service de dialyse de l'HUPM d'un volume estimé de  $26.75 \text{ m}^3/\text{j}$  nécessite un traitement de dessalement et déminéralisation par la méthode d'électrodialyse avant qu'il soit utilisé dans d'autres services. C'est une méthode préférable vu qu'elle est moins coûteuse que les autres méthodes en cas de faible salinité et sépare sélectivement les ions monovalents et multivalents.

Nous visons d'utiliser le rejet d'eau de la salle de traitement d'eau de dialyse de l'hôpital dans différents services nécessitant un grand volume d'eau pour fonctionner. L'arrosage des jardins est la cause principale d'une consommation d'eau élevée ( $14.4 \text{ m}^3/\text{j}$ ), puis les chasses d'eau d'un volume d'eau consommé de  $6 \text{ m}^3/\text{j}$ , ensuite la stérilisation qui consomme  $3.52 \text{ m}^3/\text{j}$  et enfin les vestiaires utilisant  $1.152 \text{ m}^3/\text{j}$ . L'exploitation de ces eaux de rejet a pour but de réduire l'impact écologique, environnemental et économique de l'hémodialyse.

### **Conclusion:-**

L'incidence de l'insuffisance rénale terminale chronique connaît une augmentation considérable dans le monde entier. L'hémodialyse est la thérapie à laquelle la majorité des patients insuffisants rénaux ont recours. C'est un traitement à un fort impact environnemental et économique en raison de sa grande consommation en eau et de ses effluents qui se retrouvent dans l'égout sans qu'ils soient exploités.

Ce projet a été réalisé dans le cadre d'étudier les potentialités d'utilisation des effluents issus de la salle de traitement d'eau de dialyse de l'HUPM pour des fins écologiques, environnementales et économiques.

Nous estimons un volume des eaux de rejet de  $26.75 \text{ m}^3/\text{j}$ . C'est une quantité énorme que nous visons d'exploiter dans le service de stérilisation, les vestiaires, les chasses d'eau et l'arrosage des jardins consommant un volume de  $25.07 \text{ m}^3/\text{j}$ , pourtant un traitement préalable de dessalement et déminéralisation est indispensable. L'électrodialyse est la méthode la plus convenable car elle est moins coûteuse et plus sélective d'ions monovalents et multivalents. L'exploitation de 93% de ces effluents dans ces services permettra à l'hôpital d'économiser  $391.1 \text{ DHs}/\text{j}$ .

Dans cette phase de projet, les options de recyclage et de réutilisation des eaux de rejet ne sont pas encore mises en place. D'autres précisions concernant l'installation de l'électrodialyse seront apportées par le service biomédical de l'hôpital en communiquant avec les sociétés de dessalement et déminéralisation d'eau.

### **Déclaration De Liens D'intérêts :**

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

### **Bibliographie:-**

[01] : M.Asserraji, G.Dohmi, N.Abdelbaki, « Coût de l'hémodialyse au Maroc » Néphrologie & Thérapeutique, September 2016, Page 271.



- [02] : Marouane Jabrane, «Évaluation de l'impact d'un centre d'hémodialyse sur l'environnement et l'écologie locale », *Néphrologie & Thérapeutique* P. 481-485 - décembre 2013.
- [03] : Pr Amal Bourquia, « Insuffisance rénale chronique », *FINANCES News, Opinions Libres*, Mercredi 05 Aout 2020.
- [04] : Nouredine Bijaber, Driss El Hadani ... Atmane Rochdi, «Developing a remotely sensed drought monitoring indicator for Morocco», doi: 10.3390/geosciences8020055. Epub 2018 Feb 6.
- [05] : Moncef Ben Hayoun,« Croissance au Maroc : La sécheresse compensée par le tourisme et l'export en 2022», *LE MATIN.ma*, le 15 mars 2022 à 15:18.
- [06] : Fadel SENNA, « Au Maroc, une sécheresse inédite fait craindre une pénurie d'eau potable » *Science Avenir*, le 23.03.2022.
- [07] : réf : [http://ane4bf-datap1.s3-eu-west-1.amazonaws.com/wmocms/s3fs-public/ckeditor/files/Maroc\\_Etat\\_Climat\\_2020\\_V\\_Finale.pdf?PvMHWot9x.HGDHLqaJMoKOTT3KkDiJd7](http://ane4bf-datap1.s3-eu-west-1.amazonaws.com/wmocms/s3fs-public/ckeditor/files/Maroc_Etat_Climat_2020_V_Finale.pdf?PvMHWot9x.HGDHLqaJMoKOTT3KkDiJd7).
- [08] : Pscale Lefuel « Hémodialyse & Ecologie : Quel impact sur notre environnement ? » *NEPHROHUG, NEPHROHUG, Hôpitaux Universitaires Genève*.
- [09] : Faissal Tarrass, Omar Benjelloun, Meryem Benjelloun « Towards zero liquid discharge in hemodialysis. Possible issues », *Nefrologa*, Vol. 41. Núm. 6. Noviembre - Diciembre 2021, Páginas 605-712.
- [10] : Adegboyega K Lawal, Thomas Rotter ..... Rachel Flynn « Lean management in health care: definition, concepts, methodology and effects reported (systematic review protocol) » ; *National Library of Medicine*, Published online 2014 Sep 19. doi: 10.1186/2046-4053-3-103
- [11] : Afnor compétence, site web : <https://competences.afnor.org/gammes/lean-six-sigma> , Consulté le 15.04.2022.
- [12] : Livre de Alain Fernandez "Les Tableaux de Bord du Manager Innovant, une démarche en sept étapes pour faciliter la prise de décision en équipe" Mis à jour le 04 mai 2021.
- [13] : Ecoconso du conseil à l'action, « Comment calculer la consommation en eau d'une douche ? » site web : <https://www.ecoconso.be/fr/content/comment-calculer-la-consommation-en-eau-dune-douche>. Visté le 13.05.2022.
- [14] : Carlos Moreno-Camacho, Jairo R. Montoya-Torres, Anicia Jaeglerb, and Natacha Gondranc, « Sustainability Metrics for Real Case Applications of the Supply Chain Network Design Problem: A Systematic Literature Review » : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii>.
- [15] : Article, « Electrodialysis is a separation process in which charged membranes and electrical potential difference are used to separate ionic species from an aqueous solution and other uncharged components ». *Sciences directe*, <https://www.sciencedirect.com/topics/chemical-engineering/electrodialysis>.
- [16] : Référence : Site web : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8779760/#B7-membranes-12-00045>. consulté le 11.04.2022.
- [17] : *National Library Of Medicine* « The National Center for Biotechnology Information advances science and health by providing access to biomedical and genomic information ». Mai 2022.