



Université Constantine 1 Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة قسنطينة 1 الاخوة منوري
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Biologie et Ecologie végétal

قسم : بиولوجيا وایکولوچیا النبات

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques / Biotechnologies / Écologie et Environnement

Spécialité : Écologie fondamentale et appliquée

Intitulé :

Qualité physico-chimique bactériologique des eaux hémodialyse

Présenté par : Mallem Saliha

Le : 28/06/2025

Aouaichia Marwa

Jury d'évaluation :

Président: Sahli Lila (Prof- UConstantine 1 Frères Mentouri).

Encadrant : Touati Laid (Prof- UConstantine 1 Frères Mentouri).

Examinateur : Cheriti Oumnia (MCB- UConstantine 1 Frères Mentouri).

**Année universitaire
2024 – 2025**

DEDICACES

Je dédie ce travail, à ceux qui ont éclairé mon chemin et m'ont portée.

À mon père, **Karim**,

Celui qui a fait de moi la femme que je suis aujourd’hui , mon exemple, mon appui,
ma force à chaque étape de ce parcours.

Par ton amour, ta patience et tes sacrifices et avec tes invocations pour moi tu m’as
donné le courage d’avancer toujours surtout dans les moments les plus difficiles.

À ma mère, **Souad**,

Mon premier modèle de force, de sagesse et d’amour.

Pour tes innombrables sacrifices, tes encouragements silencieux et tes prières
discrètes.

Pour ta patience infinie et ton soutien indéfectible.

Quoi que je fasse, je ne pourrai jamais te remercier à la hauteur de tout ce que tu m’as donné.

À vous deux,

Ma mère et mon père, ce mémoire est le fruit de vos efforts autant que des miens.

Merci du fond du cœur pour tout ce que vous avez fait pour moi.

À mon petit frère, **Ahmed**,

Qui a partagé avec moi chaque instant d’émotion durant la réalisation de ce travail.

À la mémoire de ma chère tante **Nora** (الله يرحمها),

Dont l’amour, le soutien et les précieux conseils ont accompagné mon chemin. Son souvenir
reste une source constante de force et de motivation. Puisse Allah lui accorder Sa miséricorde
et l'accueillir en Son Paradis.

À la mémoire de mes grands-pères et grands-mères (الله يرحمهم), **Saïd**, **Taous**, **Amar** et
Ouarda,

Dont les valeurs et principes continuent d’orienter mon parcours. Que leur souvenir
demeure vivant et qu’Allah leur accorde Sa miséricorde et Ses bienfaits.

À **Rami** , mon bras droit, mon repère , celui qui m’a soutenue même dans le silence .

À mes cousines surtout , **Balkiss** , **Zaineb** , **Tassnime** et **Salsabil** et à toutes les
personnes chères à mon cœur.

Je dédie ce travail à chacun de ceux qui ont contribué à ma réussite.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents DJAMEL et BOUTHAINA

A ma grand-mère HOURIA, à ma deuxième maman ma chère tante FERIEL qui
m'a encouragé énormément.

À mon petit frère MAHDI et ma petite sœur maria, et ma cousine CHAHINAZ
À tous mes oncles.

Et Mais chers amis : AMEUR GHORAB Qui m'a soutenu et HASSAN
MAHAMAH un frère éternel

Mes chers enseignants... et ma chère binôme DJAZIA Le meilleur de tous les
temps

Merci à tous ceux qui m'ont encouragé et ont cru en moi.

REMERCIEMENT

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Dr TAOUTI LAID, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, Sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire de fin d'étude.

Nos remerciements vont également au DR SAHLI LEILA, et DR CHERITI OUMNYA, qui ont la gentillesse de lire ce travail et être membre de jury.

Bien évidement nous n'oublierons pas de remercier les gens de l'Etablissement Hospitalier Spécialisé (EHS) en Néphrologie et Transplantation Rénale (Daksi-Constantine) pour nous avoir ouvert leurs portes et faciliter notre travail.

Enfin, nous remercions toute personne qui a participé de près ou de loin à l'exécution de ce modeste travail.

Tableau 1 : complications courantes de l'hémodialyse (Glenn & Preminger, 2023).....	9
Tableau 2 : Qualité physico-chimique de l'eau de dialyse (Dorez & Soule, 2009).	14
Tableau 3 : Pureté microbiologique de l'eau pour hémodialyse (Dorez & Soule ,2009)	16
Tableau4 : résultats de l'examen Bactériologique des coliformes totaux.	54
Tableau 5 : résultats de l'examen Bactériologique des coliformes thermo-tolérants.	55
Tableau 6 : Comparaison entre les deux dispositifs de traitement.....	56

Figure.1 : Coupe anatomique d'un rein (Florian.2011).....	3
Figure 2: Le processus de l'hémodialyse (Abdou Niang et al. 2015)	5
Figure 3 : Les différentes parties de dialyseur (Abdou Niang et al .2015).....	6
Figure 4 : Générateur de dialyse (Khalfaoui, 2013).....	7
Figure 5 : Schéma d'installation de traitement d'eau pour dialyse (Julien, 2022).....	19
Figure 6 : Vue satellite de l'EHS en Néphrologie et Transplantation Rénale « المجاهد « المتفى عمار بوشريط à Daksi-Constantine.....	20
Figure 7 : Filtre à sable (Photo prise par Mallem et Aouaichia)	22
Figure 8 : Filtre à charbon actif (Photo prise par Mallem et Aouaichia)	23
Figure 9 : Adoucisseurs (Photo prise par Mallem et Aouaichia).....	23
Figure 10: un placard métallique fermé contient le système d'osmose (Photo prise par Mallem et Aouaichia).	24
Figure 11 : Système d'osmose inverse de la salle Gambro (Photo prise par Mallem et Aouaichia).	25
Figure 12 : La salle d'installation Nipro (Photo prise par Mallem et Aouaichia).....	26
Figure 13 : Adoucisseur duplex avec têtes de contrôle Clack TT (Photo prise par Mallem et Aouaichia)	27
Figure 14 : système d'osmose inverse de la salle Nipro (Photo prise par Mallem et Aouaichia)	28
Figure 15 : Générateurs de type Fresenius 4008S (Photo prise par Mallem et Aouaichia)	
.....	30
Figure 16 : prélèvement a été réalisé au niveau du générateur pour l'analyse de sodium et potassium (Photo prise par Mallem et Aouaichia)	32
Figure 17 : une photo montrant la méthode de transport des échantillons (Photo prise par Mallem et Aouaichia).....	33

Figure 18 : Une photo démonstrative de la méthode du test qualitatif de dureté (Photo prise par Mallem et Aouaichia).....	35
Figure 19 : Prélèvement d'eau au niveau de bâche à eau (Photo prise par Mallem et Aouaichia)	40
Figure 20 : Prélèvement d'eau au point de sortie après l'osmoseur (eau osmosée) de système Nipro (Photo prise par Mallem et Aouaichia)	40
Figure 21 : Prélèvement d'eau au point de sortie après l'osmoseur (eau osmosée) de système Gambio (Photo prise par Mallem et Aouaichia	41
Figure 22 : Prélèvement d'eau au niveau de la boucle de générateur (Photo prise par Mallem et Aouaichia)	41
Figure23 : Variation de la température d'eau osmosée au niveau du système Nipro et générateur.	44
Figure24 : Variation de la conductivité d'eau osmosée au niveau du système Gombro Nipro et générateur.	45
Figure 25 : Concentration en (Na^+) dans l'eau osmosée à la sortie du générateur entre janvier et mai 2025.	45
Figure 26 : Teneur en Potassium (K^+) au niveau d'eau osmosée du générateur.....	46
Figure 27 : Variation de pH d'eau osmosée dans les deux système Gambio et Nipro. ...	47
Figure 28 : Résultat d'un test qualitatif négatif pour la dureté.	48
Figure 29 : Résultat d'un test qualitatif positif pour la dureté.	48
Figure 30 : Valeurs de la dureté mesurées dans les salles d'eau Gambio et Nipro.	49
Figure 31 : Variation du Calcium de l'eau dans les deux salles.....	50
Figure 32 : Variation du magnésium pour l'eau adoucie sur les deux salles.....	51
Figure 33 : variation des nitrates d'eau adoucie au niveau de Nipro et Gambio.	51
Figure 34 : Évolution des teneurs en chlorures dans les deux salles.	52

Figure 35 : Suivi des teneurs en Aluminium dans les deux salles.53

Figure 36 : Les dosages des phosphates pour les deux salles d'eau.....54

Na^+ : Ion sodium

K^+ : Ion potassium

Ca^{2+} : Ion calcium

Mg^{2+} : Ion magnésium

Cl^- : Ion chlorure

NO_3^- : Ion nitrate

PO_4^{3-} : Ion phosphate

Al^{3+} : Ion aluminium

EDTA : Acide éthylène diamine tétra-acétique

pH : Potentiel hydrogène

HD : Hémodialyse

IRCT : Insuffisance rénale chronique terminale

DSP : Direction de la santé publique

PVC : Polychlorure de vinyle

PE : Polyéthylène

L/h : Litres par heure

mg/L : Milligrammes par litre

$\mu\text{g}/\text{L}$: Microgrammes par litre

ppm : Parties par million

UFC/mL : Unités formant colonies par millilitre

UI/mL : Unités internationales par millilitre

TH : Titre hydrotimétrique (dureté de l'eau)

VRBL : Violet Red Bile Lactose (milieu de culture utilisé pour les coliformes)

PCA : Plate Count Agar (milieu de culture utilisé pour le dénombrement des bactéries)

TSA : Trypticase Soy Agar (milieu de culture généraliste)

Clack TT : Tête de contrôle de type Clack pour adoucisseur d'eau

RO : Osmose inverse (Reverse osmosis en anglais)

L'eau est un élément critique en hémodialyse, entrant en contact direct avec le sang des patients souffrant d'insuffisance rénale chronique. Toute altération de sa qualité peut entraîner des risques sanitaires graves. Ce mémoire s'intéresse à l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau utilisée pour l'hémodialyse au sein de l'Établissement Hospitalier Spécialisé (EHS) en Néphrologie et Transplantation Rénale "المجاهد المتوفى عمار بوشريط" situé à Daksi-Constantine.

Cette étude analyse la qualité de l'eau dans deux salles d'hémodialyse équipées de systèmes de traitement distincts : le système Gambro, en service depuis plusieurs années, et le système Nipro, récemment installé. Après une présentation du fonctionnement rénal, des principes de la dialyse et des équipements utilisés, l'analyse s'est focalisée sur les différentes étapes de traitement de l'eau, allant de la filtration à l'osmose inverse.

Des prélèvements ont été effectués à divers points du circuit pour analyser plusieurs paramètres physico-chimiques (pH, dureté, conductivité, sodium, ...) et bactériologiques. Les résultats montrent que les deux systèmes respectent globalement les normes. Toutefois, une valeur de pH légèrement supérieure à la limite fixée par la Pharmacopée Européenne a été observée, bien qu'elle reste dans les seuils acceptés par la norme ISO 23500. Par ailleurs, bien que le système Nipro soit plus récent et plus performant sur le plan technologique, il a donné des résultats moins satisfaisants que Gambro, soulignant l'importance de la maintenance et du suivi dans la performance réelle du traitement de l'eau.

Mots clé : hémodialyse, insuffisance rénale chronique, traitement, Gambro, Nipro, filtration, osmose inverse, paramètres physico-chimiques, bactériologiques.

Abstract

Water is a critical element in hemodialysis, coming into direct contact with the blood of patients suffering from chronic kidney failure. Any alteration in its quality can lead to serious health risks. This thesis focuses on the evaluation of the physicochemical and bacteriological quality of the water used for hemodialysis at the Specialized Hospital Establishment (EHS) in Nephrology and Renal Transplantation "المجاهد المتوفى عمار بوشريط" located in Daksi-Constantine.

This study analyzes the water quality in two hemodialysis rooms equipped with different treatment systems: the Gambro system, in service for several years, and the recently installed Nipro system. After an overview of renal function, the principles of dialysis, and the equipment used, the analysis focused on the different stages of water treatment, from filtration to reverse osmosis.

Samples were taken at various points of the circuit to analyze several physicochemical parameters (pH, hardness, conductivity, sodium ...) and bacteriological parameters. The results show that both systems generally comply with the standards. However, a pH value slightly above the limit set by the European Pharmacopoeia was observed, although it remains within the thresholds accepted by the ISO 23500 standard. Moreover, although the Nipro system is newer and more technologically advanced, it yielded less satisfactory results than Gambro, highlighting the importance of maintenance and monitoring in the actual performance of water treatment.

Keys: hemodialysis, chronic kidney failure, treatment, Gambro, Nipro, filtration, reverse osmosis, physicochemical parameters, bacteriological.

الماء عنصر حيوي في غسيل الكلى، حيث يتلامس مباشرة مع دم المرضى الذين يعانون من الفشل الكلوي المزمن. أي تدهور في جودتها يمكن أن يؤدي إلى مخاطر صحية. يهتم هذا البحث بتقييم الجودة الفيزيائية-الكيميائية والجرثومية للمياه المستخدمة في غسيل الكلى داخل المؤسسة الاستشفائية المتخصصة في أمراض الكلى ووزارة الكلى "المجاهد المتوفى عمار بوشريط" الواقعة في دقسي-قسنطينة.

تُحلل هذه الدراسة جودة المياه في غرفتين لغسيل الكلى مجهزتين بأنظمة معالجة مختلفة: نظام Gambio، الذي يعمل منذ عدة سنوات، ونظام Nipro، الذي تم تركيبه مؤخرًا. بعد عرض وظيفة الكلى ومبادئ الغسيل الكلوي والمعدات المستخدمة ركز التحليل على المراحل المختلفة لمعالجة المياه، بدءاً من الترشيح وصولاً إلى التناضح العكسي.

تمتأخذ عينات في نقاط مختلفة من الدائرة لتحليل عدة معايير فيزيائية وكيميائية (الرقم الهيدروجيني، الصلابة، الموصليّة، الصوديوم، ...) وميكروبولوجية. تُظهر النتائج أن النظمتين يلتزمان بشكل عام بالمعايير. ومع ذلك، تم ملاحظة قيمة pH أعلى قليلاً من الحد المحدد من قبل الصيغة الأوروبية، على الرغم من أنها تبقى ضمن الحدود المقبولة وفقاً لمعايير ISO 23500. علاوة على ذلك، على الرغم من أن نظام Nipro أحدث وأكثر كفاءة من الناحية التكنولوجية، إلا أنه حق نتائج أقل رضا مقارنة بنظام Gambio، مما يبرز أهمية الصيانة والمتابعة في الأداء الفعلي لمعالجة المياه.

الكلمات المفتاحية: غسيل الكلى، الفشل الكلوي المزمن، العلاج، Gambio، Nipro، الترشيح، التناضح العكسي، المعايير الفيزيائية، والكيميائية، البكتريولوجي.

Liste des tableaux**Liste des figures****Liste des abbreviations****Résumés****Introduction**.....**1****Chapitre 1 : Synthèse Bibliographique**

1.1 Insuffisance rénale et dialyse.....	3
1.1.1 Les reins	3
1.1.2 Le mécanisme de fonctionnement des reins	3
1.1.3 Fonctions principales des reins	4
1.1.4 L'insuffisance rénale.....	4
1.1.5 La dialyse.....	5
1.1.5.1 Le matériel d'hémodialyse.....	5
1.1.6 Les principales complications courantes de l'hémodialyse	8
1.2 L'eau en hémodialyse	9
1.2.1 Historique	9
1.2.2 Objectifs du traitement de l'eau.....	10
1.2.3 Importance de la qualité de l'eau en hémodialyse	11
1.2.4 Normes physico-chimiques et microbiologiques de l'eau en hémodialyse	11
1.2.4.1 Contaminants inorganiques solubles	11
1.2.4.2 Contaminants solubles organiques	15
1.2.4.3 Bactéries et substances pyrogènes.....	16
1.2.5 Contexte réglementaire dans le cas de l'Algérie	17
1.2.6 Les principaux procédés de traitement de l'eau	17
1.2.7 Comment réagir en cas de non-conformité ?	19
1.2.8 Modalités de surveillance in situ de l'installation	19

Chapitre 2 : Matériel et méthodes

2.1 Cadre institutionnel du lieu d'étude	20
2.2 Déroulement de l'étude.....	21
2.3 Identification de la salle d'eau.....	21
2.3.1 Alimentation en eau	21
2.3.2 La salle d'installation Gambio.....	22
2.3.2.1 Les colonnes de traitement	22
2.3.2.2 Cuve de saumure	24
2.3.2.3 Filtration complémentaire	24
2.3.2.4 Osmoseur	24
2.3.2.5 État de la salle.....	25
2.3.3La salle d'installation Nipro.....	25
2.3.3.1 Les colonnes de traitement	26
2.3.3.2 Cuve de saumure.....	27
2.3.3.3 Filtration complémentaire	28
2.3.3.4 Osmoseur	28
2.3.3.5 État de la salle.....	29
2.4 Service d'hémodialyse.....	29
2.5 Types d'eaux étudiées	30
2.5.1 L'eau de la bâche à eau.....	30
2.5.2 L'eau adoucie	31
2.5.3 L'eau osmosée.....	31
2.6 Contrôle de la qualité de l'eau	31
2.6.1 Paramètres physico-chimiques.....	31
2.6.1.1 Matériel utilisé.....	31
2.6.1.2 Méthodes de prélèvement	31
2.6.1.3 Méthode d'analyse	33

2.6.2 Paramètres bactériologiques	39
2.6.2.1 Matériel utilisé.....	39
2.6.2.2 Méthode de prélèvement.....	39
2.6.2.3 Méthode d'analyse	42

Chapitre 3 : Résultat Et Discussion

3.1 Résultat des analyses physico-chimiques.....	43
3.1.1 La température	43
3.1.2 La conductivité.....	44
3.1.3 Le sodium	45
3.1.4 Le potassium.....	46
3.1.5 Le pH	46
3.1.6 La dureté.....	47
3.1.7 Le calcium.....	49
3.1.8 Le magnésium	50
3.1.9 Les nitrates	51
3.1.10. Chlorures	52
3.1.11 L'aluminium.....	52
3.1.12 Les phosphates	53
3.2 Résultat des analyses bactériologiques	54
3.2.1 Les coliformes totaux	54
3.2.2 Les coliformes thermo-tolérants	55
3.3 Comparaison entre l'équipement de marque Nipro et Gambro.....	55
Conclusion	55
Bibliographie.....	56

L'eau est une matière importante à la vie sur terre, présente dans notre biosphère, elle est le moteur des équilibres biologiques, chimiques et physiques de l'environnement. Cette matière recouvre de manière quasi ubiquitaire la surface du globe et fait partie intégrante de tous les milieux de vie, l'eau présente une partie significative de la biomasse, généralement comprise entre 65 % et 80 % donc l'eau est le principal véhicule de l'énergie auxiliaire (Frontier et al.2004).

L'eau est indispensable à la survie humaine et au progrès des sociétés modernes, elle intervient dans de nombreux domaines : elle garantit l'approvisionnement en eau potable, alimente les installations industrielles, soutient l'agriculture via l'irrigation, permet la pêche et l'exploitation des centrales hydroélectriques, et participe aux activités de loisirs telles que la baignade (**A. KETTAB**). L'eau joue également un rôle crucial dans le domaine médical, notamment pour des traitements vitaux comme l'hémodialyse.

Lorsque la fonction rénale est altérée au point de ne plus assurer que 10 à 15 % de sa capacité (maladie rénale chronique stade 5 ou IRC terminale), ils ne parviennent plus à éliminer efficacement les déchets et l'excès d'eau du corps. A ce stade de MRC, le traitement médical n'est plus adapté et le patient a besoin de dialyse soit une hémodialyse soit une dialyse péritonéale. L'entrée en dialyse est généralement indiquée lorsque le taux de créatinine sanguine dépasse 80 mg/L (**Niang et al. 2015**).

L'Hémodialyse (HD) est la méthode la plus fréquente et la plus connue pour traiter l'IRCT. Ce traitement repose largement sur l'utilisation d'une eau de qualité adaptée afin de permettre l'épuration du sang.

La qualité de l'eau utilisée en hémodialyse répond à des exigences strictes, selon deux principes fondamentaux : d'une part, la solution diluée doit adhérer à des critères physico-chimiques spécifiques, et d'autre part, l'eau doit être entièrement sans danger pour le patient à chaque phase de sa préparation et de son utilisation. Pour garantir cet objectif, l'eau de dialyse doit subir un traitement rigoureux qui assure une production continue d'eau conforme aux normes requises pendant toute la durée de la séance. Cette eau doit répondre aux critères physico-chimiques, bactériologiques et endotoxiniques fixés par les exigences algériennes, la Pharmacopée Européenne et par les standards internationaux, tels que les normes ISO 23500 relatives à l'eau pour hémodialyse.

Dans le cadre de notre étude, nous avons voulu approfondir notre savoir théorique à travers une démarche pratique, visant à évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau destinée à l'hémodialyse et à mieux comprendre les différentes étapes de son traitement, plus de permettre une comparaison précise entre les dispositifs de traitement d'eau installés au niveau des salles étudiées.

Le présent travail est subdivisé en trois chapitres

- Le premier chapitre englobe des généralités sur l'insuffisance rénale et le dialyse.
- Le second, comprend tous ce qui concerne le matériel et méthode de l'étude.
- Le troisième chapitre consiste à présenter et analyser les résultats.

Chapitre 1 : Synthèse Bibliographique

1.1 Insuffisance rénale et dialyse

1.1.1 Les reins

Les reins sont des organes bilatéraux de forme haricot, se trouvent à la partie postérieure et supérieure de l'abdomen, de part et d'autre de la colonne vertébrale.

Ils sont protégés des traumatismes par les dernières côtes. Chez un adulte, chaque rein a une longueur approximative de 10 cm, une largeur de 6 cm et une épaisseur de 4 cm, avec un poids variant entre 150 et 170 grammes (**Niang et al. 2015**).

1.1.2 Le mécanisme de fonctionnement des reins

Les reins renferment plus d'un million de néphrons, qui constituent l'unité de filtration propre au rein. Chaque néphron est relié à un tubule. Lorsque le sang passe à travers les néphrons, il est filtré pour éliminer les résidus et l'excès d'eau. L'urine est formée par les déchets métaboliques et l'eau qui atteignent les tubules.

Par la suite, les tubules vont concentrer l'urine en extrayant l'eau et en la renvoyant dans le sang. Finalement, l'urine est dirigée vers les calices et le bassinet, ensuite à travers les uretères pour être stockée dans la vessie. Quand la vessie est remplie, l'urine est évacuée hors du corps à travers l'urètre (**figure 1**) ci-dessous pour une représentation de ces structures [1].

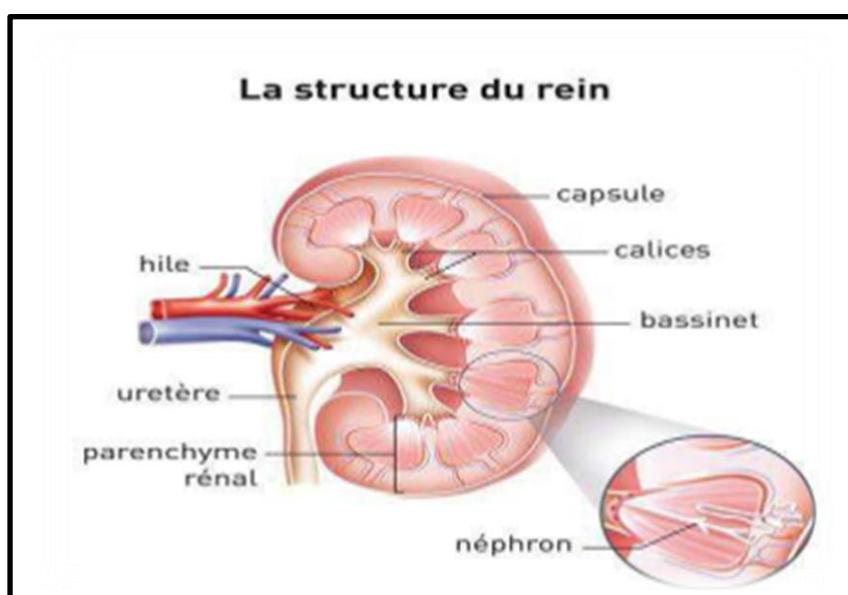


Figure.1 : Coupe anatomique d'un rein (**Florian.2011**).

1.1.3 Fonctions principales des reins

Toutes les fonctions assurées par les deux reins peuvent être exercées de manière adéquate par un seul rein sain. Les fonctions des reins comprennent les suivantes :

- Équilibre en eau et en minéraux :

Les reins maintiennent l'équilibre de l'eau et des électrolytes dans le corps. Les glomérules filtrent environ 180 litres de liquide quotidiennement, cependant seule une infime partie (entre 1,5 et 2%) est évacuée en tant qu'urine. Dans différentes parties du néphron, la plus grande partie de l'eau et des électrolytes est réabsorbée. Ce processus est régulé par des mécanismes actifs et par des hormones, dont l'hormone antidiurétique, qui régule la concentration définitive de l'urine (**Glenn & Preminger, 2023**).

- Filtration et excrétion

Durant le processus métabolique des aliments, l'organisme produit divers déchets qui nécessitent une élimination. L'urée, qui provient du métabolisme des protéines, est un des principaux déchets. Elle passe à travers le glomérule et est éliminée dans l'urine, vu qu'il n'y a pas de réabsorption. Des composés indésirables, tels que certains acides, médicaments et toxines, sont activement sécrétées dans les tubules rénaux (**Glenn & Preminger, 2023**).

- Régulation de la tension artérielle

Les reins assurent un rôle crucial dans la régulation de la tension artérielle, particulièrement à travers l'élimination de l'excès de sodium. Si l'excrétion est insuffisante, la pression artérielle s'élève. De plus, ils libèrent la rénine, une enzyme qui stimule le système rénine-angiotensine-aldostérone, qui entraîne une augmentation de la tension artérielle. L'urotensine, qui induit la vasoconstriction, est également produite par les reins. Lorsqu'il y a une insuffisance rénale, ce contrôle est perturbé, ce qui favorise l'hypertension (**Glenn & Preminger, 2023**).

- Sécrétion hormonale

Grâce à leurs sécrétions hormonales, les reins contribuent à des fonctions vitales comme la production de globules rouges et la santé des os. Ils sécrètent :

- L'érythropoïétine : stimule la production des globules rouges par la moelle osseuse
- La vitamine D : favorise l'absorption intestinale de calcium pour le développement et le maintien du squelette (**Glenn & Preminger, 2023**).

1.1.4 L'insuffisance rénale

L'insuffisance rénale correspond à l'altération du fonctionnement des deux reins au point où ils ne peuvent pas filtrer le sang correctement.

On considère une maladie d'aiguë lorsque le dysfonctionnement rénal est temporaire et réversible. Tandis qu'on la désigne comme chronique si elle entraîne une destruction irréversible sans possibilité de guérison. Dans ce cas, la maladie peut être stabilisée. La fonction des reins peut être remplacée par des traitements de suppléance tels que la dialyse ou la transplantation. La dialyse permet de filtrer le sang à l'aide d'un circuit secondaire, généralement situé hors du corps (**Coresh et al. 2005**).

1.1.5 La dialyse

D'origine grecque, signifiant séparer, dissoudre. Le traitement des maladies rénales avancées se caractérise par l'utilisation d'une méthode mécanique d'élimination des déchets et de l'excès d'eau présents dans le sang. Il en existe deux types principaux :

- la dialyse péritonéale : permet l'élimination des déchets et de l'eau en excès du corps en utilisant la cavité péritonéale à l'intérieur de votre abdomen pour purifier votre sang.
- L'hémodialyse : signifie « purifier le sang », et c'est précisément l'effet de ce traitement. Un appareil retire le sang du corps et le fait passer par un rein artificiel (dialyseur). On appelle le « rein artificiel » ainsi parce qu'il a pour fonction de purifier le sang, bien qu'il ne le fasse pas aussi efficacement que des reins sains. Le sang épuré est par la suite retourné dans votre corps (**figure 2**)**(Fondation Canadienne du Rein, 2022)**.

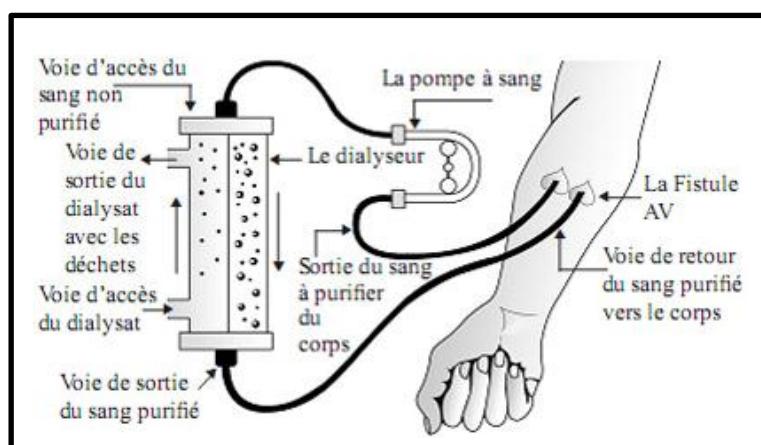


Figure 2: Le processus de l'hémodialyse (**Abdou Niang et al. 2015**).

1.1.5.1 Le matériel d'hémodialyse

Le matériel de l'hémodialyse comprend le dialyseur à usage unique, le générateur de bain de dialyse et ses dispositifs de contrôle.

a. Dialyseur

Le dialyseur (rein artificiel) est composé d'une membrane semi-perméable et des structures de support, facilite l'échange entre le sang et le dialysat à travers des ouvertures d'entrée et de sortie séparées (**figure 3**).

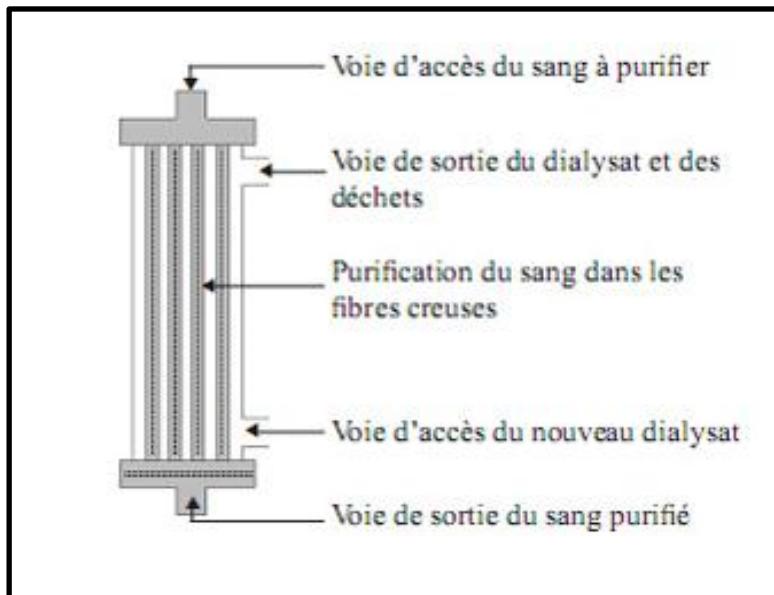


Figure 3 : Les différentes parties de dialyseur (**Abdou Niang et al .2015**).

On distingue trois catégories de membranes :

- Les membranes cellulosiques (ex le cuprophane) .
- Les membranes non substituées à base de cellulose (telles que l'acétate de cellulose).
- Les membranes synthétiques (comme le PAN, le polysulfone, le PMMA) : permettant une ultrafiltration plus poussée.

Il existe deux types de dialyseurs :

- Dialyseur en plaques : peu utilisés.
- Dialyseur en fibre creuse : devenus les plus courants en raison de leur efficacité pour éliminer les petites molécules comme l'urée (**Remy & Rostoker, Mai 1997**).

b. Générateur de bain de dialyse

Le générateur (**figure 4**) de dialyse produit le dialysat en diluant une solution concentrée avec de l'eau traitée, à l'aide de pompes proportionnelles. Le dialysat obtenu est ensuite chauffé à la température corporelle et cette température est conservée de manière constante. Des dispositifs surveillent en continu l'osmolalité et l'absence de fuite sanguine dans le dialysat. En mode

circuit ouvert, on consomme approximativement 0,5 L/min de liquide, ce qui représente près de 120 L pour une session de 4 heures (**Remy & Rostoker, 1997**).

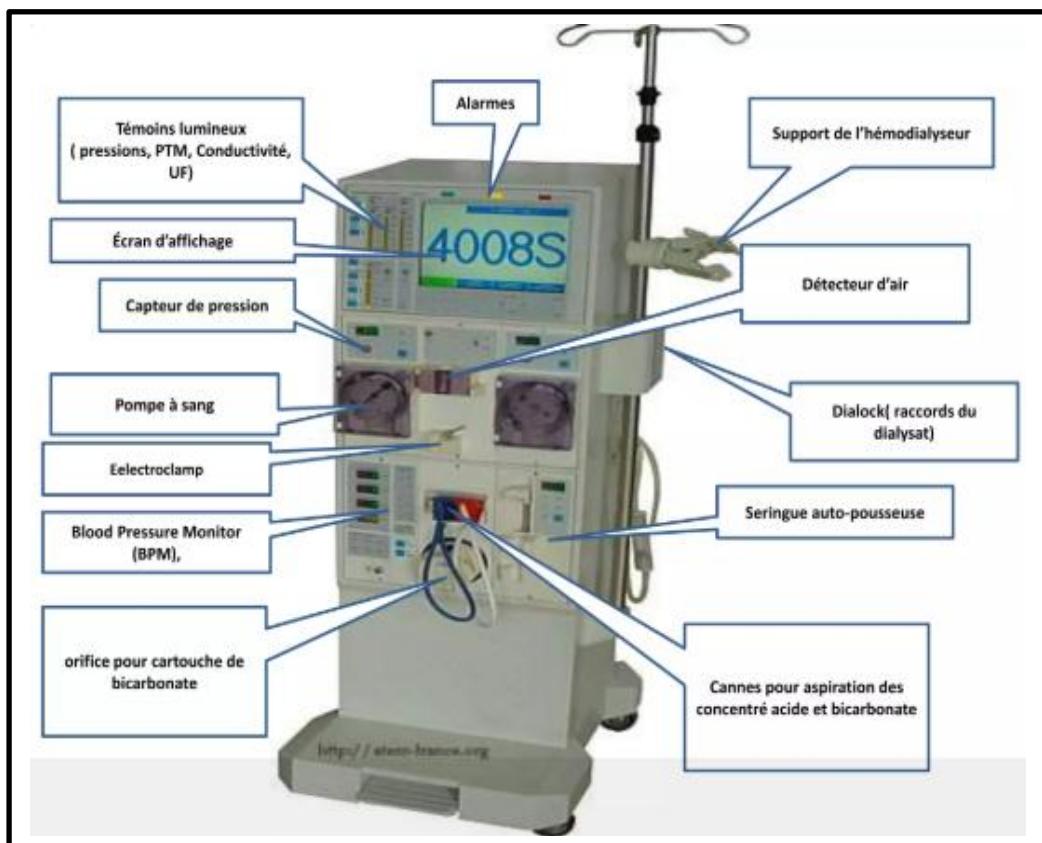


Figure 4 : Générateur de dialyse (**Khalfaoui, 2013**).

Le système de circulation sanguine comprend deux lignes essentielles :

- La ligne artérielle achemine le sang du patient vers le dialyseur.
- La ligne veineuse ramène le sang dialysé du dialyseur vers le patient , (elle comporte un piège à bulles et à fibrine).

Le dialysat en lui-même est une solution stérile dont la composition ionique se correspond de celle du liquide extracellulaire, à l'exception des déchets métaboliques à évacuer. La concentration de chaque électrolyte peut être variable d'un dialysat à un autre :

- Le sodium : comprise entre 145-150 mmol/l, cette concentration est essentiel pour éviter les hyponatrémies chroniques et l'hyperhydratation intracellulaire (**Remy & Rostoker, 1997**).
- Le potassium : à une concentration de 1 à 2 mmol/L pour assurer son élimination entre les séances de dialyse. Pour les patients cardiaques ou en traitement à base de digitaline, il

peut être nécessaire d'obtenir des niveaux plus élevés (atteignant parfois 3 ou 4 mmol/L) pour éviter des hypokaliémies sévères responsable de troubles du rythme cardiaque en cours de séance de dialyse (**Remy & Rostoker, 1997**).

- Le calcium ça teneur varie entre 1,5 et 1,9 mmol/L. Une concentration plus faible de 1,25 mmol/l est utilisée lors de la prescription de vitamine D intra veineuse (**Remy & Rostoker, 1997**).
- Choix du tampon acétate ou bicarbonate : L'acétate de sodium, simple à préparer et à stériliser, est coûteux. Mais, il est responsable de réaction d'intolérance ou d'instabilité hémodynamique. Le bicarbonate est généralement mieux accepté, chez les patients âgés souffrant de troubles cardiovasculaires majeurs, d'une hémodynamique instable, ou d'une insuffisance hépatique (**Remy & Rostoker, 1997**).
- Le glucose : chez les diabétiques, il est souhaitable d'utiliser un bain contenant 2 g/l de glucose (**Remy & Rostoker, 1997**).
- Le magnésium : une teneur de 0,75 mmol/L de magnésium dans le dialysat est adéquate pour corriger une hypermagnésémie de niveau modéré. Il n'est pas conseillé d'utiliser un dialysat sans magnésium, même en cas d'une hypermagnésémie sévère, en raison de son impact clinique limité et du danger de troubles du rythme cardiaque associés à une chute brutale du taux de magnésium (**Jacquet et al. 2005**).

1.1.6 Les principales complications courantes de l'hémodialyse

L'hémodialyse peut entraîner plusieurs complications qui peuvent survenir pendant ou en dehors de traitement (**tableau 1**).

Tableau 1 : complications courantes de l'hémodialyse (**Glenn & Preminger, 2023**).

Complication	Cause habituelle
Fièvre	Présence des bactéries et d'autres substance dans le sang.
Anaphylaxie	Réaction allergique à une substance qui trouve dans le dialyseur ou la tubulure qui porte le sang ou aux médicaments utilisés .
Hypotension artérielle	Élimination d'une quantité excessive de liquide .
Irrégulation du rythme cardiaque	Excès du potassium et d'autre substances dans le sang.
Embolie gazeuse	Présence des bulles d'air dans le tubulre qui transporte le sang .
Hémorragie intestinale, cérébrale, oculaire ou abdominale	Utilisation d'une quantité excessive d'héparine pour prévenir la coagulation dans l'appareil.
Infection	Pénétration des bactéries via une aiguille introduite dans les veines pour accès hémodialytique.
Crampes	changements rapides dans la quantité ou la distribution des liquides ou des sels de l'organisme

1.2 L'eau en hémodialyse

1.2.1 Historique

Les standards de qualité requis pour les eaux utilisées dans la préparation des solutions pour hémodialyse ont constamment évolué vers une rigueur accrue, en raison des avancées de la biotechnologie utilisant cette eau :

- Évolution dans les compositions des dialysats (introduction généralisée des bains au bicarbonate).
- Évolution des membranes de dialyse (dialyseurs avec un seuil de coupure moléculaire supérieur et plus perméables aux grandes molécules, y compris les éventuelles endotoxines).
- Amélioration des méthodes (dialyseurs jetables, administration parentérale de fractions de bain comme lors de l'hémofiltration, etc.) (**Bossard & Métayer, 2020**).

Avant 1980, les efforts en hémodialyse se concentraient sur la purification de l'eau afin d'ôter les impuretés particulières et minérales, principalement pour éviter le dépôt de calcium et l'obstruction des appareils. Le but principal était de garantir la stabilité chimique du dialysat, notamment en contrôlant les électrolytes tels que le calcium. On a accordé une attention spéciale à l'élimination de composés toxiques tels que les métaux lourds (notamment l'aluminium), les nitrates, le fluor et les dérivés chlorés, compte tenu de leurs impacts délétères sur les patients. On retrouvait ces exigences au sein des recommandations des pharmacopées. Depuis les années 1970-1980, le sujet de la pollution biologique de l'eau commence à se faire entendre, grâce à une reconnaissance croissante des dangers associés aux endotoxines et à l'expansion bactérienne dans les systèmes de traitement et les réseaux d'approvisionnement. Cette période indique le commencement de l'incorporation des savoirs en écologie bactérienne dans la gestion de la qualité de l'eau pour l'hémodialyse (**Bossard & Métayer, 2020**).

1.2.2 Objectifs du traitement de l'eau

L'eau utilisée en hémodialyse, considérée comme un médicament, doit se conformer à diverses exigences :

- ✓ Maintien de la stabilité physico-chimique de la solution diluée
- ✓ Pas d'effet toxique pour le patient
- ✓ Excellentes propriétés bactériologiques et pyrogéniques.

Les buts principaux de la bactériologie dans une station de purification de l'eau sont :

- ✓ Supprimer les bactéries contenues dans l'eau non traitée
- ✓ Prévenir la recontamination bactérienne du système
- ✓ Inhiber la croissance des bactéries
- ✓ Générez une eau de qualité bactériologique qui correspond à l'utilisation finale.

(**Collin & Detalminil, 2005**).

1.2.3 Importance de la qualité de l'eau en hémodialyse

L'eau destinée à l'hémodialyse doit posséder une qualité exceptionnelle. La qualité du dialysat est cruciale pour l'efficacité et la sécurité de l'hémodialyse, en raison de l'importance des échanges entre ses solutés et le sang du patient à travers une membrane de dialyse d'une épaisseur de quelques microns. Il est donc essentiel de s'assurer que cette qualité soit perfectionnée (**Mime et al. 2016**).

De plus, le processus de purification se base essentiellement sur un phénomène de diffusion, qui facilite le passage des déchets métaboliques et des électrolytes sanguins vers le fluide de dialyse. Toutefois, cette diffusion peut aussi se faire à sens inverse, exposant ainsi le patient à un danger toxique et/ou infectieux, qu'il soit aigu ou chronique. L'intensité et la rapidité d'apparition de ces complications sont directement liées à la qualité et au niveau de concentration des impuretés contenues dans le dialysat. L'eau joue un rôle majeur dans le phénomène de bio-incompatibilité, car sa qualité affecte les interactions entre le sang et les membranes synthétiques. Une purification incomplète de l'eau pourrait aggraver ce déséquilibre, augmentant chez les patients hémodialysés chroniques le risque d'apparition de pathologies dites iatrogènes qui ne sont pas toujours associées à l'insuffisance rénale, telles que les maladies cardiovasculaires ou certains cancers (**Dahri, 2012**).

1.2.4 Normes physico-chimiques et microbiologiques de l'eau en hémodialyse

Au cours d'une phase de qualification de trois mois, les analyses physico-chimiques sont tout d'abord effectuées en profondeur et tous les mois. Par la suite, elles sont menées régulièrement en suivant des protocoles simplifiés. Des éléments tels que le calcium et les résidus de désinfection font l'objet d'une surveillance particulière en raison de leur capacité à contaminer (**tableau 2**). Les normes microbiologiques exigent des contrôles mensuels, incluant des cultures sur des milieux spécifiques et une détection d'endotoxines. L'adhésion à ces critères repose sur un programme de contrôle qualité strict, ayant pour objectif de garantir des performances constantes du système de traitement (**Pereira, 1995**).

1.2.4.1 Contaminants inorganiques solubles

a. Les cations

- Sodium et potassium :

Les résines échangeuses d'ions saturées peuvent libérer une quantité considérable de sodium et de potassium, qui sont à l'origine de complications graves : hypertension artérielle, œdème

pulmonaire, vomissements, confusion, tachycardie, tachypnée, coma et décès (**Collin & Detalminil, 2005**).

- Magnésium et calcium :

Le syndrome de « l'eau dure », qui se manifeste par des nausées, vomissements, bouffées de chaleur, hypertension ou hypotension et myalgie, est causé par le calcium et le magnésium (**Collin & Detalminil, 2005**).

b. Les anions:

- Chlore

Le chlore, qu'il soit sous forme minérale (hypochlorite) ou organique (chloramines), altère l'hémoglobine, entraînant une hémolyse, une anémie hémolytique et une méthémoglobinémie. Le danger persiste, car les services de santé municipaux pourraient être contraints d'augmenter la teneur en chlore de l'eau du réseau (**Collin & Detalminil, 2005**).

- Fluor

On ajoute fréquemment du fluor à l'eau urbaine pour prévenir les caries dentaires. C'est l'un des polluants les plus difficiles à contrôler. Les patients courrent un risque d'ostéomalacie, d'ostéoporose et autres affections osseuses ; les critères sont extrêmement stricts (**Collin & Detalminil, 2005**).

- Nitrates

La principale source de nitrates provient des fertilisants. Ils sont responsables de la méthémoglobinémie accompagnée de cyanose, hypotension et nausées lorsqu'ils sont transformés en nitrites (**Collin & Detalminil, 2005**).

- Sulfates

Une concentration élevée de sulfates peut endommager les canalisations et engendrer ainsi une accumulation toxique, combinant leur propre toxicité (nausées, vomissements, acidose métabolique) à celle des métaux lourds libérés par les tuyaux (**Collin & Detalminil, 2005**).

- Phosphates :

Lorsque le taux de phosphate est élevé on observe une hyperphosphatémie chez les patients atteints d'insuffisance rénale. La limite autorisée dans l'eau pour l'hémodialyse est largement

inférieure à la limite toxique, afin de favoriser le passage des phosphates dans le bain de dialyse (**Collin & Detalminil, 2005**).

- Aluminium

L'eau de ville contient une quantité considérable d'aluminium, utilisé comme agent de flocculation. Avant d'être mise en cause, elle a été à l'origine de nombreuses démences et encéphalopathies mortelles chez les patients sous hémodialyse (**Collin & Detalminil, 2005**).

- Cuivre

Les canalisations et les générateurs d'hémodialyse peuvent libérer du cuivre sous l'influence de l'eau acide. Cela peut entraîner des nausées, des céphalées, des frissons, des hépatopathies et des hémolyses mortelles. Aucune norme spécifique (**Collin & Detalminil, 2005**).

- Zinc

Le zinc peut être libéré par les conduites dites « acier inoxydable », sous l'effet de l'eau acide. Il induit des nausées, des vomissements, de la fièvre et une anémie (**Collin & Detalminil, 2005**).

- Oligoéléments

Des oligoéléments tels que le cadmium, le manganèse, le strontium et le fer se concentrent dans les tissus des patients sous hémodialyse. On ne connaît pas encore les conséquences cliniques (**Collin & Detalminil, 2005**). La population sous dialyse est un sujet de recherche intensif, cependant tout phénomène observé n'est pas nécessairement défavorable. Par conséquent, une personne jugée en bonne santé, avec une espérance de vie standard, accumule différentes substances « étrangères », qu'il est impossible de transformer ou d'éliminer (**Collin & Detalminil, 2005**).

- Ammoniaque

La présence d'ammoniaque n'a jamais été à l'origine d'incident chez le dialysé. Elle peut surtout entraîner le développement de germes (**Collin & Detalminil, 2005**).

Tableau 2 : Qualité physico-chimique de l'eau de dialyse (Dorez & Soule, 2009).

Analyse	Limite	Effets secondaires	Fréquence analyse	
			De base	Approfondie
Conductivité	< 4 µs/cm		Continue	
TH			Quotidien	
PH	4,4-7,4		Mensuelle	
Carbone organique	< 0,8 mg/l		Mensuelle	
Sodiurn	< 50 mg/l	HTA, œdème pulmonaire	Mensuelle	
Potassium	< 2 mg/l		Mensuelle	
Calcium	< 2 mg/l	Syndrome de l'eau dure	TH quotidien	
Magnésiurn	< 2 mg/l	Flush, myalgies, vomissements	Mensuelle	
Chlore	< 0,1 mg/l	Anémie hémolytique aiguë méthémoglobin	Continue	
Nitrates	< 2 mg/l	Méthémoglobin	Mensuelle	
Aluminium	< 10 µg/l	Vomissements, fièvre, anémie hémolytique	Mensuelle	
Fluorures	< 0,2 mg/l			Trimestrielle
Ammonium	< 0,2 mg/l			Trimestrielle

Nitrites	< 0,005 mg/l		Trimestrielle
Sulfates	< 50 mg/l		Trimestrielle
Orthophosphates	< 5 mg/l		Trimestrielle
Zinc	< 100 µg/l		Trimestrielle
Plomb	< 5 µg/l		Trimestrielle
Mercure	< 1 µg/l		Trimestrielle
Fer	< 100 µg/l		Trimestrielle
Cuivre	< 100 µg/l		Trimestrielle
Cadmium	< 1 µg/l		Trimestrielle
Étain	< 100 µg/l		Trimestrielle
Manganèse	< 100 µg/l		Trimestrielle

1.2.4.2 Contaminants solubles organiques

Les substances organiques solubles, tels que les acides humiques et fulviques dérivés de la décomposition de la matière végétale, ont le potentiel d'obstruer les dispositifs de purification des eaux du fait de leur caractère colloïdal et de leur propension à se combiner avec certains métaux. Dans le cadre de l'hémodialyse, leur évacuation peut s'avérer compliquée, en

particulier lorsque les systèmes de distribution sont surchargés. En dépit des traitements par charbon actif et osmose inverse, une petite proportion de ces substances peut demeurer dans l'eau. Cependant, leur présence n'est pas considérée, pour l'instant, comme un danger avéré pour les patients (**Barnoux & al. 2015**).

1.2.4.3 Bactéries et substances pyrogènes

Même après traitement, l'eau destinée à l'hémodialyse peut renfermer des bactéries et des pyrogènes. Le danger majeur ne réside pas dans la présence de bactéries vivantes, mais plutôt dans l'existence de substances pyrogènes dérivées de bactéries inanimées ou de biofilms présents dans les circuits. Plusieurs éléments influencent la formation de ces biofilms, tels que la contamination par des bactéries, l'état des conduits et l'existence de nutriments. Pour assurer une bonne qualité de l'eau, il est indispensable de mettre en œuvre des procédures rigoureuses de nettoyage et de désinfection. Le but est de produire une eau véritablement apyrogène, essentielle pour la sécurité des patients (**Barnoux et al. 2015**). Pour garantir une eau pure, sans contaminations biologiques, il faut respecter les exigences strictes et rigoureuses (**tableau 3**).

Tableau 3 : Pureté microbiologique de l'eau pour hémodialyse (Dorez & Soule ,2009)

Niveaux maxima	Pharmacopée européenne	
	Eau dialyse	Eau ultrapure
Compte de germe unités	100 UFC/ml	< 0,1 UFC/ml
Pseudomonas aeruginosa		
Endotoxine UI/ml	< 0,25	< 0,03
Site prélèvement	Départ boucle/générateur retour boucle	Point piquage
Fréquence validation	Hebdomadaire sur trois mois	Hebdomadaire sur trois mois
Fréquence routine	Mensuelle	Mensuelle

1.2.5 Contexte réglementaire dans le cas de l'Algérie

Selon l'arrêté du 28 avril 2002, publié dans le Journal Officiel n°30, les conditions particulières d'ouverture et de fonctionnement des centres d'hémodialyse sont établies, incluant des directives pour la qualité de l'eau : des analyses physico-chimiques (calcium, aluminium, etc.) et bactériologiques doivent être effectuées par un laboratoire certifié.

Les normes requises pour l'eau utilisée en hémodialyse sont :

- 2 mg/l pour le calcium.
- 1,2 mg/l pour le magnésium.
- 0,01 mg/5 pour l'aluminium.
- 5 mg/l pour les sulfates.
- 0,2 mg/l pour les nitrates.
- 0,5 mg/l pour les fluorures.
- 0,2 mg/l pour l'ammonium.
- 5 mg/l pour le sodium.
- 2 mg/l pour le potassium.
- 50 mg/l pour les chlorures.
- 0,05 mg/l pour le zinc.
- 0,1 mg/l pour l'étain.
- 0,004 mg/l pour le mercure.

Malgré cela, en Algérie, il n'existe pas de texte national unique structurant les normes concernant l'eau de dialyse (**JORA, 2002**), ce qui incite les établissements à se référer aux standards internationaux (**Pharmacopée Européenne, ISO 23500**) pour assurer la sécurité des patients.

1.2.6 Les principaux procédés de traitement de l'eau

Avant toute opération, il est impératif d'installer un mécanisme de déconnexion (disconnecteur ou clapet anti-retour) pour prévenir toute contamination du système d'eau potable due à un éventuel reflux. Afin de restreindre la croissance d'algues, il faut protéger les zones soumises à la lumière et organiser des collectes d'échantillons sans engendrer de régions stagnantes. Dans les chaînes de traitement ou de prétraitement (**figure 5**), les méthodes couramment employées sont:

a) Filtration

Elle préserve les installations en retenant les particules. Son efficacité repose sur la surveillance du colmatage (par exemple, à l'aide de manomètres) et sur une application stricte des procédures d'entretien, de nettoyage et de changement des filtres (**Julien, 2022**).

b) Charbon actif

Utilisé pour l'élimination des composés organiques et des résidus chlorés tels que les THM, les chloramines et les pesticides. Son efficacité est tributaire de la quantité de charbon, de la régularité du changement et de la surveillance de la prolifération bactérienne (**Julien, 2022**).

c) Adoucissement par résines échangeuses d'ions

Ce processus permet de supprimer le calcium et le magnésium en les substituant au sodium, dans le but de préserver les membranes osmotiques. Il est nécessaire d'utiliser des résines de haute gamme, approuvées pour le traitement de l'eau destinée à la consommation humaine, et conformes aux normes en vigueur (telles que la norme AFNOR T 90-612 pour le sel de régénération). Avec le temps, leur performance peut se détériorer (encrassement, usure), ce qui exige une maintenance fréquente, un remplacement régulier et une régénération traçable, sans association avec des résines d'usage industriel (**Julien, 2022**).

d) Osmose inverse

Ce procédé s'appuie sur l'emploi d'une membrane semi-perméable pour se débarrasser de la plupart des sels, des résidus organiques et des micro-organismes. Sous l'effet d'une pression intense exercée par une pompe, l'eau passe à travers la membrane alors que les substances concentrées sont éliminées. La qualité de l'eau obtenue par osmose est principalement déterminée par la qualité du prétraitement, la température de l'eau et la pression appliquée. Un conductimètre offre la possibilité de surveiller en permanence la qualité de l'eau produite (**Kunegel, 2013**).

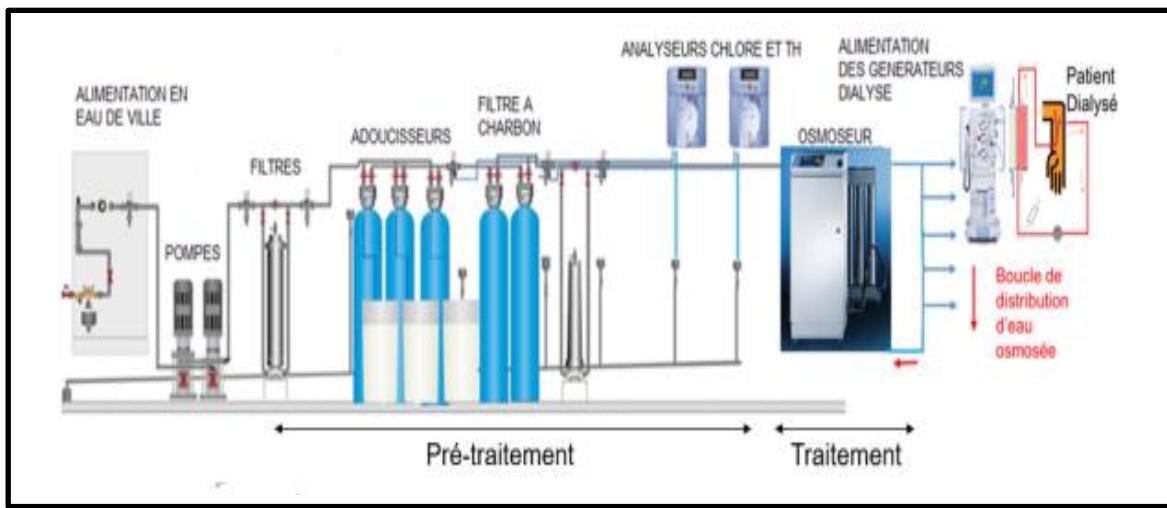


Figure 5 : Schéma d'installation de traitement d'eau pour dialyse (Julien, 2022).

1.2.7 Comment réagir en cas de non-conformité ?

Lors de la dialyse, si des réactions cliniques telles que la fièvre, les frissons ou l'hypotension se produisent de manière inhabituelle, il est primordial d'exclure en premier lieu toute cause liée au patient en cas de non-conformité. En cas d'incidents qui se produisent exclusivement pendant la dialyse ou chez plusieurs patients consécutifs, il est nécessaire de procéder à des analyses microbiologiques du liquide de dialyse ou du fluide de réinjection. Le processus d'assurance qualité doit établir les niveaux d'alerte et les mesures correctives appropriées, qui peuvent varier de simples vérifications à l'élimination totale de l'eau de dialyse (JORF, 2002).

Si une dérive microbiologique ou endotoxique se produit, il est conseillé de :

- Vérifier la validité des échantillons,
- Contrôler les opérations de désinfection et de maintenance,
- Suspendre la réinjection en ligne si nécessaire,
- Convoquer une cellule de crise pluridisciplinaire,
- Élargir les prélèvements pour identifier la source de contamination,
- Réaliser les réparations requises.

Comme ultime option, on peut considérer l'interruption complète de la dialyse, en mettant en place une alternative telle que l'hémofiltration (JORF, 2002).

1.2.8 Modalités de surveillance in situ de l'installation

Un protocole de surveillance in situ de l'installation doit être établi par la personne chargée de l'exploitation de la filière de traitement. Le protocole porte au moins sur les points suivants:

- ✓ L'identification et la signification des informations issues des dispositifs de mesure intégrés aux appareils de traitement ou placés sur le circuit hydraulique.
- ✓ La mise en place d'un programme de surveillance analytique.
- ✓ La mise à jour du carnet de bord :
 - Les paramètres de fonctionnement relevés quotidiennement
 - Les opérations de maintenance
 - Les modifications des réglages
 - Les résultats des analyses, les dates des prélèvements et les dates de vérification générale de l'installation
 - Les constats et remarques utiles
 - L'indication de conduites à tenir : Il est crucial d'établir des procédures claires pour le personnel intervenant sur les installations, elles doivent signaler les cas qui nécessitent une alerte instantanée ou un arrêt planifié. En cas de dérive, le responsable doit communiquer immédiatement les référents concernés et signaler les mesures prises en urgence [2] .

Chapitre 2 : Matériel et méthodes

2.1 Cadre institutionnel du lieu d'étude

Ce travail a été effectué au sein de l’Établissement Hospitalier Spécialisé (EHS) en Néphrologie et Transplantation Rénale "المجاهد المتوفي عمار بوشريط" situé à Daksi-Constantine (**figure 6**). C'est un établissement de santé publique qui se spécialise dans le traitement des maladies rénales chroniques, la dialyse ainsi que la transplantation rénale.



Figure 6 : Vue satellite de l'EHS en Néphrologie et Transplantation Rénale « المجاهد المتوفي عمار بوشريط » à Daksi-Constantine

L'établissement se compose de plusieurs étages, disposés de la manière suivante :

- Rez-de-chaussée : Ce niveau abrite les services d'accueil, y compris le bureau d'accueil, le service de radiologie (imagerie médicale) et le centre de transfusion sanguine.
- Premier étage : Ce niveau abrite les services directement associés à la dialyse, incluant:
 - L'unité de purification de sang.
 - La section de suivi des patients ayant reçu une transplantation rénale.
 - Le service d'hémodialyse.
- 2e étage : On y trouve le département de néphrologie, consacré à la consultation et au suivi des affections rénales.
- 3e étage : Ce niveau abrite le département de chirurgie et le service de soins intensifs.
- 4e étage : Ce niveau est dédié à la chirurgie urologique et à la greffe rénale.

- 5e étage : Il contient également un département dédié à la chirurgie des voies urinaires et à la transplantation rénale.
- 6e étage : Il abrite les laboratoires majeurs de l'institution, notamment : le laboratoire d'anatomopathologie, de biochimie, et le laboratoire spécialisé en bactériologie.

Il est important de préciser que la salle de traitement de l'eau ne fait pas partie intégrante des étages mais elle est située dans leur alignement immédiat et la direction de l'hôpital se trouve dans un édifice distinct de celui où se situent les unités de soins et techniques.

2.2 Déroulement de l'étude

Le travail pratique a été réalisé au sein de l'EHS Daksi "المجاهد المتوفي عمار بوشريط" sur une période d'une période de deux mois, du 06 avril au 05 juin 2025.

Dans le cadre de ce mémoire, le stage pratique a été effectué dans la salle d'eau (unité de traitement de l'eau) ainsi qu'au service d'hémodialyse, ce qui m'a permis :

- ✓ La présentation de l'ancienne salle de traitement de l'eau pour hémodialyse.
- ✓ La présentation de la nouvelle salle de traitement d'eau pour hémodialyse.
- ✓ Le suivi des procédures appliquées pour assurer la qualité de l'eau dans le cadre de l'amélioration continue de la qualité au sein de l'établissement hospitalier.

2.3 Identification de la salle d'eau

La première étape du stage a eu lieu dans la salle d'eau, qui est constituée de trois pièces principales. Dès l'entrée, on trouve un bureau dédié à la gestion administrative. Deux autres pièces sont séparées : la première renferme l'équipement de marque Gambro, alors que la seconde héberge le système Nipro.

Les deux salles citées sont consacrées au traitement de l'eau pour hémodialyse, chacune spécialisée en purification de l'eau pour respecter les normes rigoureuses de cette procédure médicale.

2.3.1 Alimentation en eau

Les deux installations sont alimentées par de l'eau potable stockée dans la bâche à eau principale de l'établissement. Un réservoir d'eau 800 litres est présent dans les deux salles, mais il n'est utilisé qu'en cas de besoin, notamment lors d'une demande accrue en eau ou d'une interruption temporaire de l'alimentation en eau potable et une pompe centrifuge assure le mouvement de l'eau.

2.3.2 La salle d'installation Gambro

Le système Gambro de traitement d'eau, qui a été mis en service en 2010, représente l'installation ancienne du service d'hémodialyse.

2.3.2.1 Les colonnes de traitement

Quatre unités de couleur bleue, positionnées contre le mur, chacune assurant une fonction spécifique dans le traitement de l'eau.

a) Filtre à sable

Dispositif de filtration à base de sable, assurant la rétention des particules grossières et matières en suspension. Le filtre est chargé dans une colonne verticale de 16 x 65 pouces, avec une capacité estimée à 100 litres. Une tête de commande Pentair assure un lavage en contre-courant automatique (**figure 7**).



Figure 7 : Filtre à sable (Photo prise par Mallem et Aouaichia)

b) Filtre à charbon actif

Le filtre est installé dans une colonne de 16×65 pouces et se compose d'une couche de charbon actif granulaire qui repose sur une base de gravier (**figure 8**). Il assure l'élimination du chlore

libre, des composés organiques et de certaines substances indésirables dans l'eau. Son système de rinçage est automatique, déclenché soit par minuterie, soit par volume traité.



Figure 8 : Filtre à charbon actif (Photo prise par Mallem et Aouaichia)

c) Adoucisseurs avec résine échangeuse d'ions

Deux colonnes de type 10 x 50 pouces (modèle 278) contiennent environ 60 litres de résine chacune, sur une base de 10 litres de gravier (**figure 9**). Ces colonnes sont destinées à l'adoucissement de l'eau en éliminant le calcium et le magnésium responsables de la dureté. Quand une des colonnes est en régénération, l'autre colonne assure le traitement de l'eau.



Figure 9 : Adoucisseurs (Photo prise par Mallem et Aouaichia).

2.3.2.2 Cuve de saumure

Un réservoir de couleur blanche est disponible pour l'élaboration et le stockage de la solution saline (NaCl), employée pour la régénération des résines échangeuses d'ions dans l'adoucisseur.

2.3.2.3 Filtration complémentaire

Un filtre à cartouche de couleur bleu clair est installé pour une microfiltration plus fine, avant le passage de l'eau dans le système d'osmose inverse.

2.3.2.4 Osmoseur

Le système d'osmose inverse utilisé est le GAMBRO CWP 60, installé à l'intérieur d'un placard métallique fermé (**figure 10**). Il est conçu pour générer de l'eau ultrapure à un débit variable, en fonction de la température de l'eau d'entrée :

- 300 à 450 L/h à 10°C,
- Jusqu'à 650 L/h à 25°C.



Figure 10: un placard métallique fermé contient le système d'osmose
(Photo prise par Mallem et Aouaichia).

Ce système (**figure 11**) englobe

- ✓ Plusieurs membranes spiralées en polyamide modifié.
- ✓ Une pompe haute pression.
- ✓ Des capteurs de pression et de conductivité pour le contrôle de la qualité de l'eau.
- ✓ Un afficheur numérique doté d'alarmes sonores et visuelles.

- ✓ Un thermomètre de perméabilité et des débitmètres pour le suivi des volumes produits et rejetés.



Figure 11 : Système d'osmose inverse de la salle Gambio
(Photo prise par Mallem et Aouaichia).

Les tuyaux et les connexions entre les différents équipements du système de traitement d'eau sont fabriqués en PVC et PE, conformes aux normes médicales et compatibles avec les agents de désinfection.

2.3.2.5 État de la salle

- Fenêtres : fixes, ouvrant sur un modeste bureau voisin sans accès à l'extérieur, mais offrant une excellente lumière indirecte.
- Sol et murs : entièrement recouverts de carrelage, ce qui rend leur nettoyage facile et conforme aux normes d'hygiène.
- Aération : le manque d'ouverture directe requiert une vérification fréquente de la température et de l'humidité.

2.3.3 La salle d'installation Nipro

Le système Nipro de traitement d'eau, mis en service depuis huit mois, représente la nouvelle installation du service d'hémodialyse (**figure 12**).



Figure 12 : La salle d'installation Nipro (Photo prise par Mallem et Aouaichia)

2.3.3.1 Les colonnes de traitement

Tout comme l'ancienne installation; un système comporte quatre colonnes de couleur bleue, disposées en séquence, assurant un fonctionnement spécifique dans le traitement de l'eau.

a) Filtre Turbidex

C'est un système de filtration innovant à base de zéolithe naturelle placé dans une colonne verticale de 13 x 54 pouces , avec une capacité estimée à 75 litres . Il offre une hyperfiltration multifonctionnelle intégrant divers mécanismes :

- Filtration mécanique.
- Échange d'ions.
- Sédimentation.
- Floculation.

Le lavage à contre-courant est automatique, piloté par une tête de commande Clack WS1 CI.

b) Filtre à charbon actif

Le filtre est installé dans une colonne verticale mesurant 14x65 pouces (on a deux filtres). Il contient 90 litres de charbon actif reposant sur une base de 8 litres de gravier.

Le filtre utilise du charbon actif granulé, connu pour sa forte capacité d'adsorption qui permet d'éliminer le chlore libre, les chloramines, les matières organiques et les odeurs. Ce dispositif est configuré pour lancer le processus de rinçage en fonction d'une minuterie (temps géré). Cependant, si la quantité d'eau traitée atteint un niveau prédéfini avant l'heure fixée, le rinçage est automatiquement déclenché en fonction du volume.

c) Adoucisseurs d'eau (résines échangeuses d'ions)

Deux colonnes 13 x 54 pouces, chaque colonne contient 60 litres de résine échangeuse d'ions et 10 litres de gravier. L'adoucisseur en service est un modèle duplex (**figure 13**) muni de têtes

de contrôle Clack TT (installées sur des colonnes en polyglass). Ce paramétrage offre une alimentation continue : alors qu'une des colonnes fonctionne, l'autre peut être en phase de régénération.

La régénération démarre automatiquement grâce au contrôleur Clack, dès que la quantité d'eau adoucie définie est atteinte. Parallèlement, on peut procéder à une régénération manuelle lorsque les résultats des tests de contrôle avec réactif montrent une dégradation de la qualité de l'eau, particulièrement en présence d'une dureté résiduelle inhabituelle signalant une saturation de la résine. Cet équipement assure une eau dénuée de dureté, préservant donc les installations en aval et augmentant la durabilité du système d'osmose inverse.



Figure 13 : Adoucisseur duplex avec têtes de contrôle Clack TT
(Photo prise par Mallem et Aouaichia)

2.3.3.2 Cuve de saumure

Une cuve de couleur blanche est dédiée à la préparation et à l'entreposage de la solution saline (NaCl), indispensable pour la régénération des résines échangeuses d'ions dans l'adoucisseur. Un tamis est placé à l'intérieur de cette cuve, permettant une dissolution contrôlée des pastilles de sel. Pour assurer une dissolution réussie, il est essentiel que le niveau de l'eau soit toujours au moins 10 cm plus haut que le tamis.

2.3.3.3 Filtration complémentaire

Une filtration complémentaire est assurée par un filtre à cartouche installé en aval du prétraitement, permettant de retenir les particules résiduelles et de protéger les membranes.

2.3.3.4 Osmoseur

Le système utilisé est le RO Medical Basic, conçu pour produire une eau ultrapure répondant aux normes de l'hémodialyse (**figure 14**).



Figure 14 : système d'osmose inverse de la salle Nipro
(Photo prise par Mallem et Aouaichia)

Selon la température de l'eau d'alimentation, le système affiche un débit de production variable:

- De 350 à 1400 L/h à 15°C
- De 380 à 1520 L/h à 20°C

On utilise des membranes en polyamide de couche fine, réputées pour leur grande efficacité de filtration et leur faible usage énergétique. L'ensemble est monté sur un cadre en acier inoxydable thermolaqué, garantissant solidité et protection contre la corrosion. La canalisation est composée de PVC/PE (polyéthylène), un matériau neutre, conforme aux normes médicales.

Les composants clés du système

- Pompe de pression (Grundfos) : elle assure la mise sous pression de l'eau afin d'alimenter les membranes d'osmose.
- Le manomètre et le capteur de pression (entrée) : ils assurent la surveillance de la pression d'alimentation, un indicateur crucial de performance.

- Tube de pression équipé d'une membrane : élément central du dispositif, où la séparation des impuretés par filtrage membranaire a lieu.
- Capteur de conductivité : évalue en permanence la qualité de l'eau produite, capable d'identifier toute anomalie du système.
- Thermomètre du perméat : surveillance thermique pour prévenir les fluctuations critiques.
- Indicateurs de débit : assurent la surveillance des volumes de perméat (eau épurée) et de concentré (déchet).
- Raccordements : pour l'approvisionnement en eau brute, la sortie du perméat et la sortie du concentré.
- Vannes de contrôle : elles permettent d'ajuster les débits d'entrée, de drainage et de reflux.
 - o Affichage de commande : regroupe les informations du système et permet une gestion en temps réel aisée.
 - o Système de sécurité : constitué d'interrupteurs et de témoins lumineux pour repérer toute anomalie.

Grâce à ses composants de qualité supérieure et à ses réglages adaptatifs, ce système garantit une protection maximale pour les patients et une performance optimale du processus de purification de l'eau dans la machine d'hémodialyse.

2.3.3.5 État de la salle

- Les murs et le sol sont recouverts de carrelage, ce qui rend le nettoyage plus facile et garantit une bonne hygiène.
- Grâce à une aération naturelle et un système de climatisation, on maintient une température appropriée pour les équipements et les solutions chimiques.
- Éclairage naturel par une petite fenêtre haute et un arrangement de brique de verre Nevada complété par l'éclairage électrique.

2.4 Service d'hémodialyse

Le service d'hémodialyse est situé au premier étage, est conçu pour fournir un soutien intégral et sécurisé aux patients. Il comprend plusieurs espaces fonctionnels, incluant des bureaux administratifs, une salle d'urgence et quatre salles dédiées aux séances de dialyse. Le service est équipé de 17 générateurs de dialyse de type Fresenius 4008S (**figure 15**), répartis entre les différentes salles. Ces générateurs sont alimentés en eau ultrapure par les systèmes de

traitement (Nipro et Gambro). Les traitements d'hémodialyse sont organisés en trois séances quotidiennes : le matin, l'après-midi et le soir. En général, chaque séance dure environ quatre heures et chaque patient bénéficie typiquement de trois sessions hebdomadaires.

La consommation d'eau par générateur est estimée à environ 30 litres par heure au cours des séances, cette consommation souligne l'importance d'un contrôle strict et continu de la qualité de l'eau utilisée.



Figure 15 : Générateurs de type Fresenius 4008S (Photo prise par Mallem et Aouaichia)

2.5 Types d'eaux étudiées

2.5.1 L'eau de la bâche à eau

Il s'agit d'une eau stockée dans des réservoirs d'eau froide. Dans un milieu hospitalier, le respect rigoureux des normes d'hygiène et de soins exige une performance constante et sûre des systèmes de distribution d'eau. L'eau qui était initialement potable et contrôlée peut perdre sa qualité avec le temps et en raison du stockage, soulevant d'importants défis pour la sécurité des patients et l'efficacité des traitements (**Hartemann et al. 2003**).

2.5.2 L'eau adoucie

L'eau adoucie est une eau issue à partir de l'eau potable, dans laquelle les ions de Ca^{2+} et Mg^{2+} , responsables de la dureté et la formation de tartre ont été éliminés grâce à un processus d'adoucissement [3].

2.5.3 L'eau osmosée

L'eau osmosée est généralement produite à partir de l'eau provenant du réseau de distribution, puis traitée à l'aide d'une méthode complémentaire d'osmose inverse, afin d'être débarrassée de tous types des éléments indésirables des impuretés (**Hartmann et al. 2003**).

2.6 Contrôle de la qualité de l'eau

Suite à une reconnaissance approfondie des deux systèmes de traitement d'eau (Nipro et Gambro), nous avons élaboré des protocoles pour suivre la chaîne de traitement dans le contexte de notre démarche qualité. L'objectif de ces protocoles est d'organiser et de standardiser le contrôle de divers paramètres essentiels.

2.6.1 Paramètres physico-chimiques

Ces paramètres sont analysés selon une fréquence définie (quotidienne, mensuelle ou trimestrielle), en fonction de leur importance et des recommandations réglementaires.

2.6.1.1 Matériel utilisé

- ✓ Un gobelet ou une éprouvette graduée.
- ✓ Un kit de test de dureté avec réactif coloré.
- ✓ Des dispositifs de mesure automatique.
- ✓ Des tubes stériles.
- ✓ Des flacons stériles en polyéthylène.
- ✓ Une glacière isotherme à 4 °C.
- ✓ Une fiche de prélèvement.

2.6.1.2 Méthodes de prélèvement

Les prélèvements d'échantillons d'eau ont été sélectionnés de manière stratégique dans les deux installations de traitement (Gambro et Nipro) ainsi qu'aux générateurs de dialyse. Les points de prélèvement ont été choisis en fonction des exigences réglementaires et de la nature des paramètres à analyser.

Les paramètres physico chimique suivantes : la dureté, la température et la conductivité sont surveillés quotidiennement.

- La dureté est effectuée à l'aide d'un gobelet ou éprouvette graduée et un kit de test de dureté avec réactif coloré.
- La température et la conductivité sont mesurées par un système automatique intégré aux installations de traitement et aux générateurs.

Toutes les informations ont été notées dans des registres de suivi pour faciliter la vérification et la surveillance des résultats.

Le sodium (Na^+) et le potassium (K^+) : ces deux paramètres sont analysés mensuellement et le prélèvement a été réalisé au niveau du générateur à l'aide d'un tube stérile (**figure 16**). Avant le remplissage du tube, une petite quantité de liquide a été évacuée afin d'éviter tout type de contamination. Les échantillons ont été transmis au laboratoire de biochimie de l'hôpital.

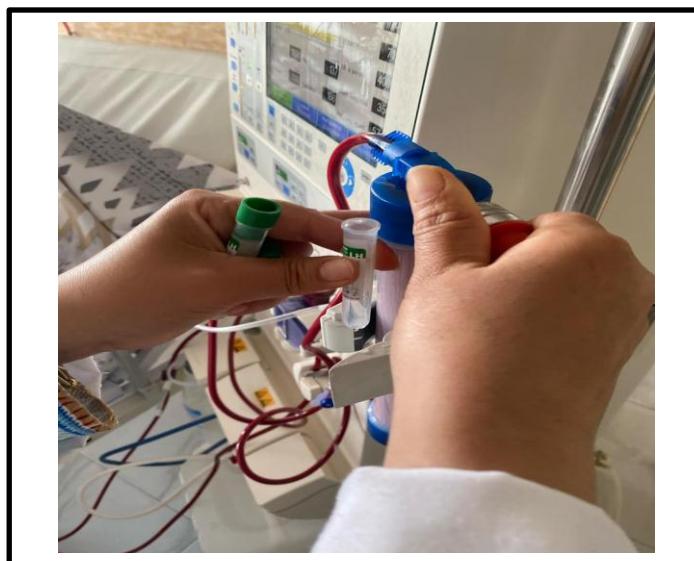


Figure 16 : prélèvement a été réalisé au niveau du générateur pour l'analyse de sodium et potassium (Photo prise par Mallem et Aouaichia)

Pour le pH, le chlore libre, le calcium, le magnésium, les nitrates, les chlorures, l'aluminium et les phosphates : les prélèvements sont effectués au niveau du point de distribution après l'osmoseur tout les trois mois par l'utilisation des flacons stériles en polyéthylène et une glacière isotherme à une température de 4 °C pour protéger les échantillons pendant le transport qui ne doit pas dépasser 6 heures (**figure 17**), à un laboratoire algérien agréé pour analyses

externes. Il est obligatoire de faire une fiche de prélèvement qui inclut la date, l'heure, l'emplacement du prélèvement et les paramètres à examiner.



Figure 17 : une photo montrant la méthode de transport des échantillons
(Photo prise par Mallem et Aouaichia)

2.6.1.3 Méthode d'analyse

Chaque paramètre a une méthode spécifique :

a) La température

Un paramètre quotidiennement surveillé pour garantir l'efficacité et la sûreté des soins.

- ✓ Système Nipro : L'écran de contrôle affiche en continu la température de l'eau osmosée, qui est mesurée automatiquement, offrant un système de surveillance thermique ininterrompue.
- ✓ Système Gambro : ne dispose pas d'un affichage numérique direct de la température, mais celle-ci est surveillée par un système d'alerte intégré qui se déclenche en cas de dépassement d'une limite critique (généralement autour de 35 °C).
- ✓ Générateur d'hémodialyse : Elle est automatiquement contrôlée par le générateur d'hémodialyse Fresenius 4008S, grâce à un capteur thermique intégré. La valeur cible généralement autour de 36,5 °C et toute irrégularité est instantanément signalée par une alarme. « La régulation thermique du dialysat est également liée au contrôle de la conductivité, ce point est détaillé dans la section suivante ».

b) La conductivité

Un paramètre clé permet l'évaluation de la concentration en électrolytes de façon continue dans tous les systèmes utilisés.

- ✓ Dispositifs de Traitement d'Eau (Nipro et Gambro) : La mesure de la conductivité s'effectue automatiquement et est présentée sur les écrans de contrôle grâce à des capteurs intégrés. Cette fonctionnalité offre une vérification à tout moment de la qualité de l'eau osmosée.
- ✓ Générateur d'Hémodialyse (Fresenius 4008S) : elle est mesurée par deux cellules de mesure de conductivité avec compensation en température, indépendantes l'une de l'autre, placées en amont et en aval du dialyseur . Quand les valeurs de température et de conductivité sont dans les limites ajustées, le générateur permet la transmission du dialysat au dialyseur. Si une déviation est détectée, un dispositif de sécurité bloque l'usage du dialysat non conforme, assurant par conséquent la sauvegarde du patient.

Un système d'alerte est présent dans les trois dispositifs étudiés (Nipro, Gambro et le générateur Fresenius 4008S), permettant de détecter et de signaler toute irrégularité de conductivité dépassant les seuils de sécurité.

c) Test de la dureté

Quotidiennement, avant de mettre en marche les générateurs, une vérification rapide est effectuée pour mesurer la dureté de l'eau produite par l'adoucisseur. Ce test sert à détecter la présence possible de calcium (Ca^{2+}) et de magnésium (Mg^{2+}), deux substances qui peuvent causer des dépôts de tartre et qui pourraient être nuisibles si elles se trouvent dans l'eau de dialyse.

Étapes :

- ✓ Prenez 5 ml d'eau immédiatement après le passage de l'adoucisseur.
- ✓ Ajoutez une goutte du titrant (ou d'indicateur) à l'échantillon (**figure 18**).
- ✓ Mélangez délicatement et observez la couleur.



Figure 18 : Une photo démonstrative de la méthode du test qualitatif de dureté
(Photo prise par Mallem et Aouaichia)

Ce test se réalise en moins de deux minutes et offre une vérification quotidienne fiable, et c'est un test qualitatif détecte la trace de dureté. Un test quantitatif est effectué trimestriellement (Voir le Ca^{2+} + Mg^2).

d) Le sodium

Les atomes de sodium émettent une lumière jaune à 589 nm dans la flamme. Cette émission est quantifiée à l'aide de la photométrie de flamme afin d'établir sa concentration.

- Mode opératoire :
 - 1) Prendre 50 mL d'eau à analyser.
 - 2) Si la concentration en sodium dépasse 10 mg/L, il convient de le diluer avec de l'eau distillée avant de procéder à l'analyse.
 - 3) Préparer une gamme étalon de solutions de sodium : 0 ; 2,5 ; 5,0 ; 7,5 et 10 mg/L à partir d'une solution mère à 200 ppm.
 - 4) Mesurer l'intensité lumineuse à 589 nm pour les solutions étalons et l'échantillon.
 - 5) Lire la concentration en sodium sur la courbe d'étalonnage.

e) Le potassium

On peut détecter le potassium à travers la lumière qu'il produit à une longueur d'onde de 766 nm lorsqu'il est mis dans une flamme. La concentration de la substance dans l'échantillon est proportionnelle à l'intensité de la lumière.

- Mode opératoire
 - 1) Prélever 50 mL de l'eau à analyser.

- 2) Compléter à 100 mL avec de l'eau distillée : cette solution est notée solution (a). Si la concentration excède 0,75 mg/L, il faut refaire la solution (a) en diluant davantage l'échantillon avec de l'eau distillée.
- 3) Mélanger 50 mL de l'échantillon (ou dilué) + 1,25 mL de solution standard à 20 ppm de potassium, puis compléter à 100 mL avec de l'eau distillée (une solution (b)).
- 4) Mesurer l'intensité lumineuse à 766 nm pour toutes les solutions.
- 5) Calculez la teneur en potassium de l'eau en parties par million à l'aide de l'expression:

$$\frac{p \times n1 \times 0,5}{n2 - n1}$$

p = facteur de dilution utilisé pour la préparation de la solution à examiner (a),

n1 = valeur mesurée avec la solution à examiner (a),

n2 = valeur mesurée avec la solution à examiner (b).

f) Le pH

La mesure est effectuée avec du pH-mètre qui est composé de deux électrodes :

- Une électrode de référence : qui reste stable.
- Une électrode de verre sensible : sensible aux ions hydrogène.

Ces deux électrodes permettent de mesurer le pH de l'eau, pour assurer la précision des lectures, il est essentiel d'étalonner le pH-mètre à travers de solutions tampon de valeurs établies, ce qui aide à rectifier les déviations et à adapter la réponse de l'appareil.

g) Le calcium et le magnésium

Les deux paramètres sont les principaux responsables de la dureté de l'eau. Cette dernière est déterminée par un titrage colorimétrique de la concentration des ions avec une solution d'EDTA (acide éthylène diamine tétra-acétique). Le dosage se repose sur la capacité d'EDTA à capter le Ca^{2+} et le Mg^{2+} pour former des complexes Mg-EDTA et Ca-EDTA, on utilise également un colorant appelé Eriochrome Black T (NET) comme indicateur coloré. Ce colorant, à un pH de 10, élabore une couleur rouge-violet en présence de magnésium libre. La solution change de couleur pour devenir bleue, annonçant la fin du titrage et indiquant que tous les ions métalliques ont été complexés par l'EDTA.

Le dosage spécifique du calcium est effectué à un pH plus élevé 12 à 13. On utilise comme indicateur coloré le calcon qui donne une coloration rouge en présence de calcium libre et vire au mauve une fois le calcium complexé.. Le magnésium sous forme d'hydroxyde et n'interfère pas lors du dosage.

- Mode opératoire
 - **Dosage de la dureté totale ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$)**
 - 1) Prélevez 50 ml d'échantillon d'eau dans un erlenmeyer.
 - 2) Ajouter 2 ml de tampon ammoniacal pour ajuster le pH à 10.
 - 3) Incorporez une pointe de spatule de noir ériochrome T (ou quelques gouttes si en solution).
 - 4) Effectuez le titrage avec la solution d'EDTA (10 mmol/L) tout en remuant sans interruption.
 - 5) Observer le changement de couleur du rouge-violet vers le bleu.
 - 6) Notez le volume d'EDTA nécessaire pour le changement de couleur. Ce volume représente la concentration totale de calcium et de magnésium.
 - **Dosage spécifique du calcium (Ca^{2+}) :**
 - 1) À l'aide d'une pipette, prélevez un nouvel échantillon de 50 ml d'eau.
 - 2) Ajouter 2ml de NaOH (2N) pour ajuster le pH à une valeur comprise entre 12 et 13.
 - 3) Introduire environ 0,2 g d'indicateur calcon carboxylique.
 - 4) Établir le titrage immédiatement avec l'EDTA (10 mmol/L) en agitant, jusqu'à ce que la couleur passe du rouge au mauve.
 - **Calcul de la concentration en magnésium (Mg^{2+})**

On obtient la concentration en magnésium par la formule suivante :

$$[\text{Mg}^{2+}] = [\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}] - [\text{Ca}^{2+}]$$

h) Les nitrates

Le dosage des nitrates a été réalisé à l'aide d'un kit colorimétrique à lecture visuelle. Cette méthode implique une réaction colorimétrique où les nitrates réagissent avec un réactif pour former un composé coloré. L'intensité de la couleur est mesurée par un spectrophotomètre.

- Mode opératoire :
 - 1) Prélevez 10 ml de l'échantillon d'eau à analyser et les verser dans un tube gradué jusqu'au trait.
 - 2) Ajoutez 10 gouttes du réactif compensateur. Refermez le tube puis agiter-le délicatement pour assurer une homogénéisation complète de la solution.

- 3) Ajoutez une première pastille réactive (nitrate N°1), fermez le tube et agiter jusqu'à ce qu'elle soit complètement dissoute.
- 4) Ajoutez ensuite la seconde pastille (nitrate N° 2), refermez à nouveau et agitez durant une minute.
- 5) Retirez le bouchon, puis laissez la solution reposer environ 5 minutes.
- 6) Pour comparer la teinte obtenue, placez le tube sur la zone blanche dédiée sur l'échelle colorimétrique fournie avec le kit.
- 7) Veuillez noter la valeur indiquée par la couleur la plus proche, correspondant à la teneur en nitrates, exprimée en mg/L ou ppm.

i) Les chlorures

Les chlorures sont des anions fréquemment rencontrés, soit naturellement dans l'eau, soit à la suite de la pollution. Le dosage de chlorures se fait par titration argentimétrique ; l'échantillon est titré avec une solution de nitrate d'argent (AgNO_3).

- Mode opératoire
 - 1) Placez votre échantillon d'eau dans un bécher en verre propre.
 - 2) Ajoutez 0,5 mL d'acide nitrique (HNO_3 2 mol/L) ou d'acide sulfurique (H_2SO_4 1 mol/L). Diluez-le avec de l'eau distillée pour optimiser la mesure.
 - 3) Immergez l'électrode appropriée dans l'échantillon. Titrez ensuite la solution en ajoutant progressivement la solution de nitrate d'argent (AgNO_3 0,1 M).
 - 4) Pendant le titrage, observez les millivolts (mV) jusqu'à atteindre le point d'équivalence.

j) L'aluminium

L'aluminium réagit avec un réactif coloré pour former un complexe dont la couleur est mesurée avec un spectrophotomètre à 535 nm. Plus la couleur est intense, plus la concentration en aluminium est élevée.

- Mode opératoire
 - 1) Préparer une gamme d'étalons en diluant la solution mère d'aluminium : 0,005 – 0,01 – 0,02 – 0,05 mg/L.
 - 2) Prendre 50 mL d'échantillon d'eau à analyser.
 - 3) Ajouter 5 mL du tampon acétate.
 - 4) Ajouter 2 mL du réactif à base d'ériochrome cyanine R.
 - 5) Mélangez bien la solution et laissez-la reposer pendant 5 à 10 minutes à température ambiante (éviter la lumière directe).

- 6) Verser dans une cuve et placer au spectrophotomètre à 535 nm.
- 7) Lire l'absorbance et comparer à une gamme étalon pour connaître la concentration.

k) Les phosphates

Le dosage des phosphates a été effectué selon une méthode colorimétrique.

- Mode opératoire
 - 1) Prélever 40 ml de l'échantillon d'eau à analyser.
 - 2) Ajouter 1 ml d'acide ascorbique, préparé à raison de 10 g d'acide ascorbique dans 100 ml d'eau distillée.
 - 3) Ajouter ensuite 2 ml de réactif au molybdate acide.

Dans un environnement acide, des ions phosphate interagissent avec des ions molybdate pour donner naissance à un complexe phosphomolybdique. L'acide ascorbique réduit ensuite ce complexe, ce qui génère une teinte bleue. La mesure de l'intensité de cette coloration, qui est proportionnelle à la concentration en phosphates, se fait par colorimétrie. Les résultats sont indiqués en milligrammes par litre (mg/L) de phosphates.

2.6.2 Paramètres bactériologiques

De plus aux vérifications journalières et aux analyses physico-chimiques, il est crucial d'effectuer des analyses bactériologiques pour identifier toute contamination microbienne pouvant mettre en péril la sécurité de l'eau utilisée en hémodialyse.

2.6.2.1 Matériel utilisé

- Flacons en verre stériles.
- Étiquettes d'identification.
- Glacière isotherme.
- Fiche de décharge.

2.6.2.2 Méthode de prélèvement

Les analyses bactériologiques sont effectuées mensuellement pour garantir un contrôle rigoureux de la qualité microbiologique de l'eau destinée à l'hémodialyse.

Les prélèvements sont assurés à l'aide de flacons en verre stériles, à différents points du circuit d'eau :

- La bâche à eau (**figure 19**).

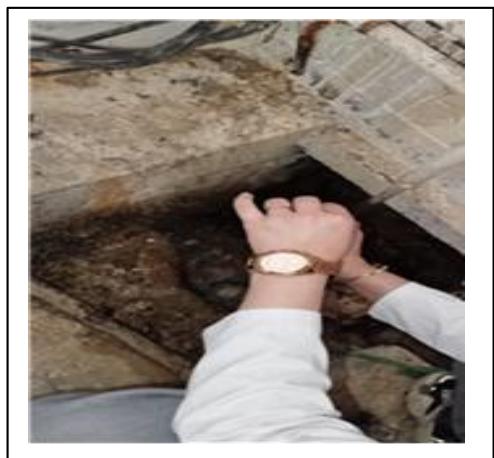


Figure 19 : Prélèvement d'eau au niveau de bâche à eau
(Photo prise par Mallem et Aouaichia)

- Les salles d'eau des deux systèmes : au point de sortie après l'osmoseur (eau osmosée) de système Nipro (**figure 20**) et Gambro (**figure 21**).



Figure 20 : Prélèvement d'eau au point de sortie après l'osmoseur (eau osmosée)
de système Nipro (Photo prise par Mallem et Aouaichia)



Figure 21 : Prélèvement d'eau au point de sortie après l'osmoseur (eau osmosée) de système Gambro (Photo prise par Mallem et Aouaichia)

- Le générateur de dialyse (**figure 22**).



Figure 22 : Prélèvement d'eau au niveau de la boucle de générateur (Photo prise par Mallem et Aouaichia)

Avant de recueillir l'échantillon :

- ✓ L'eau est d'abord laissée s'écouler pendant 2 à 3 minutes afin d'éviter les contaminants externes.
- ✓ Les flacons sont remplis sans laisser de bulles d'air, car la présence d'air pourrait affecter les résultats en favorisant l'oxydation ou la croissance de micro-organismes aérobies.

- ✓ Suite au prélèvement, les flacons sont rapidement fermés et étiquetés, précisant le point du prélèvement.

Les échantillons sont ensuite placés dans une glacière isotherme pendant le transport au laboratoire d'hygiène de la wilaya D.S.P.S., situé à proximité de l'hôpital, avec une décharge qui contient la date du prélèvement et les points de prélèvement concernés.

Les analyses microbiologiques se concentrent essentiellement sur la détection des coliformes totaux et thermo-tolérants.

2.6.2.3 Méthode d'analyse

a) Les coliformes totaux

L'analyse des coliformes totaux repose sur leur capacité à se développer sur un milieu de culture sélectif, sa technique se base sur la filtration d'une quantité déterminée d'eau à travers une membrane stérilisée qui capture les bactéries. Cette membrane est ensuite placée sur un milieu de culture spécifique, où les coliformes vont former des colonies caractéristiques après incubation à 35 °C pendant 24 heures. Le résultat est exprimé en Unités Formant Colonies (UFC) pour une quantité de 100 ml d'eau.

- Mode opératoire
 - 1) Filtrer 100 ml de l'échantillon d'eau à travers une membrane de 0,45 µm.
 - 2) À l'aide d'une pince stérile, déposer la membrane sur un milieu de culture (gélose m-Endo) préparé dans une boîte de Pétri en évitant la formation de bulles d'air entre la membrane et le milieu.
 - 3) Incuber à $35 \pm 0,5$ °C pendant 24 ± 2 heures dans une étuve microbiologique à l'envers (couvercle en bas) pour éviter la condensation.
 - 4) Observer la croissance bactérienne ; les coliformes totaux apparaissent sous forme de colonies rouges à centre métallique brillant.
 - 5) Compter les colonies typiques à l'œil nu, puis exprimer le résultat en UFC/100 ml.

b) Les coliformes thermo-tolérants

L'analyse des coliformes thermo-tolérants base sur la filtration de l'échantillon d'eau à travers une membrane de 0,45 µm, celle-ci est déposée sur la gélose m-FC, puis incubée à une température élevée de $44,5 \pm 0,2$ °C en 24 ± 2 heures. Les coliformes thermotolérants se développent sous forme de colonies bleues caractéristiques, dont leur présence indique une contamination fécale récente.

- Mode opératoire
- 1) Utilisez un système de filtration sous vide pour filtrer 100 ml de l'échantillon d'eau, en utilisant une membrane stérile ayant une porosité de 0,45 µm.
 - 2) Déposer délicatement la membrane sur une boîte de Pétri contenant de la gélose m-FC.
 - 3) Incuber à $44,5 \pm 0,2$ °C pendant 24 ± 2 heures , positionnez la boîte à l'envers dans une étuve adaptée.
 - 4) Observer les colonies bleues de coliformes thermotolérants .
 - 5) Compter les colonies bleues typiques et exprimez les résultats en Unités Formant Colonies (UFC) par 100 ml.

Chapitre 3 : Résultat Et Discussion

3.1 Résultat des analyses physico-chimiques

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur l'eau osmosée des installations Gambro et Nipro sont exposés en rapport avec les standards de qualité de l'eau pour l'hémodialyse.

Tous les résultats ont été vérifiées conformément aux normes algériennes actuelles. Toutefois, l'absence de valeurs déterminés pour certains paramètres dans ces normes a amené à les évaluer avec les normes ISO et la Pharmacopée européenne, dans le but d'assurer une évaluation rigoureuse et en accord avec les standards internationaux.

3.1.1 La température

Un paramètre physique important , joue un rôle dans la stabilité du dialysat , l'efficacité de la purification , tout en contribuant au confort du patient. La norme ISO 23500-2:2019, recommande que la température du dialysat soit maintenue entre 36 °C et 37 °C, avec une tolérance de $\pm 0,5$ °C. Dans le cas de notre étude, les résultats obtenus (**figure23**) montrent que:

- Les valeurs de (T°C) de l'eau osmosée dans le système Nipro: la température de l'eau est constante autour 23,29 °C à 24,41 °C durant toute la période examinée. Cette valeur est inférieure à la norme recommandée pour le dialysat, mais optimale par rapport au système de fonctionnement Nipro selon leur guide de fonctionnement technique.
- Les valeurs de (T°C) d'eau osmosée au niveau du générateur : la température mesurée varie de 36,53°C à 36,72 °C, ce qui correspond aux standards recommandés. Cela confirme le bon fonctionnement du système de régulation thermique du générateur.

La température de l'eau osmosée est correctement ajustée au niveau du générateur, ce qui garantit la conformité finale du dialysat à la température recommandée.

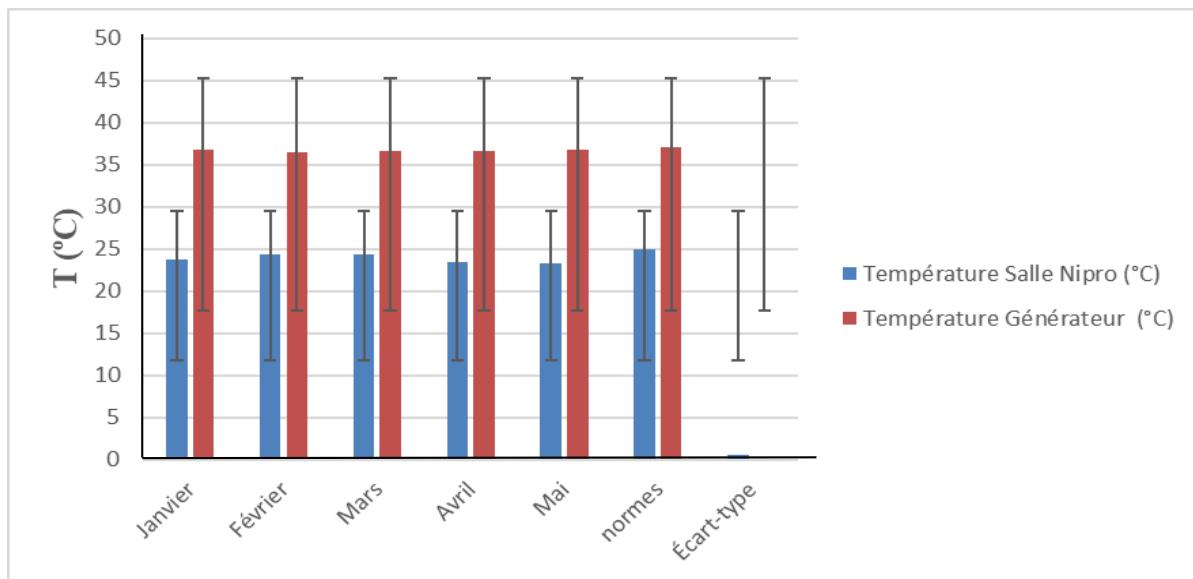


Figure23 : Variation de la température d'eau osmosée au niveau du système Nipro et générateur.

3.1.2 La conductivité

La conductivité est un indicateur important de la pureté de l'eau osmosée utilisée en hémodialyse, un dépassement du seuil peut entraîner une surcharge ionique et compromettre la sécurité des patients. Les valeurs observées (**figure24**) sont les suivantes :

- Systèmes Gambro et Nipro : Conductivité constante de 4 µS/cm.
- Générateurs : Conductivité constante de 13 µS/cm.

Les deux valeurs sont significativement inférieures au seuil réglementaire de 4 µS/cm pour les deux dispositifs de traitement, et 15 µS/cm pour l'eau de dialyse au niveau de générateur.

La stabilité des valeurs d'un jour à l'autre et l'absence de fluctuations notables reflètent l'efficacité des systèmes d'osmose inverse et la fiabilité des circuits de distribution.

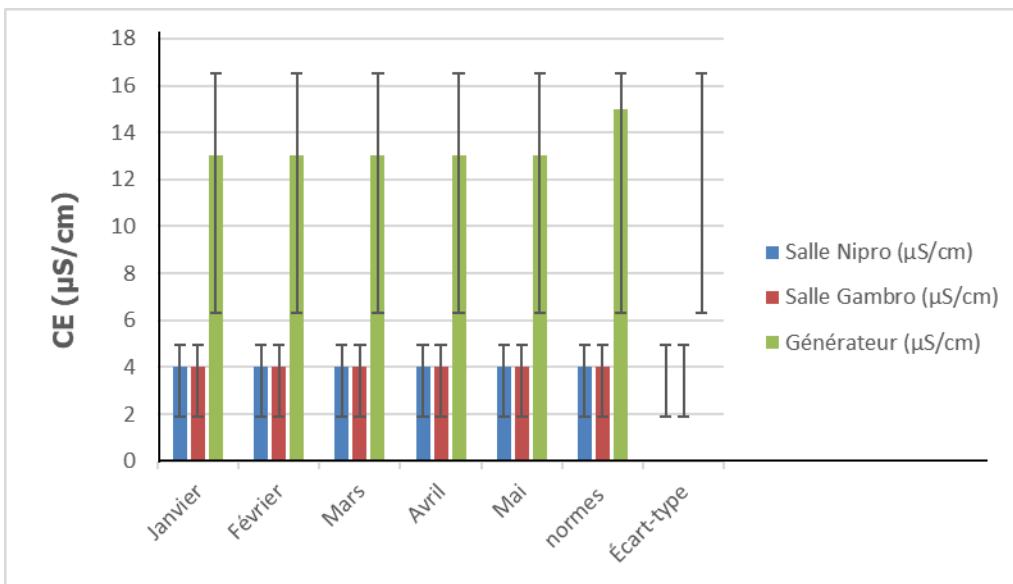


Figure 24 : Variation de la conductivité d'eau osmosée au niveau du système Gombro Nipro et générateur.

3.1.3 Le sodium

Le (Na^+) est un élément clé dans la surveillance de l'eau destinée à l'hémodialyse , car un niveau excessif pourrait causer une hypernatrémie chez les patients. Les teneurs en (Na^+) dans l'eau osmosée à la sortie du générateur d'hémodialyse (**figure 25**) varient entre 139 et 143 mg/L . Ces teneurs sont conformes à la norme algérienne (150 mg/L) pour l'eau d'hémodialyse.

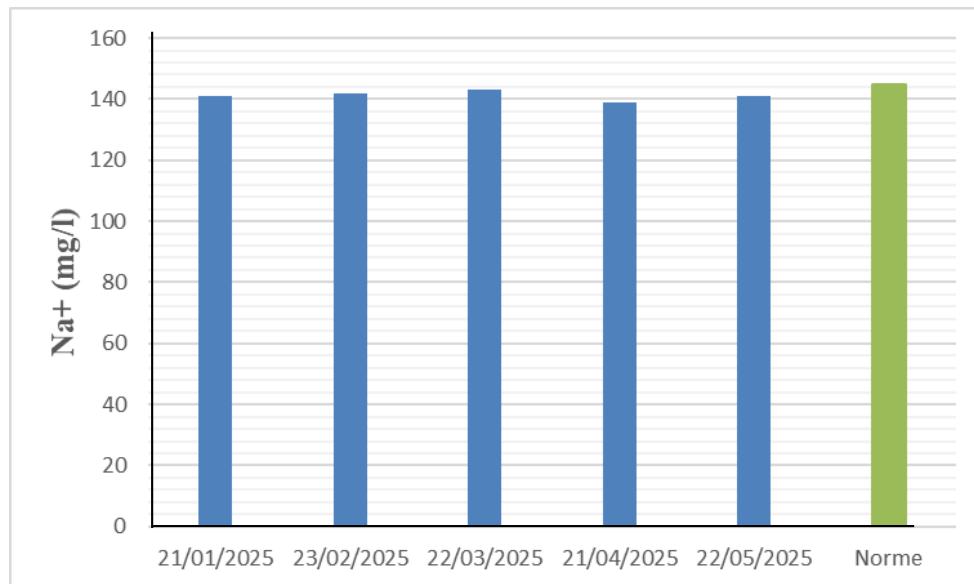


Figure 25 : Concentration en (Na^+) dans l'eau osmosée à la sortie du générateur entre janvier et mai 2025.

3.1.4 Le potassium

Le contrôle de la teneur en potassium dans l'eau destinée à l'hémodialyse est obligatoire vu son impact direct sur l'équilibre électrolytique des patients, et son accumulation peut être mortelle dans certains cas.

Les niveaux de potassium dans l'eau osmosée du générateur relevés du 28 janvier 2025 au 22 mai 2025 se situent entre 1,5 mg/L et 2,5 mg/L (**Figure 26**) . Tous les valeurs sont conformes à la norme établie, qui est d'environ 4,2 mg/L.

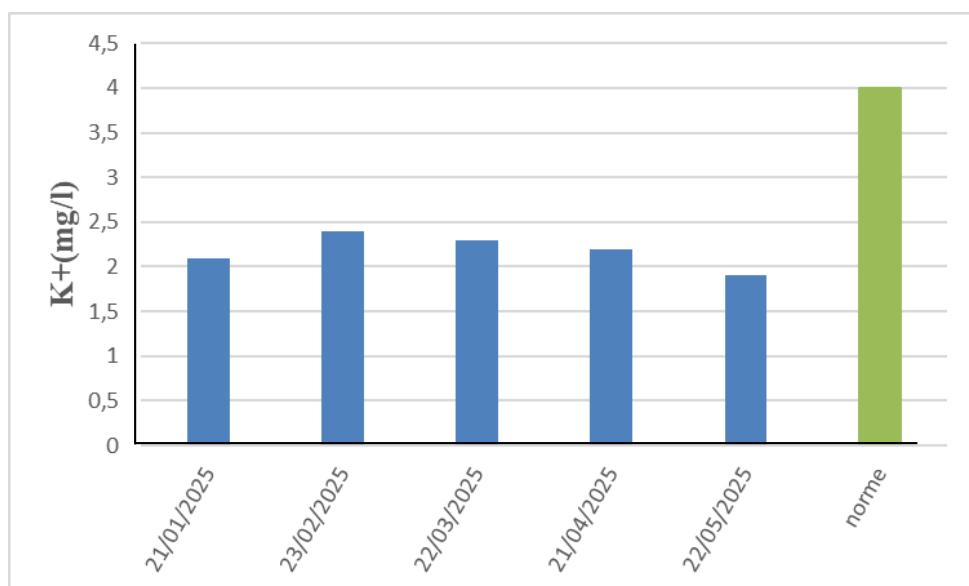


Figure 26 : Teneur en Potassium (K⁺) au niveau d'eau osmosée du générateur.

3.1.5 Le pH

Le pH de l'eau utilisée dans l'hémodialyse Joue un rôle crucial dans le maintien de l'équilibre acido-basique du dialysat. La pharmacopée européenne, agissant comme référence en l'absence de normes algériennes spécifiques, indique que le pH de l'eau purifiée utilisée en hémodialyse devrait être compris entre 4,4 et 7,4.

Les résultats trimestriels du pH (**figure 27**) d'eau osmosée mesurés au niveau des systèmes Gambro et Nipro indiquent que :

- Le pH de l'eau osmosée de système Gambro : varie entre 7,53 et 7,91 ce qui montre que toutes les valeurs dépassent la limite supérieure de la norme.
- Le pH de l'eau osmosée de système Nipro : varie entre 7,42 et 7,82, donc la seule valeur conforme est celle de 7,42 ; toutes les autres dépassent les seuils limités.

Pour corriger l'alcalinité légèrement élevée de l'eau d'hémodialyse, Il est impératif de vérifier et ajuster le système de régulation du pH et de renforcer la surveillance de la qualité de l'eau pour garantir la sécurité des patients.

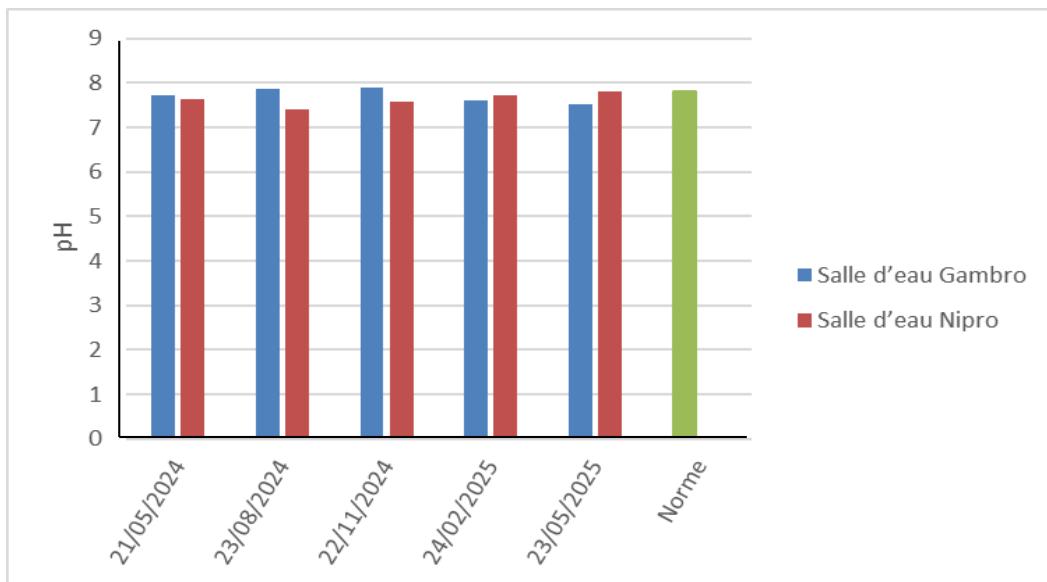


Figure 27 : Variation de pH d'eau osmosée dans les deux système Gambio et Nipro.

3.1.6 La dureté

La dureté de l'eau correspond à la quantité de calcium et de magnésium dissous dans l'eau. Une dureté trop élevée peut provoquer des accumulations dans les appareils, en particulier sur les membranes d'osmose inverse. Dans le cadre de l'évaluation de la dureté, deux types de résultats ont été fournis ; qualitatif et quantitatif.

a) Résultat de test qualitatif

Le test qualitatif de la dureté de l'eau adoucie issue des installations Gambio et Nipro a été réalisé quotidiennement. L'apparition d'une coloration bleue (**figure 28**) : signe d'une absence de dureté résiduelle.



Figure 28 : Résultat d'un test qualitatif négatif pour la dureté.

L'apparition d'une coloration rose (**figure 29**) : traduis la présence de dureté dans l'eau. Dans ces cas, une régénération des adoucisseurs est lancée, environ une heure.



Figure 29 : Résultat d'un test qualitatif positif pour la dureté.

b) Résultat quantitatif

Toutes les valeurs au niveau de deux salles sont inférieures à la limite maximale 10 mg/L (**figure 30**). La dureté de l'eau dans les deux systèmes est conforme aux exigences algériennes.

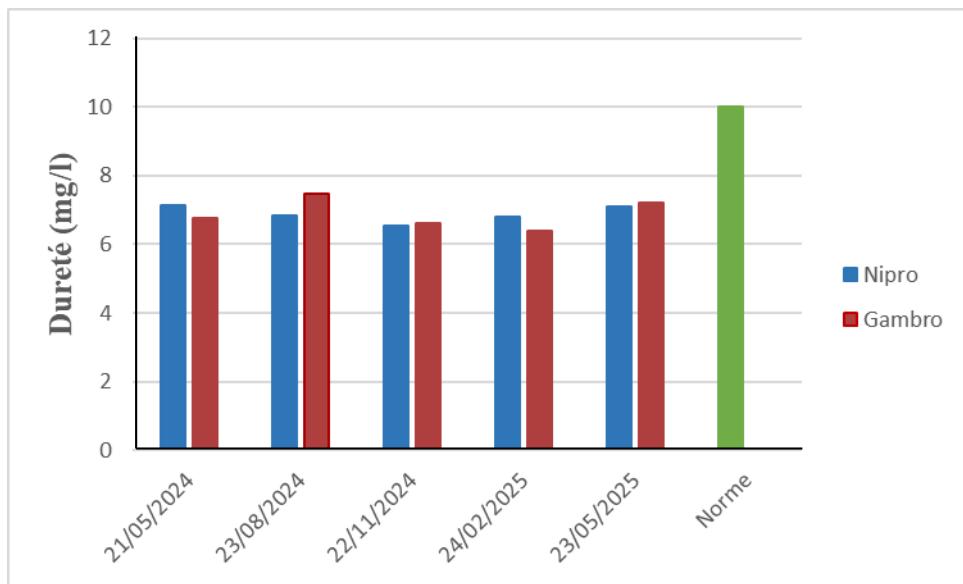


Figure 30 : Valeurs de la dureté mesurées dans les salles d'eau Gambro et Nipro.

3.1.7 Le calcium

La présence des ions Ca²⁺ dans l'eau est liée principalement à la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO₄). Un taux trop élevé ou trop faible dans l'eau de dialyse peut compromettre à la fois la sécurité des équipements et la santé des patients.

Les concentrations en calcium observées (**figure 31**) dans l'eau dans la salle de système nipro oscillent entre 0,96mg/l et 1,12mg/l et dans l'autre salle de système gambro entre 0,97mg/l et 1,17mg/l. Ces données sont conformes aux normes exigées ce qui confirme l'absence de surcharge calcique dans l'eau.

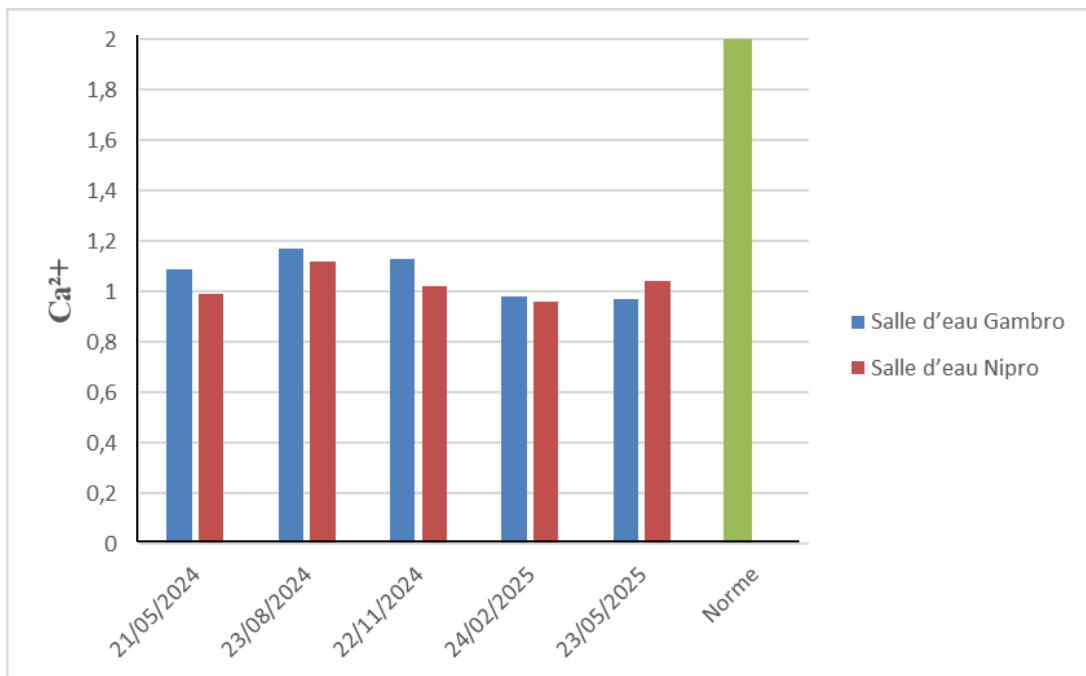


Figure 31 : Variation du Calcium de l'eau dans les deux salles.

3.1.8 Le magnésium

Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau. Une charge excessive en (Mg²⁺) peut causer une l'hypermagnésémie pour les patients dialysés.

D'après les résultats obtenus (**figure 32**), les valeurs :

- Pour l'eau adoucie de système Nipro : sont comprises entre 0,94 et 1,14 mg/L.
- Pour l'eau adoucie de système Gambio : varient entre 0,98 et 1,16 mg/L.

Ce qui induit que les résultats ne dépassent pas la norme Algérienne qui est de 1,2 mg/L.

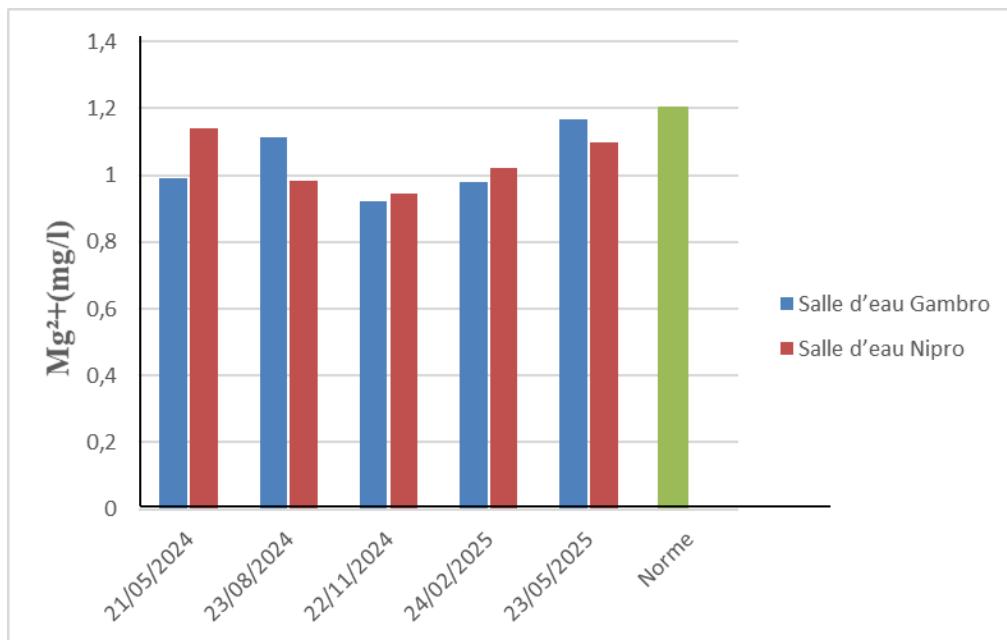


Figure 32 : Variation du magnésium pour l'eau adoucie sur les deux salles.

3.1.9 Les nitrates

Une concentration accrue de nitrates peut être néfaste pour les patients, car cela risque de provoquer des désordres métaboliques sévères tels que la méthémoglobinémie.

Les valeurs des concentrations en nitrates de l'eau adoucie enregistrées (**figure 33**) au niveau de deux salles, Nipro et Gambio sont autour de 0,15 à 0,2 mg/L. Notons que toutes les concentrations en cet élément sont conformes à la norme algérienne de 0,2 mg/L.

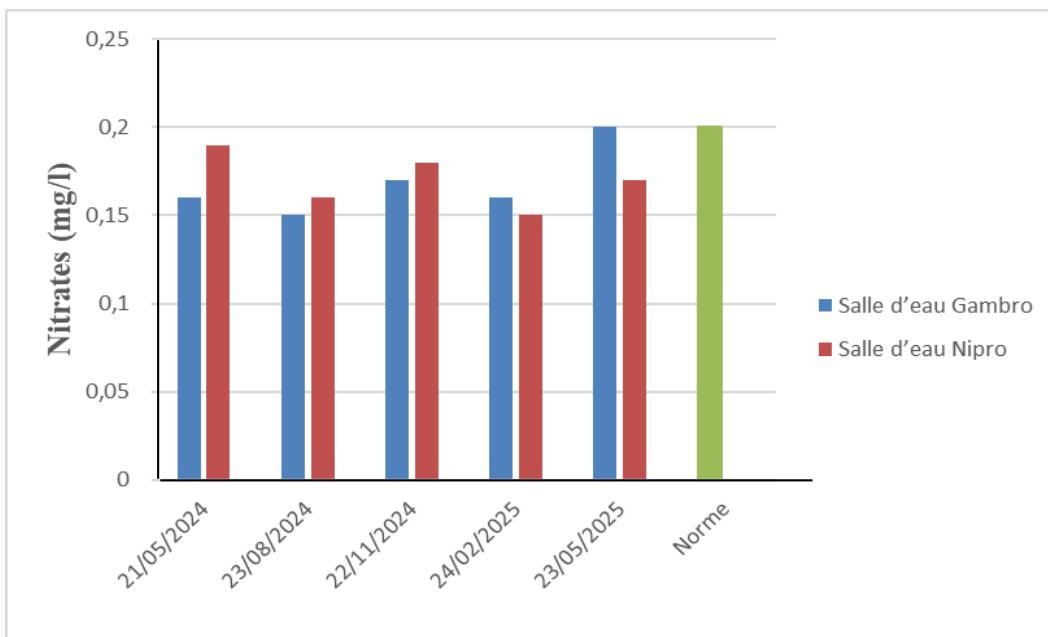


Figure 33 : variation des nitrates d'eau adoucie au niveau de Nipro et Gambio.

3.1.10 Les chlorures

Les chlorures sont toujours présents dans l'eau à des taux différents, une surveillance régulière est indispensable pour prévenir toute augmentation qui pourrait entraîner des irritations ou une surcharge chez les patients.

Sur la base des résultats des analyses effectuées pour l'eau adoucie (**figure 34**), les teneurs en chlorures varient d'une salle à l'autre :

- Dans la salle de système Nipro : varie de 39,96 à 47,2 mg/L.
- Dans la salle de système Gambro : comprise entre 39,05 et 45,1 mg/L.

Finalement, on a trouvé que les chlorures sont présents, mais dans des limites sécuritaires (50 mg/L).

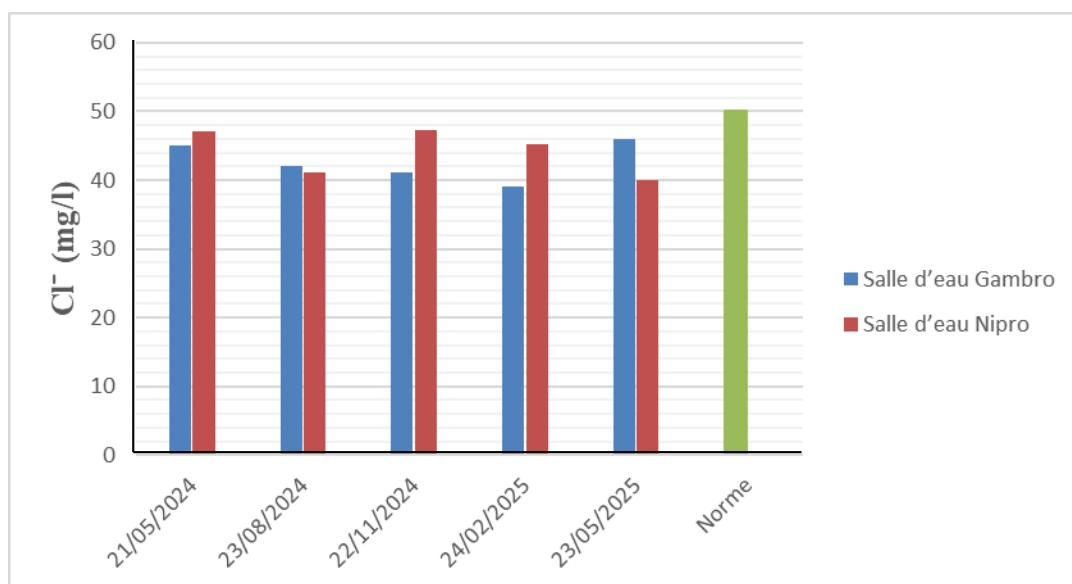


Figure 34 : Évolution des teneurs en chlorures dans les deux salles.

3.1.11 L'aluminium

L'aluminium est un contaminant toxique, car il peut provoquer des effets neurologiques et osseux à long terme.

Les tests ont montré que la teneur en aluminium dans l'eau des salles Nipro et Gambro (**figure 35**) sont comprises entre 0,007 – 0,009 mg/L, donc ils respectent la teneur maximale autorisée par les normes algériennes de 0,01 mg/L.

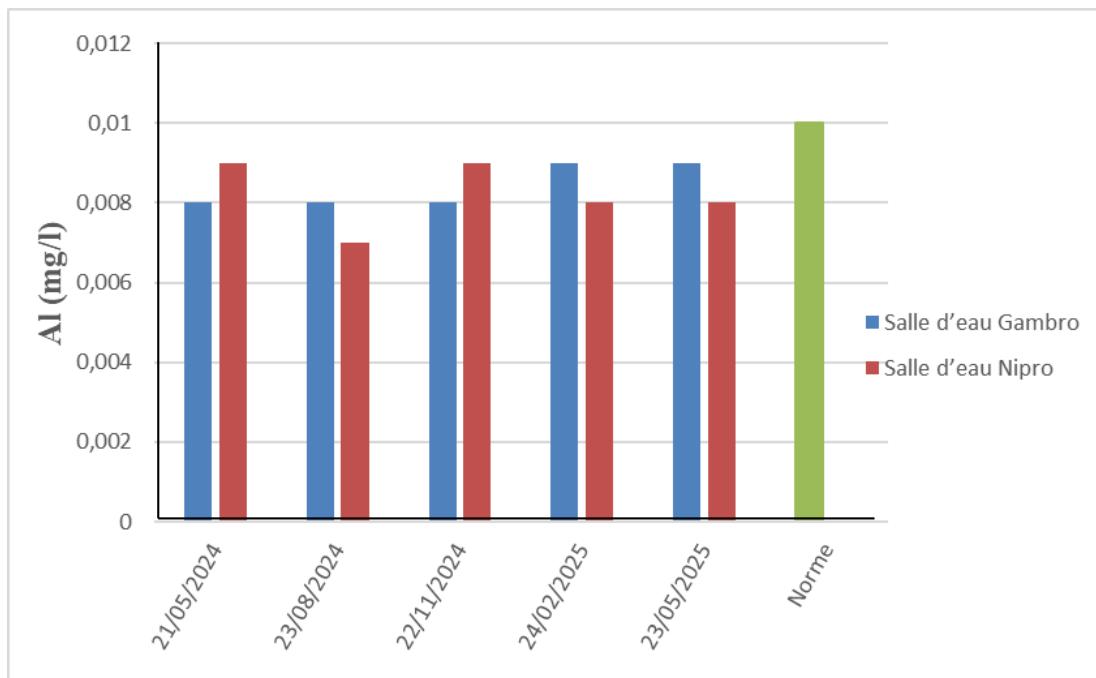


Figure 35 : Suivi des teneurs en Aluminium dans les deux salles.

3.1.12 Les phosphates

Un paramètre dont le contrôle strict pour éviter les calcifications vasculaires et prévenir les déséquilibres métaboliques chez les patients en hémodialyse.

Les dosages des phosphates (mg/L) effectuées à différentes dates dans les deux salles d'eau, Gambro et Nipro, ont mis en évidence des valeurs faibles (**figure 36**). Sur toute la période étudiée on a trouvé que les résultats pour les deux salles sont presque identiques entre 0,12 - 0,15 mg/L. La qualité de l'eau concernant les phosphates est pleinement conforme selon les normes ISO 23500-5:2019.

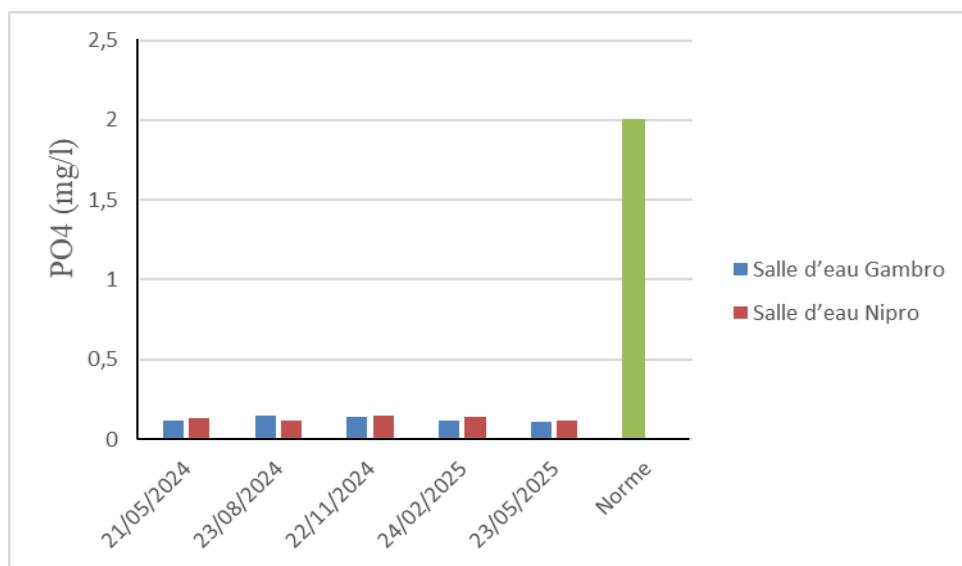


Figure 36 : Les dosages des phosphates pour les deux salles d'eau.

3.2 Résultat des analyses bactériologiques

Les résultats des analyses bactériologiques effectuées mensuellement sur l'eau de bâche à eau, l'eau osmosée des installations de système Gambro et Nipro et à la sortie du générateur sont présentés par rapport aux normes de qualité exigées pour l'eau en hémodialyse.

3.2.1 Les coliformes totaux

Les résultats sont exprimés en Unités Formant Colonies (UFC) pour une quantité de 100 ml d'eau sous formes de tableau (**tableau 4**).

Absence : (-)

Présence : (+)

Tableau4 : résultats de l'examen Bactériologique des coliformes totaux.

	Bâche à eau	Système Nipro	Système Gambro	Sortie du générateur
14/01/2025	-	-	-	-
13/02/2025	-	-	-	-
16/03/2025	-	-	-	-
15/04/2025	-	-	-	-
14/05/2025	-	-	-	-

Les résultats présentés indiquent une absence totale de coliformes dans tous les échantillons prélevés, sur les divers points critiques du circuit de traitement de l'eau, entre le 14 janvier et le 14 mai 2025.

3.2.2 Les coliformes thermo-tolérants

Les examens bactériologiques des coliformes thermo-tolérants (**tableau 5**) , montrent une absence de formations des colonies bactériologiques sur les différents points de prélèvement entre 14 janvier et 14 mai 2025 .

Tableau 5 : résultats de l'examen Bactériologique des coliformes thermo-tolérants.

	Bâche à eau	Système Nipro	Système Gambro	Sortie du générateur
14/01/2025	-	-	-	-
13/02/2025	-	-	-	-
16/03/2025	-	-	-	-
15/04/2025	-	-	-	-
14/05/2025	-	-	-	-

L'absence de contamination microbiologique au niveau de coliformes totaux et thermo-tolérants valide l'excellente qualité de l'eau utilisée pour l'hémodialyse et confirme la bonne maintenance des installations de traitement.

3.3 Comparaison entre l'équipement de marque Nipro et Gambro

Pour comprendre au mieux les caractéristiques et l'efficacité de l'eau utilisée, il est important de mettre en comparaison les particularités des deux dispositifs de traitement existants, à savoir Gambro et Nipro (**tableau 6**). L'analyse des critères de deux systèmes démontre clairement la supériorité du système Nipro, Grâce à sa technologie moderne, ses performances de filtration supérieures et son osmoseur à haut débit, assure une meilleure qualité de l'eau et une sécurité renforcée.

Tableau 6 : Comparaison entre les deux dispositifs de traitement.

1.1.1.1.1.1.1.1 Critère	1.1.1.1.1.1.1.2 Gambio	1.1.1.1.1.1.1.3 Nipro
1.1.1.1.1.1.1.4 Mise en service	1.1.1.1.1.1.5 2010 (ancien système)	1.1.1.1.1.1.6 Récemment installé (8 mois), système plus récent
1.1.1.1.1.1.1.7 Type de préfiltration	1.1.1.1.1.1.8 Filtre à sable	1.1.1.1.1.1.9 Filtre Turbidex (zéolithe naturelle, filtration multifonctionnelle)
1.1.1.1.1.1.1.10 Filtration charbon actif	1.1.1.1.1.1.11 1 colonne 16×65 pouces, rinçage automatique par volume ou temps	1.1.1.1.1.1.12 1 colonnes 14×65 pouces, rinçage automatique volume/
1.1.1.1.1.1.13 Adoucisseur	1.1.1.1.1.1.14 2 colonnes 10×50 pouces, résine 60 L/colonnes, régénération alternée	1.1.1.1.1.1.15 2 colonnes 13×54 pouces, résine 60 L/colonnes, modèle duplex avec gestion automatisée
1.1.1.1.1.1.16 Osmoseur	1.1.1.1.1.1.17 Gambr o CWP 60, débit 300-650 L/h (10-25°C)	1.1.1.1.1.1.18 RO Medical Basic, débit 350-1520 L/h (15-20°C)
1.1.1.1.1.1.19 Commande / surveillance	1.1.1.1.1.1.20 Capteurs de pression/cond uctivité, affichage numérique avec alarmes	1.1.1.1.1.1.21 Système avancé : capteurs pression/cond uctivité, indicateurs

			débit, sécurité renforcée
1.1.1.1.1.1.1.22 Matériaux	1.1.1.1.1.1.23 PVC / PE conformes normes médicales	1.1.1.1.1.1.24 PVC / PE + cadre inox thermolaqué (meilleure robustesse)	
1.1.1.1.1.1.1.25 Aération / environnement	1.1.1.1.1.1.26 Salle fermée, vérification nécessaire T° et humidité	1.1.1.1.1.1.27 Bonne aération naturelle + climatisation	

Bien que la comparaison des équipements montre une supériorité technologique du système Nipro, les données pratiques montrent que le système Gambro affiche parfois de meilleurs résultats. Cela ne signifie pas que le système Nipro est moins performant, mais indiquent que l'efficacité sur le terrain est également conditionnée par des autres facteurs tels que la maintenance la régularité des opérations de désinfection.

Conclusion

L'eau est essentielle au bon fonctionnement rénal, facilitant l'élimination des déchets azotés, la régulation du volume sanguin, le maintien de l'équilibre électrolytique et l'excrétion des toxines hydrosolubles. Chez les patients atteints d'insuffisance rénale chronique, ces fonctions étant altérées, l'hémodialyse devient indispensable pour compenser cette défaillance. Donc l'eau servant à préparer le dialysat entre directement en contact avec le sang du patient via la membrane du dialyseur. Sa qualité doit donc être irréprochable, tant sur le plan physico-chimique que bactériologique, afin de prévenir des complications graves telles que les réactions pyrogènes, les infections ou les déséquilibres ioniques.

Dans le cadre de ce mémoire, un travail de terrain a été réalisé à l'Établissement Hospitalier Spécialisé (EHS) Daksi de Constantine, dans deux salles d'hémodialyse équipées de systèmes de traitement de l'eau différents : Gambio, en fonctionnement depuis plusieurs années, et Nipro, récemment mis en place. Ce stage a permis d'observer l'ensemble du processus de traitement de l'eau, depuis la bâche principale jusqu'aux générateurs de dialyse. Des prélèvements ont été effectués à différents points du circuit afin d'évaluer la qualité de l'eau utilisée en hémodialyse.

Pour les paramètres physico-chimiques, la température et la conductivité ont été relevées automatiquement par les capteurs intégrés au système. Le sodium et le potassium ont été analysés au niveau des générateurs situés dans le service d'hémodialyse, car ce sont des ions présents dans le dialysat final. En revanche, l'analyse de la dureté a été effectuée à partir de l'eau adoucie, tandis que les paramètres tels que le pH, le calcium, le magnésium, les nitrates, les chlorures et l'aluminium ont été mesurés à partir de l'eau osmosée.

Concernant les analyses bactériologiques, elles ont porté sur la recherche des coliformes totaux et des coliformes thermo-tolérants. Les prélèvements ont été effectués à partir de l'eau de la bâche, de l'eau osmosée, ainsi que des générateurs. Les résultats ont montré une bonne qualité microbiologique, sans détection de contamination.

Recommendations :

Dans le but de conserver les ressources et d'assurer la durabilité, nous proposons les recommandations suivantes :

- Valoriser les eaux rejetées pour des usages secondaires au sein de l'hôpital comme le nettoyage.

- Optimiser les osmoseurs pour réduire les volumes d'eau perdus sans compromettre la qualité de l'eau produite.
- Sensibiliser le personnel à l'importance de maîtriser la consommation d'eau à toutes les étapes du traitement et de la maintenance.
- Intégrer des technologies économies dans le cadre des futurs projets d'amélioration des installations.

Ces recommandations cherchent à la fois à maintenir la qualité des soins et à assurer une gestion durable des ressources, dans le cadre d'une approche de responsabilité écologique qui doit désormais accompagner toute activité hospitalière.

Bibliographie

- Barnoux MC, Calvez CM, Gambert R, Guegan M, Le Calloch F, Revel R, Rolland J, Seyrig JA. Contrôle de l'eau pour l'hémodialyse. Guide de méthodologie. 1re éd. H2O; 2015.
- Bossard C, Metayer H. Traitement d'eau. 1re éd. Paris: Association des techniciens de dialyse; 2020.
- Collin AM, Detalminil A. Contrôle qualité en hémodialyse. Compiègne: Université de Technologie de Compiègne; 2005. Disponible sur: <http://www.utc.fr/~farges/> (consulté le 10 avril 2025).
- CORESH J, Byrd-Holt D, Astor BC, Briggs JP, Eggers PW, Lacher DA, Hostetter TH. Chronic kidney disease awareness, prevalence, and trends among U.S. adults, 1999 to 2000. Journal of the American Society of Nephrology. 2005;16(1):180-188.
- Dahri S. L'eau en hémodialyse. Thèse de doctorat en médecine. Fès: Université Sidi Mohammed Ben Abdallah, Faculté de médecine et de pharmacie; 2012.
- Dorez D, Soule H. L'eau de dialyse en réanimation. Réanimation. 2009;18(6):407-412.
- Florian C. De l'insuffisance rénale chronique à la dialyse. Rôle du pharmacien d'officine dans l'accompagnement du patient dialysé. Thèse de doctorat en pharmacie. Grenoble: Université Joseph Fourier, Faculté de pharmacie; 2011.
- Fuentes J. Informatisation des données d'un système de traitement d'eau de dialyse. Montpellier: CHU Montpellier; 2022. (Rapport de stage, formation continue Certification Assistant Biomédical en Ingénierie Hospitalière).
- Jacquet A, Cueff C, Memain N, Pallot J. Progrès réalisés et à venir de l'hémodialyse intermittente. Réanimation. 2005;14(6):539-550.
- Journal Officiel. Décrets no 2002-465 et no 2002-466 du 5 avril 2002 relatifs à la qualité de l'eau destinée à l'hémodialyse. Journal Officiel de la République Française; 2002 avr 6.
- Journal officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire. N° 30 du 28 avril 2002. Alger: JORA; 2002.
- Khalfaoui MA. Générateurs de dialyse. 1re éd. Casablanca: Service de Néphrologie, Hémodialyse, CHU Ibn Rochd; 2013.
- Kunegel E. L'eau et les liquides de dialyse dans le traitement de l'insuffisance rénale chronique terminale. Nancy: Université de Lorraine; 2013. Disponible sur: <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01733202v1> (consulté le 13 avril 2025).
- Mime MI, Bouterfas B, Bellebia S, Bengharez Z, Benrachedi K. Investigation expérimentale et statistique de la qualité de l'eau pour hémodialyse et du dialysat. Actes de la 4e Conférence

Internationale des Énergies Renouvelables (CIER-2016). Proceedings of Engineering and Technology – PET. 2016;16:97-103.

- Niang A, El Fajri S, Pandya S. Sauver vos reins. 1re éd. Dakar: Samarpan Kidney Foundation; 2015. p. 3.

- Pereira BJG. Diffusive and convective transfer of cytokine-inducing bacterial products across hemodialysis membranes. *Kidney Int.* 1995;47:603-610.

- Preminger GM. Reins. 1re éd. Duke Comprehensive Kidney Stone Center; Merck Manuals; 2022. Disponible sur: <https://www.merckmanuals.com/fr-ca/accueil/troubles-renaux-et-des-voies-urinaires/biologie-du-rein-et-des-voies-urinaires/reins> (consulté le 10 avril 2025).

- Remy P, Rostoker G. Hémodialyse et dialyse péritonéale. In: Décision en uronéphrologie. Tome 1: Néphrologie. Paris: Vigot; 1997. p. 228-248.

WEBOGRAPHIE

- Culligan France. Peut-on boire l'eau adoucie ? Disponible sur: <https://www.culligan.fr/conseils/peut-on-boire-l-eau-adoucie/> (consulté le 13 avril 2025).

- Index Santé. Principales fonctions des reins. Disponible sur: <https://www.indexsante.ca/chroniques/711/principales-fonctions-des-reins.php> (consulté le 14 avril 2025).

- Ministère de la Santé. Qualité de l'eau en hémodialyse. Disponible sur: <https://sante.gouv.fr/fichiers/bo/2000/00-31/a0312255.htm> (consulté le 13 avril 2025).

Année universitaire : 2024-2025	Présenté par : - Mallem Salih -Aouaichia Marwa
Intitulé : Qualité physico-chimique bactériologique des eaux hémodialyse	
Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie	
Filière : Sciences Biologiques / Biotechnologies / Écologie et Environnement Spécialité : Écologie fondamentale et appliquée	
<p>Résumé</p> <p>L'eau est un élément critique en hémodialyse, entrant en contact direct avec le sang des patients souffrant d'insuffisance rénale chronique. Toute altération de sa qualité peut entraîner des risques sanitaires graves. Ce mémoire s'intéresse à l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau utilisée pour l'hémodialyse au sein de l'Établissement Hospitalier Spécialisé (EHS) en Néphrologie et Transplantation Rénale "المجاهد المتوفى عمار بوشريط" situé à Daksi-Constantine.</p> <p>Cette étude analyse la qualité de l'eau dans deux salles d'hémodialyse équipées de systèmes de traitement distincts: le système Gambro, en service depuis plusieurs années, et le système Nipro, récemment installé. Après une présentation du fonctionnement rénal, des principes de la dialyse et des équipements utilisés, l'analyse s'est focalisée sur les différentes étapes de traitement de l'eau, allant de la filtration à l'osmose inverse.</p> <p>Des prélèvements ont été effectués à divers points du circuit pour analyser plusieurs paramètres physico-chimiques (pH, dureté, conductivité, sodium, ...) et bactériologiques. Les résultats montrent que les deux systèmes respectent globalement les normes. Toutefois, une valeur de pH légèrement supérieure à la limite fixée par la Pharmacopée Européenne a été observée, bien qu'elle reste dans les seuils acceptés par la norme ISO 23500. Par ailleurs, bien que le système Nipro soit plus récent et plus performant sur le plan technologique, il a donné des résultats moins satisfaisants que Gambro, soulignant l'importance de la maintenance et du suivi dans la performance réelle du traitement de l'eau.</p>	
<p>Mots-clés: Hémodialyse, insuffisance rénale chronique, traitement, Gambro, Nipro, filtration, osmose inverse, paramètres physico-chimiques, bactériologiques.</p>	
<p>Lieu de recherche : l'EHS en Néphrologie et Transplantation Rénale « بوشريط عمار المجاهد » à Daksi-Constantine.</p>	
<p>Président : Sahli Lila (Prof- UConstantine 1 Frères Mentouri). Encadrant : Touati Laid (Prof- UConstantine 1 Frères Mentouri). Examinateur : Cheriti Oumannia (MCB- UConstantine 1 Frères Mentouri).</p>	
<p>Date de soutenance : 28/06/2025.</p>	