



Dédicaces

Remerciements

Liste des abréviations

Illustrations des tableaux et figures

Résumé

Présentation du LRDEHM

Présentation du lieu de prélèvement

A- Introduction générale.....	1
B- Revue bibliographique.....	2
I. L'hémodialyse.....	2
1. Généralités	2
2. Epidémiologie	2
3. L'eau en hémodialyse.....	2
a- Rôle de l'eau en hémodialyse.....	2
b- Estimation du besoin en eau.....	2
II. Les effluents hospitaliers.....	3
1. Définition.....	3
2. Origine des effluents liquides hospitaliers	3
3. Rejets hospitaliers.....	3
3.1. Rejets de nature domestique.....	3
3.2. Rejets de nature spécifique à l'hôpital ou à certains soins.....	3
4. Contamination des rejets.....	4
4.1. La contamination biologique.....	4
4.2. La contamination chimique.....	4
5. L'impact des effluents hospitaliers sur la santé et l'environnement.....	4
5.1. Le risque infectieux.....	5
5.2. Le risque toxique.....	5
5.2.1. Les détergents, les désinfectants et les antiseptiques.....	5
5.2.2. Les alcools, les hydrocarbures et les acides	5
6. Gestion des rejets des établissements de soin.....	6
III. Recyclage des effluents.....	6
1. Historique.....	6
2. Enjeux de la réutilisation des effluents.....	7
2.1. Enjeux environnementaux.....	7
2.2. Enjeux économiques.....	7
2.3. Enjeux sociaux.....	8
3. Evaluation des effluents destinés à l'irrigation.....	8
3.1. Normes de la réutilisation.....	8
3.2. Paramètres microbiologiques.....	9
a- Coliformes fécaux.....	9
b- <i>Vibriochoerae</i>	10



c- <i>Salmonella spp</i>	10
3.3. Paramètres physico-chimiques.....	10
3.3.1. La température.....	10
3.3.2. La conductivité électrique	10
3.3.3. Le potentiel hydrogène (pH).....	11
3.3.4. Les matières en suspension.....	11
3.3.5. Les matières azotées.....	11
3.3.6. Le phosphore.....	11
3.3.7. Le sulfate.....	12
3.3.8. Les chlorures.....	12
4. Les métaux lourds.....	12
4.1. Définition.....	12
4.2. Méthode d'analyse.....	13
C- Partie expérimentale.....	15
D- Résultats et discussion.....	24
E- Conclusion et recommandations.....	33
Annexes.....	34
Références bibliographiques.....	38

Liste des abréviations

AAS : spectrométrie d'absorption atomique	KCl : Chlorure de Potassium
Al : Aluminium	Li: Lithium



As : Arsenic	LRDEHM : Laboratoire Régional de Diagnostic Epidémiologique et d'Hygiène du Milieu
Ba: Barium	Mg: Magnésium
C : Composite	Mn: Manganèse
C6H5N : Pyrimidine	MS : Ministère de la Santé
Ca: Calcium	Na: Sodium
Cd : Cadmium	NaCl: Chlorure de Sodium
CE : Conductivité électrique	NED: N-(naphtyl-1) Diamino- 1,2 Ethane
CF : coliformes fécaux	NF : Norme française
CN : Cyanures	NH4+: Ion ammonium
Co: Cobalt	nm : Nanomètre
Cr: Chrome	NM : Norme marocaine
Cu : Cuivre	N-NO3- : Azote nitrique
CURI : Centre Universitaire Régional d'Interface	NO2-: Nitrite
DPD : Diéthyl-Paraphénylène-Diamine	NO3-: Nitrate
E.D : Eau distillée	OMS: Organisation Mondiale de la Santé
EPT : Eau peptonée	Pb: Plomb
F : Fluor	pH: Potentiel Hydrogène
FAO : organisation des Nations Unies pour l'alimentation et	PO43- : orthophosphates



l'agriculture	
Fe : Fer	Se : Sélénium
FST : Faculté des sciences et techniques	SIDA : Syndrome d'Immunodéficience Acquis
Ha : hectare	Sulfates : SO ₄ ²⁻
ICP : Induction Couplage à torche Plasma	UFC : unité formant colonie
ISO : Organisation internationale de normalisation	WHO : World Health Organization

Liste des illustrations

Liste des figures

Figure 1 : Potentiel d'hydrogène (pH) des composites analysés

Figure 2 : Conductivité électrique des composites analysés

Figure 3 : Concentration des nitrates au sein des composites analysés

Figure 4 : Concentration des nitrites au sein des composites analysés

Figure 5 : Concentration des sulfates au sein des composites analysés

Figure 6 : Concentration des chlorures au sein des composites analysés

Liste des tableaux

Tableau 1: Paramètres microbiologiques, physico-chimiques et toxiques

Tableau 2: Méthodes d'analyse en fonction du métal considéré

Tableau 3: Technique utilisée pour les analyses microbiologiques

Tableau 4: Résultats globaux des paramètres physico-chimiques des effluents destinés à l'irrigation

Tableau 5: Concentration en métaux lourds

Tableau 6 : Résultats des paramètres bactériologiques des échantillons prélevés



Glossaire

Amibes : Ce sont des êtres vivants du groupe des rhizopodes constitués d'une seule [cellule](#) mobile. Les amibes vivent dans des milieux humides et peuvent pénétrer dans l'organisme humain par l'eau de boisson ou la prise d'aliments contaminés.

Ascaris : L'*Ascaris (Ascaris lumbricoides)* est un ver rond [parasite](#), qui provoque l'[ascaridiose](#). Il est le plus grand des [nématodes](#) (vers ronds).

Champignons : végétal cryptogame, sans racine, tronc ni feuille (plante à thalle), dépourvu de chlorophylle, caractérisé par un appareil végétatif fait de filaments microscopiques nucléés et se produisant au moyen de spores.

Entérovirus : Le terme entérovirus désigne plusieurs types de virus qui se développent dans l'intestin de l'homme. Ces virus exclusivement humains comme les virus ECHO ou Coxsackie sont à l'origine de diverses pathologies, des maladies bénignes comme une infection digestive à des affections plus graves comme la myalgie épidémique

Hépatites : Le terme hépatite désigne tout processus inflammatoire du foie. Les causes les plus fréquentes des hépatites aiguës sont les infections virales et les médicaments.

Rotavirus : Un rotavirus est le virus qui est le plus impliqué dans les cas de [diarrhées](#) aiguës chez les moins de 5 ans. Le rotavirus est à l'origine de 15 à 50 % des [gastro-entérites](#) qui concernent chaque année 300 000 enfants français, notamment en période hivernale.

Salmonelloses : La salmonellose est une maladie alimentaire infectieuse provoquée par la [bactérie Salmonella](#), provoquant des [gastro-entérites](#).

SIDA : [Syndrome d'Immunodéficience Acquis](#). [Maladie](#) causée [par un effondrement des défenses immunitaires](#), [et qui se transmet par voie sanguine ou sexuelle](#).

Taenia : Les **ténias** ou **tænia**s forment le [genre](#) de [vers plats Taenia](#). Ce sont de longs vers [parasites](#) de l'[intestin](#), et couramment appelés **vers solitaires**.

Tuberculose : La tuberculose est une maladie provoquée par le bacille tuberculeux (*Mycobacterium tuberculosis*), qui touche le plus souvent les poumons. Elle se transmet lors de l'expectoration de gouttelettes de sécrétions bronchiques par des personnes atteintes de tuberculose-maladie.

Varicelle : La **varicelle**, classique sous sa forme de [maladie infantile](#) éruptive fréquente, en milieu tempéré, touche plus tardivement l'adulte en milieu tropical où elle est tout aussi caractérisée par sa très grande [contagiosité](#), exposant ainsi femme enceinte et [foetus](#). Elle traduit la primo-infection par le [virus varicelle-zona](#) ou VZV, virus de la famille [Herpesviridae](#).



Résumé

La prévalence de l'insuffisance rénale chronique continue à augmenter dans le monde. Son traitement peut être réalisé par hémodialyse. Cependant, cette méthode de suppléance la plus utilisée aussi bien au Maroc que dans d'autres pays, nécessite de grand volume d'eau notamment pour la préparation du dialysat, le rinçage et la désinfection des générateurs. Chaque patient traité 3 fois / semaine est en effet en contact durant chaque séance avec environ 150 litres de liquide de dialyse et est exposé aux 23 400 litres par an.

En vue de la réutilisation d'effluents liquides générés par le centre d'hémodialyse de l'hôpital Al Ghassani à Fès, les responsables de ce service ont décidé de traiter une partie des effluents et les réutiliser pour l'arrosage de l'espace vert créé à l'hôpital

Notre étude réalisée au LRDEHM, avait pour objectifs d'analyser les paramètres physico-chimiques et bactériologiques des effluents liquides destinés à l'irrigation issus du service d'hémodialyse, d'évaluer la qualité de ces effluents par rapport à la réglementation en vigueur et d'apprécier le protocole de traitement des effluents mis en place.

28 échantillons (21 prélevés et 7 composites préparés par mélange de tous les prélèvements journaliers) ont été acheminés au laboratoire dans une glacière maintenue à 4°C, pour être analysés. Les analyses physico-chimiques et bactériologiques ont été faites selon des méthodes normalisées. Le dosage des métaux lourds a été fait par la méthode d'ICP au sein du CURI.

Sur le plan bactériologique, une absence de contamination par le *Vibrio cholérique* et les *Salmonelles*, a été constatée au sein de tous les échantillons. Cependant, la présence de



Coliformes fécaux a été notée mais à un taux qui ne dépasse pas les limites d'acceptabilités (<1000 C/100 ml) stipulées par la réglementation en vigueur relative à la qualité des eaux destinées à l'irrigation.

Sur le plan physico-chimique, la majorité des paramètres analysés ne dépassait pas les limites fixées par la réglementation en vigueur, à l'exception d'un seul échantillon qui avait montré un surdosage des nitrates et un autre celui des chlorures.

L'analyse des métaux lourds (Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, V, Zn) par la technique d'ICP a révélé une conformité de tous les métaux lourds analysés par rapport à la réglementation en vigueur.

Une conformité bactériologique de la totalité et de celle physico-chimique de la quasi-totalité des effluents destinées à l'irrigation à la réglementation relative à la qualité des eaux destinées à l'irrigation, ont été obtenues.

Un contrôle des paramètres relatifs aux nitrates et aux chlorures ainsi qu'un contrôle parasitologique des effluents devraient être réalisés.

Il serait souhaitable de recycler les effluents issus d'hémodialyse, après traitement et évaluation, permettant d'optimiser et de gérer les ressources en eau.

Mots clés : Effluents, qualité bactériologique, qualité physico-chimique, service d'hémodialyse, irrigation, réglementation nationale, LRDEHM.Fès, Maroc.

Présentation du LRDEHM- Fès





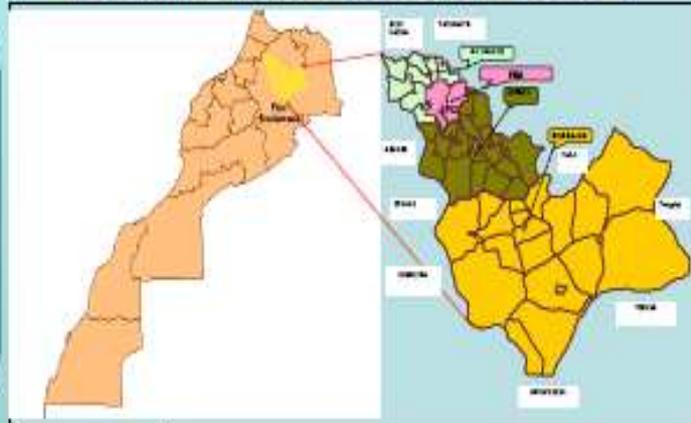
LABORATOIRE REGIONAL DE DIAGNOSTIC EPIDEMIOLOGIQUE ET D'HYGIENE DU MILIEU DE LA VILLE DE FES

HISTORIQUE

En 1977 Le Ministère de la Santé a créé des laboratoires "à visée préventive" : les Laboratoires de Diagnostic Epidémiologique et d'Hygiène du Milieu (LDEHM). Ils constituent une structure d'appui indispensable pour la surveillance épidémiologique des maladies infectieuses et transmissibles et pour les programmes sanitaires du Ministère de la Santé dans le cadre de l'Hygiène de l'environnement.

Actuellement il existe 42 LDEHM. Le laboratoire de Fès fait partie des 11 laboratoires régionaux qui ont vu le jour à partir des années 80. Il est implanté à l'Hôpital EL GHASSANI et est individualisé des Laboratoires d'analyses cliniques et de transfusion.

SITUATION GÉOGRAPHIQUE DE LA VILLE DE FÈS



Organisation fonctionnelle du LRDEHM

LABORATOIRE REGIONAL DE DIAGNOSTIC EPIDEMIOLOGIQUE ET D'HYGIENE DU MILIEU DE FES

Cellule d'Assurance Qualité et de Statistique

Cellule de Santé et Environnement

Unité d'Hygiène

- Analyses microbiologiques des eaux et des aliments.
- Analyses microbiologiques de l'environnement hospitalier.

Unité de toxicologie

- Analyses physicochimiques des eaux.
- Toxicologie des aliments (Recherches aflatoxines par GC-MS).

Unité des Maladies Parasitaires

- Microscopie du poulain, de leishmaniose cutanée et de bilharziose.
- Diagnostic Immunologique du paludisme.

Unité d'Entomologie

- Identification de moustiques.
- Suivi de la sensibilité OMS des insectes aux pesticides.

Mission du LRDEHM

- Soutien au programme de prévention et de lutte contre les maladies infectieuses et transmissibles.
- Appui technique (Diagnostic et confirmation des maladies) pour les structures de soins de santé de base (RSSB).

Rattachement du LRDEHM

Le LRDEHM est rattaché au SIAAP et à la Direction Régionale de la Santé de Fès. Il est également en étroite relation avec l'Institut National d'Hygiène et la Direction d'Epidémiologie et de Lutte contre les Maladies de Rabat.

Assurance qualité au LRDEHM

- Une politique d'assurance qualité est mise en œuvre par le LRDEHM pour obtenir et garantir la qualité des analyses.
- Un système statistique informatisé est mis en place par le LRDEHM pour le traitement des résultats des analyses.

Clients du LRDEHM

Le LRDEHM couvre les besoins des délégations médicales des provinces et préfectures de la région Fès-Boulemane (villes de SULTAN HAYOUK, BOULEMANE, ANASSER, EL ANASSER, EL ANASSER, EL ANASSER, EL ANASSER) ainsi que ceux des Bureaux Communaux d'Hygiène, CHU Hassan II.

Perspectives

- > Structurer la collaboration et la coopération du laboratoire avec son environnement.
- > Développer et réaliser des études épidémiologiques en relation avec ses activités.
- > Installer d'autres analyses:
 - Analyses toxicologiques de l'eau (recherches des pesticides et métaux lourds).
 - Parasitologie des eaux.
 - Sérologie et PCR du paludisme.
 - Entomologie du moustique vecteur des leishmanioses.





L'eau est beaucoup plus qu'un simple besoin humain. Elle représente un élément essentiel et irremplaçable pour assurer la continuité de la vie [1]. Cependant, en raison des changements climatiques, de l'augmentation de la population et de la fréquence d'utilisation, le monde a connu sa rareté [1].

Au Maroc, le Rapport du Haut-Commissariat des eaux et forêts et de la désertification publié en 2012, a prévu une pénurie d'eau à l'horizon 2020 avec notamment une réduction de 49 % de la consommation en eau de chaque citoyen, entraînant certainement le manque de cette source dans l'avenir. Ceci oblige à penser à optimiser son utilisation et à éviter son gaspillage pour protéger l'environnement, et à développer de nouveaux programmes de recyclage des déchets, afin de pouvoir les réutiliser dans divers domaines (irrigation, arrosage, sanitaire, stérilisation des instruments chirurgicaux) et à encourager l'utilisation d'énergie solaire surtout dans un pays ensoleillé comme le nôtre [2].

Ainsi, le recours aux eaux usées brutes pour l'irrigation a constitué une alternative de choix par les agriculteurs aussi bien au Maroc que dans certains pays africains et méditerranéens. Chaque année, plus de 7000 ha sont irrigués directement par les eaux usées brutes rejetées par les villes, soit environ 70 millions de m³/an d'eaux usées réutilisées en agriculture sans aucun traitement préalable [3].

L'hémodialyse est un mode d'épuration extra rénale qui a pour objectif de rétablir l'équilibre du milieu intérieur grâce à un traitement discontinu de trois à six heures par séances, en deux à trois séances par semaine HAS. DAQSS ; 2008).

Nécessitant de grand volume d'eau aussi bien pour la préparation du dialysat que pour le rinçage et la désinfection des générateurs, chaque patient traité 3 fois / semaine est en effet en contact durant chaque séance avec environ 150 litres de liquide de dialyse et est exposé aux 23 400 litres par an (F.Tarrass, 2008) [8].

En vue de la réutilisation d'effluents liquides générés par le centre d'hémodialyse de l'hôpital Al Ghassani, les responsables de ce service ont décidé de traiter une partie des effluents et les réutiliser pour l'arrosage de l'espace vert créé à l'hôpital.

C'est dans ce cadre que nous avons réalisé cette étude intitulée :
« Caractérisation physico-chimique et bactériologique des effluents destinées à l'irrigation du service d'hémodialyse de l'hôpital Al Ghassani »

Dont les objectifs étaient :

- D'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique des effluents destinés à l'irrigation ;
- De comparer les résultats obtenus aux valeurs limites d'acceptabilité, élaborées par la réglementation en vigueur ;
- D'apprécier le protocole de traitement des effluents mis en place.

I. L'hémodialyse

1- Généralités



L'hémodialyse est un mode d'épuration extra rénale qui a pour objectif de rétablir l'équilibre du milieu intérieur grâce à un traitement discontinu de trois à six heures par séances, en deux à trois séances par semaine.

Réalisée grâce à un circuit extra-corporel du sang et du dialysat, le liquide de dialyse étant fabriqué par une machine appelée générateur de dialyse, l'hémodialyse consiste en un échange au travers d'une membrane semi-perméable, des substances dans le sang du patient insuffisant rénal avec celle d'une solution saline de composition électrolytique voisine de celle d'un plasma normal. Répétée régulièrement, elle permet l'épuration des toxines urémiques et la normalisation des déséquilibres électrolytiques.

C'est la méthode de suppléance la plus utilisée pour traiter les malades atteints d'insuffisance rénale. Elle concerne plus de 90 % des patients [4].

2- Epidémiologie

La méconnaissance de l'insuffisance rénale chronique débutante est un handicap majeur de santé publique. Il faut la démasquer en association à certaines pathologies fréquentes comme l'hypertension artérielle, le diabète, le prostatisme chez le sujet âgé.

En France, l'insuffisance rénale chronique terminale concerne plus de 50 000 personnes dont 60 % sont traités par hémodialyse et 40 % ont un greffon rénal fonctionnel [5].

Au Maroc, chaque année, environ 4.000 nouveaux cas atteints d'insuffisance rénale chronique doivent avoir recours à la dialyse ; Ce chiffre progresse de 5 à 8% par an. En 2012, plus de 3.000 patients ont été inscrits sur les listes d'attente des hôpitaux publics.

Actuellement, le nombre des patients a atteint 13.500 patients. La prise en charge par hémodialyse dépasse 5 500 cas dans le secteur privé et 2 500 dans les services de santé publique [6].

3- L'eau en hémodialyse

a- Rôle de l'eau en hémodialyse

L'eau de dialyse sert de liquide de dilution des solutions concentrées d'acide et de tampon permettant l'élaboration du dialysat par le générateur d'hémodialyse. Le dialysat est un élément majeur de l'efficacité et de la biocompatibilité du système d'épuration et de la sécurité du traitement [7].

b- Estimation du besoin en eau

L'hémodialyse est un processus qui nécessite un grand volume d'eau. Cette eau est en effet utilisée dans les centres d'hémodialyse continuellement et sert pour préparer le dialysat, rincer et retraiter les membranes de dialyse et désinfecter les générateurs.

En hémodialyse, chaque patient traité 3 fois par semaine est en contact durant chaque séance avec environ 150 litres de liquide de dialyse, et est exposé aux 23 400 litres par an. La consommation annuelle de l'eau pour un centre d'hémodialyse fonctionnant 12 heures par jour et 6 jours par semaine, est estimée à 112 m³, sans tenir compte de l'eau qui est rejetée pendant filtres de charbon et d'osmose inverse [8].



En outre, chaque unité de dialyse de taille moyenne produit plus de 1000000 de litres de liquide de dialysat par an. Dans le monde entier, il y a environ 28500 unités de dialyse produisant environ 25000000000 de litres de dialysat [9].

II. Les effluents hospitaliers

1. Définition

Il s'agit des rejets liquide produits en milieu hospitalier et véhiculant une certaine charge polluante.

2. Origine des effluents liquides hospitaliers

D'un point de vue qualitatif, les effluents liquides hospitaliers peuvent être classés en trois grandes catégories:

- Les rejets d'origine domestique : regroupent les eaux provenant des cuisines, les rejets résultant de l'hygiène des patients non contagieux et du personnel.
- Les rejets assimilables à des effluents industriels qui sont générés par certains équipements spécifiques (blanchisseries, chaufferies, climatisations, ateliers, garages).
- Les effluents spécifiques aux établissements de santé qui sont générés par les activités de soins, d'analyse et de recherche [10,11].

3. Rejets hospitaliers

3.1. Rejets de nature domestique

Dans cette catégorie, on retrouve les rejets des cuisines, les rejets de produits détergents, les rejets des garages et ateliers et ceux de la blanchisserie.

- **Les rejets des cuisines** : La confection des repas pose principalement le problème de rejet d'eaux grasses. Celles-ci outre les problèmes de putréfaction qu'elles génèrent, provoquent des dépôts dans les canalisations et le colmatage du réseau d'assainissement.
- **Les rejets de produits détergents et d'entretien** : La consommation de détergents et de produits d'entretien dans un hôpital est considérable compte-tenu de l'usage intensif qu'il en est fait : blanchisserie, nettoyage des surfaces, nettoyage du matériel médicochirurgical, toilette des patients et du personnel. Les risques de pollution par ces rejets sont surtout liés à leur nature chimique, leur caractère non biodégradable pour certaine et leur utilisation intensive.

Pour connaître approximativement les volumes de détergents et de produits d'entretien rejetés, il suffit de se référer aux bons de commande [12].

3.2. Rejets de nature spécifique à l'hôpital ou à certains soins

- **Rejets de nature spécifique à l'hôpital**

Ces rejets spécifiques communs aux différents services de soins sont les produits désinfectants et antiseptiques, les rejets de germes pathogènes, les médicaments et les métaux lourds (mercure, argent).

En ce qui concerne les désinfectants et les antiseptiques, ils sont utilisés en masse dans un hôpital pour la désinfection des surfaces et celle du matériel médico-chirurgical. Les produits les plus utilisés sont principalement des dérivés chlorés (eau de Javel...), les produits



contenant des aldéhydes (glutaraldéhyde qui est une molécule toxique pour l'Homme et l'environnement), la Bétadine (composé iodé), etc.

L'hôpital rejette également des germes pathogènes issus des personnes malades (*Pseudomonas aeruginosa*,...) qui peuvent se retrouver dans les eaux vannes en ayant développé une résistance aux antibiotiques. En effet, les rejets médicamenteux (analgésiques, antibiotiques...) émis après métabolisation par les patients représentent une quantité importante.

A ces rejets s'ajoutent aussi ceux des métaux lourds tels que le mercure et l'argent issus, pour l'un des bris des thermomètres à mercure (qui tendent à disparaître) et pour l'autre du service de radiologie [13].

- **Rejets spécifiques à certains services de soins**

Certains services nécessitent l'utilisation de certains produits toxiques :

- L'hémodialyse qui rejette non seulement des toxines, mais également des produits chimiques (formol, eau de Javel...), conséquence de la désinfection de l'appareil.
- Le service de médecine nucléaire qui manipule des éléments radioactifs, générant des déchets solides et liquides qui peuvent être susceptibles de dispersion. Les effluents radioactifs peuvent avoir deux origines : les services de thérapie et les services de diagnostic (laboratoires).
- Les laboratoires et de la pharmacie : même si des précautions sont prises quant à la mise en containers de certains produits dangereux, il n'en reste pas moins qu'une petite partie (eau de lavage) est évacuée dans le réseau d'égout [13].

4. Contamination des rejets

4.1. Contamination biologique

Le principal danger est lié à la forte teneur de certaines eaux usées des établissements de soins en germes pathogènes, y compris les bactéries, les virus, et les helminthes qui sont facilement transmis à travers l'eau. Ces effluents liquides contiennent des micro-organismes viables ou leurs toxines qui, en raison de leur nature, leur quantité ou leur métabolisme, causent la maladie chez l'homme ou chez d'autres organismes vivants [14].

4.2. Contamination chimique

Les produits chimiques qui sont généralement évacués dans le réseau d'égout des établissements de soins sont :

- Les produits de nettoyage et de désinfection ;
- Les métaux lourds (ex. : mercure des thermomètres brisés) ;
- Les réactifs périmés utilisés dans les laboratoires ;
- Les solvants ;
- Les effluents du service de radiologie [14].

5. L'impact des effluents hospitaliers sur la santé et l'environnement

En milieu hospitalier, on retrouve des effluents de nature biologique (sang, crachats, urines, etc.), de nature chimique (acides, bases, solvants...etc.) et mixtes chimico-biologique (liquides biologiques mélangés à des réactifs chimiques). Le risque infectieux et toxique est



lié aux quantités rejetées et à la qualité de l'effluent. Le risque concerne à la fois l'Homme et l'environnement [15].

5.1. Risque infectieux

Ce risque est lié aux différents micro-organismes pouvant être véhiculés par le sang et les liquides biologiques. La flore hospitalière est composée à la fois de la flore des malades et des germes de l'environnement (sols, surfaces, matériels, eau, air...etc.). Ainsi, les germes pathogènes que l'on trouve dans les eaux usées hospitalières peuvent être :

- Des bactéries présentes dans les selles ou les urines (Salmonelles, *Shigellaspp.* Coliformes, Vibrions, Streptocoques, etc.) ou des bactéries responsables d'infections nosocomiales (Staphylocoques, Streptocoques, *Pseudomonas...*). En outre, la majorité de ces bactéries a acquis une résistance aux antibiotiques ce qui les rend plus dangereuses.
- Des virus (hépatites, entérovirus, rotavirus...).
- Des parasites (amibes, tænia, ascaris, champignons...).
- Les agents infectieux strictement pathogènes responsables d'infections contagieuses. Ils proviennent des patients atteints de tuberculose, varicelle, infections à méningocoques, salmonelloses ou SIDA, etc.
- Les liquides biologiques des malades (sang...etc.) provenant des blocs opératoires et des laboratoires d'analyse.
- Les effluents chargés de matières organiques, de microorganismes, d'antiseptiques, de détergents et de désinfectants ainsi que de solutions chlorées [16].

5.2. Risques toxiques

Ces risques sont surtout liés aux produits chimiques utilisés dans les réactions rejetés sans précaution et contribuent à la pollution du réseau de rejet d'eaux usées. Certains produits peuvent avoir un pouvoir toxique allergisant, mutagène, tératogène. Ils peuvent se trouver en très faible quantité compte-tenu de la dilution dans les eaux usées.

Le risque toxique concerne à la fois l'environnement et la santé publique. Les eaux hospitalières peuvent être contaminées par des métaux lourds (plomb, fer III, argent...etc.) et par des molécules organiques (solvants, antibiotiques, désinfectants, détergents, médicaments...etc.) [17].

Le problème majeur est surtout lié aux médicaments anticancéreux qui présentent des risques mutagènes et tératogènes importants [16].

5.2.1. Les détergents, les désinfectants et les antiseptiques

Les désinfectants présentent un risque toxique pour le personnel du bloc opératoire en rapport directement avec leurs principes actifs, les volumes utilisés et les concentrations. Le mode d'élimination peut présenter un risque pour le personnel intervenant dans la maintenance, par exemple des réseaux d'eaux usées [16].

5.2.2. Les alcools, les hydrocarbures et les acides

Lors du dosage de l'hémoglobine, les rejets en acides sont significatifs. Ils présentent un risque à la fois toxique et biologique (sang).



De même, l'acide citrique, l'acide acétique et les dérivées chlorées, utilisées pour la dialyse, présentent un risque minime étant donné leur faible concentration.

L'utilisation du formol et de l'alcool éthylique peut exposer le personnel et les patients à une toxicité cutanée et respiratoire [16].

6. Gestion des rejets des établissements de soin

Le principe de base pour une gestion adéquate des effluents liquides est de minimiser le rejet des effluents dangereux à l'égout et de mettre en place un système local pour le traitement, l'élimination ou la réduction de la pollution chimique, biologique, etc. avant évacuation.

En ce qui concerne les effluents liquides des établissements de soins qui sont chargés par des agents biologiques, chimiques, pharmaceutiques et radioactifs dangereux, il est recommandé de procéder à un pré-traitement avant rejet à l'égout. Le type de pré-traitement dépend de la taille de l'établissement de santé, de la nature et du nombre des services médicaux et médicotechniques, de l'existence d'un système de gestion des eaux usées urbaines (système de collecte connecté à une station d'épuration des eaux usées) et surtout des ressources financières.

Le pré-traitement peut se faire à travers de petites stations d'épuration des grands hôpitaux, ou des ouvrages ou des pré-traitements spéciaux, permettant ainsi de traiter les effluents des services connus par leurs rejets dangereux notamment le service d'oncologie, les laboratoires, et le service de dialyse.

Toutefois, les établissements ne disposant pas d'un système de pré-traitement, doivent veiller à ce que les mesures suivantes soient appliquées afin de minimiser le risque sanitaire :

- Les effluents liquides contaminés par des polluants chimiques et pharmaceutiques et radioactifs doivent être collectés séparément et subir un pré-traitement avant évacuation dans le réseau d'égout.
- Les effluents liquides des établissements de soins ne doivent en aucun cas être déversés dans des cours d'eau utilisés pour l'irrigation, la production d'eau potable, l'aquaculture ou pour des activités récréatives [14].

III. Recyclage des effluents

1. Historique

La réutilisation des eaux usées pour des fins agricoles n'a pas commencé hier, il s'agit d'une pratique qui date de plusieurs milliers d'années. À l'époque, certains pays d'Asie utilisaient les matières fécales et l'urine comme amendement aux sols agricoles. Ainsi, entre les 17^{ème} et 19^{ème} siècles, certains pays de l'Europe ont commencé à réutiliser les eaux usées dans l'irrigation des cultures, sachant que le gouvernement de Londres était l'un des premiers à obliger le rejet des eaux usées dans des canaux construits à cette fin [18].

En outre, l'exploitation des eaux usées dans l'agriculture est devenue une pratique fréquente dans certains pays, comme l'Australie, l'Amérique du Nord et le Mexique, vers la fin du 19^{ème} siècle, et jusqu'à nos jours [19].

Dans le passé, cette réutilisation des eaux usées n'a pas été sans impact. L'effet négatif sur la santé humaine a conduit, au début du 20^{ème} siècle, à la construction des premières stations de traitement des eaux usées pour réduire l'impact des eaux rejetées dans le milieu naturel, surtout dans les pays industrialisés [18]. Toutefois, en 1950, dans les pays au climat aride, où



les ressources en eau sont moins disponibles, la réutilisation des eaux usées a trouvé un milieu favorable pour compenser le manque de précipitations [19].

2. Enjeux de la réutilisation des effluents

2.1 Enjeux environnementaux

De par leur charge en différents types de polluants, les eaux usées rejetées directement dans le milieu naturel constituent un risque sur les ressources naturelles et l'environnement. Néanmoins, une fois épurées adéquatement, les eaux usées pourraient être une source d'eau pour les secteurs connus pour leur forte consommation d'eau, comme l'agriculture.

Dans les régions arides et semi-arides, les variations dans les précipitations accompagnées par des périodes de sécheresse successives engendrent des impacts à long terme sur la disponibilité des eaux pour les agriculteurs [19]. Pour cela, d'un point de vue quantitatif, les eaux usées sont une source d'eau toujours disponible étant donné que la consommation d'eau propre ne s'arrête pas. En effet, les eaux usées traitées peuvent assurer l'équilibre du cycle naturel d'eau et préserver les ressources en réduisant les rejets néfastes dans le milieu naturel [20].

En fait, le recyclage des eaux usées traitées permettrait de générer une grande quantité d'eau qui serait disponible pour le secteur agricole. En 2005, la ville de Milan, en Italie, a pu irriguer 22 000 hectares de cultures maraîchères grâce à une usine de réutilisation des eaux usées ayant une capacité de 345 000 m³/j [21]. Dans la même optique, le gouvernement espagnol a adopté, en 2000, un plan dont l'objectif est le recyclage des eaux usées pour l'irrigation des parcours de golfs (300 golfs), à cela s'ajoute 408 millions de m³ déjà réutilisés dans le domaine de l'environnement [21]. En effet, cette approche de recyclage des eaux usées permettrait d'encourager la construction d'infrastructures de traitement de la pollution, ce qui engendrerait un impact positif sur le milieu récepteur à long terme.

2.2 Enjeux économiques

En plus des avantages environnementaux, les eaux usées épurées pourraient avoir un impact économique positif sur les agriculteurs. A la suite de la forte demande d'eau dans le secteur agricole, l'acheminement de l'eau traitée vers les champs agricoles diminuerait les incidences négatives causées par l'utilisation d'eaux propres en irrigation. En fait, l'irrigation peut avoir une incidence sur l'économie des agriculteurs pauvres, surtout lorsque l'égalité d'accès aux terres et à l'eau est absente, en plus des coûts élevés des ouvrages de transfert et de pompage d'eau agricole (FAO, 2005). Dès lors, les eaux traitées pourraient diminuer toutes ces dépenses et rendraient l'irrigation moins coûteuse et à la portée des agriculteurs locaux, ce qui leur permettrait d'investir leur argent dans la diversification des cultures et de s'orienter vers une agriculture à grande valeur ajoutée et plus durable. Cela augmenterait aussi la valeur foncière des terrains irrigués, en assurant des bénéfices économiques importants aux agriculteurs. Même les responsables de l'assainissement et du traitement des eaux pourraient bénéficier du prix de vente de l'eau traitée et des produits dérivés au lieu de la rejeter directement dans le milieu naturel [21].

D'autre part, l'agriculture est un secteur connu aussi par sa forte consommation d'engrais chimiques et minéraux dont le but principal est d'augmenter la récolte.

L'augmentation des prix des engrais pourrait ainsi avoir un impact sur la rentabilité des agriculteurs, s'ajoutant à cela les coûts de l'utilisation d'eau fraîche. Pour cette raison, le remplacement des engrais par une source de nutriments moins coûteuse, comme les eaux usées traitées, est vu comme une solution prometteuse.



En conséquence, la réutilisation des eaux usées traitées pourrait limiter et même éliminer l'utilisation des engrais chimiques dans l'irrigation en réduisant toutes les dépenses impliquées par cet usage [22].

2.3 Enjeux sociaux

La santé publique est aussi un enjeu important à tenir en compte, étant donné que plusieurs risques ont été identifiés lors de la réutilisation des eaux usées en irrigation, surtout lorsque ces eaux ne respectent pas les normes de réutilisation établies, ayant pour objectifs la protection de la santé humaine. Les eaux usées contiennent plusieurs micro-organismes pathogènes qui pourraient se retrouver dans l'effluent final qui sera réutilisé pour irriguer les cultures destinées à la consommation humaine. Certains risques ont un impact à court terme, selon la fréquence, le type et la durée de contact entre l'environnement, l'Homme et l'animal, et un impact à long terme qui augmente avec l'utilisation continue des eaux usées [23].

Par ailleurs, la réutilisation des eaux usées traitées a montré plusieurs avantages. En fait, l'irrigation par ces eaux a permis d'augmenter la récolte des légumes chez des personnes pauvres n'ayant pas les moyens d'acheter du poisson et de la viande. En conséquence, cette augmentation a engendré un impact positif sur la diététique de la population et sur le revenu des agriculteurs [24].

À l'échelle institutionnelle, la réutilisation des eaux usées pousserait les responsables à améliorer la réglementation environnementale et à adopter de nouvelles politiques de gestion de l'eau afin de protéger l'environnement et la santé publique contre les répercussions négatives des usages non contrôlés des eaux usées brutes [22].

3. Evaluation des effluents destinés à l'irrigation

3.1. Normes de la réutilisation

Au Maroc, l'agriculture représente le plus gros consommateur des ressources en eau. Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution ont des caractéristiques très diversifiées.

De plus, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies, les agriculteurs, notamment dans les régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées. C'est ainsi que des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ont été établies afin de :

- Soutenir le public et les ouvriers agricoles ;
- Protéger les consommateurs des produits agricoles ;
- Prévenir les ressources en eau superficielle et souterraine et les sols ;
- Parrainer le matériel d'irrigation ;
- Maintenir des rendements acceptables.

Selon ces normes, les eaux dont les caractéristiques respectent les valeurs limites inscrites dans le tableau suivant, sont des eaux valables pour l'irrigation [25].

Tableau1 : Paramètres microbiologiques, physico-chimiques et toxiques

Paramètres	Valeurs limites
------------	-----------------



Microbiologiques	Coliformes fécaux	1000/100 ml
	Salmonelle	Absence dans 5 l
	Vibron cholérique	Absence dans 450 ml
Physico-chimiques	Température (°C)	35
	Potentiel d'hydrogène (pH)	6.5 à 8.4
	Conductivité électrique (CE) en mS/cm à 25°C	12
	Chlorure (Cl) en mg/l	
	Matière en suspension en mg/l	
	Azote nitrique (N-NO ₃ ⁻) en mg/l	30
	Sulfates (SO ₄ ²⁻) en mg/l	250
Toxiques	Mercure (Hg) en mg/l	0.001
	Cadmium (Cd) en mg/l	0.01
	Arsenic (As) en mg/l	0.1
	Chrome total (Cr) en mg/l	1
	Plomb (Pb) en mg/l	5
	Cuivre (Cr) en mg/l	2
	Zinc (Zn) en mg/l	2
	Sélénium (Se) en mg/l	0.02
	Fluor (F) en mg/l	1
	Cyanures (CN) en mg/l	1
	Phénols en mg/l	3
	Aluminium (Al) en mg/l	5



	Beryllium (Be) en mg/l	0.1
	Cobalt (Co) en mg/l	0.5
	Fer (Fe) en mg/l	5
	lithium (Li) en mg/l	2.5
	Manganèse (Mn) en mg/l	0.2
	Molybdène (Mo) en mg/l	0.01
	Nickel (Ni) en mg/l	2
	Vanadium (v) en mg/l	0.1

3.2. Paramètres microbiologiques

a- Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermo-tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44.5°C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est *Escherichia coli* (*E. coli*) (80 à 90%) et, dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella* [26, 27, 28, 29]. Bien que la présence de coliformes fécaux témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale, plusieurs coliformes fécaux ne sont pas d'origine fécale, provenant plutôt d'eaux enrichies en matière organique, tels les effluents industriels du secteur des pâtes et papiers ou de la transformation alimentaire [24,30].

L'intérêt de la détection de ces coliformes, à titre d'organismes indicateurs, réside dans le fait que leur survie dans l'environnement est généralement équivalente à celle des bactéries pathogènes et que leur densité est généralement proportionnelle au degré de pollution produite par les matières fécales [31]. Ils sont aussi de bons indicateurs de l'efficacité du traitement de l'eau, mais comme leur nombre est moins élevé que celui des coliformes totaux, ces derniers leur sont préférables pour cette fonction [32].

b- *Vibriochoerae*

Le cholera est une maladie infectieuse, épidémique dont les agents étiologiques sont *Vibriochoerae* de sérotype O1 ou O131.

Vibriochoerae est un bacille à Gram négatif, incurvé possédant une oxydase, mobile, aéro-anaérobie facultatif, cultivant sur milieux ordinaires mais supportant de fortes concentrations de NaCl et capable de se développer en milieu alcalin (pH 8.6 à 9). Il est sensible au composé vibriostatique O/129, fermente le glucose et le saccharose mais pas le lactose, réduit les nitrates en nitrites et produit de l'indole [32].

c- *Salmonella spp*

Les salmonelles sont en général considérées comme pathogènes bien que leur virulence et leur pathogénèse varient énormément : fièvres typhoïdes, salmonelloses systémiques, gastro-entérites, toxi-infections alimentaires.

Les hôtes naturels des salmonelles sont la population humaine, les animaux domestiques, les volailles et le bétail ainsi que les animaux sauvages, y compris les oiseaux communs.



Humains et animaux peuvent éliminer dans les selles des salmonelles non seulement en cas de maladie mais aussi en tant que porteurs asymptomatiques. Les salmonelles peuvent donc être présentes dans l'eau des égouts agricoles et domestiques, les eaux douces, y compris les eaux potables et les nappes phréatiques, ainsi que l'eau de mer [33].

3.3. Paramètres physicochimiques

3.3.1 La température

Il est primordial de connaître la température d'une eau. En effet, elle joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, et la détermination du pH.

La mesure de la température est très utile pour les études limnologiques et le calcul des échanges. Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau [34].

3.3.2 La conductivité électrique

La conductivité électrique « C » d'une eau, est la conductance « c », d'une eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface, séparée l'une de l'autre par une distance de 1cm.

La conductivité C est l'inverse de la résistivité R.

$$C = 1/R \quad (\text{Eq.1})$$

L'unité de conductivité utilisée en chimie des eaux est le micro Siemens $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La relation entre la conductivité et la résistivité s'écrit :

$$\text{Résistivité Ohm.cm} = \frac{1.000.000}{\text{Conductivité } \mu\text{S/cm}} \quad (\text{Eq.2}) \quad [33]$$

3.3.3 Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le potentiel hydrogène (pH) est une des caractéristiques fondamentales de l'eau. Le pH donne une indication de l'acidité d'une substance. Il est déterminé à partir de la quantité d'ions d'hydrogène hydronium (H⁺) ou d'ions hydroxyde (OH⁻) contenus dans la substance. Quand les quantités de ces deux ions sont égales, l'eau (ou la substance) est considérée comme neutre, et le pH a une valeur aux alentours de 7. Le pH d'une substance varie entre 1 et 14. Au-dessus de 7, la substance est considérée comme basique et la quantité d'ions OH⁻ est supérieure à celle d'ions H⁺. Au-dessous de 7, la substance est acide ; les ions H⁺ sont en quantités supérieures. La valeur du pH est à prendre en considération lors de la majorité des opérations de traitement de l'eau, surtout lorsque celles-ci font appel à une réaction chimique et parce que certains procédés nécessitent d'être réalisés avec un pH spécifique pour être efficace [34].

3.3.4 Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) constituent l'ensemble des particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée. Elles peuvent être composées de particules de sable, de terre et de sédiment arrachées par l'érosion, de divers débris apportés par les eaux usées ou les eaux pluviales très riches en MES, d'êtres vivants planctoniques (notamment les algues). Elles correspondent à la concentration en éléments non dissous d'un échantillon.

L'abondance des matières en suspension dans l'eau favorise la réduction de la luminosité et abaisse la production biologique du fait, en particulier, d'une chute de l'oxygène dissous consécutive à une réduction des phénomènes de photosynthèse [35].



3.3.5 Les matières azotées

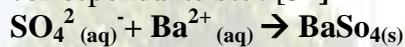
Les formes de l'azote dans les eaux usées sont *l'azote total (NTK), les nitrates (NO₃-) et les nitrites (NO₂-)*. En plus de la toxicité de la forme ammoniacale et nitrique, l'azote intervient dans le phénomène de l'eutrophisation. Donc, sa caractérisation et sa quantification sont primordiales pour les rejets liquides dans le milieu naturel. L'azote peut se trouver sous forme minérale (ammoniacale, nitrate) ou organique. La présence d'azote organique ou ammoniacale se traduit par une consommation d'oxygène dans le milieu naturel et par une entrave à la vie des espèces [34].

3.3.6. Le phosphore

Le phosphore peut exister dans les eaux à l'état dissous ou en suspension. Le phosphore total dissous comprend le phosphore organique (§A-9.7.2) et le phosphore inorganique qui lui-même inclut les orthophosphates et les polyphosphates [33].

3.3.7 Le sulfate

L'anion sulfate, SO₄²⁻ est un anion qui joue un rôle très important au niveau des ressources hydriques. Il est un des indicateurs des précipitations acides et il est utilisé dans les traitements de l'eau comme agent de floculation sous la forme du sulfate d'aluminium, alum. L'ion sulfate peut facilement être précipité grâce à l'ion baryum. La réaction ionique correspondante est : [34]



3.3.8 Les chlorures

Le chlorure (Cl⁻) est un ion négatif du chlore (Cl), cet élément est très abondant dans l'environnement. Il est présent dans l'eau, le sol, les roches, ainsi que dans de nombreux aliments.

Le chlorure est présent à l'état naturel dans les eaux souterraines en raison de l'altération météorique et la lixiviation des roches sédimentaires et des sols, ainsi que de la dissolution des dépôts de sel. Le chlorure est souvent attaché au sodium sous forme de chlorure de sodium (NaCl), lequel est très utilisé l'hiver sur les routes enneigées et verglacées [35].

4. Les métaux lourds

4.1. Définition

Les définitions des métaux lourds sont multiples et dépendent du contexte dans lequel on se situe ainsi que de l'objectif de l'étude à réaliser.

D'un point de vue purement scientifique et technique, les métaux lourds peuvent être également définis comme :

- Tout métal ayant une densité supérieure à 5,
- Tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium (Z=11),
- Tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologiques [36].

Certains chercheurs utilisent des définitions plus spécifiques encore. Le géologue, par exemple, considérera comme métal lourd tout métal réagissant avec la pyrimidine (C₆H₅N).

Dans le traitement des déchets liquides, les métaux lourds indésirables auxquels on s'intéresse principalement sont : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le mercure (Hg), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le sélénium (Se), le zinc (Zn).



Dans les sciences environnementales, les métaux lourds associés aux notions de pollution et de toxicité sont généralement : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le manganèse (Mn), le nickel (Ni), le plomb (Pb), l'étain (Sn), le zinc (Zn).

Enfin, dans l'industrie en général, on considère comme métal lourd tout métal de densité supérieure à 5, de numéro atomique élevé et présentant un danger pour l'environnement et/ou pour l'Homme [36].

Lorsqu'on aborde la problématique des métaux lourds, il faut avoir présent à l'esprit que ces éléments se retrouvent dans notre environnement quotidien sous des formes chimiques très diverses, pouvant chacune conférer une propriété particulière (solubilité, toxicité...) au métal étudié. En effet, à côté des formes minérales les plus simples (exemple : Pb^{2+}), les métaux lourds peuvent aussi exister sous forme organique, c'est-à-dire combinés à un atome de carbone (exemple : le plomb tétraéthyl des essences), mais aussi sous forme de complexes (exemple : le salicylate de plomb, provenant de la complexation du plomb avec une substance humique des sols) ou encore sous forme de chélates (exemple : complexe de plomb-EDTA). Toutes ces formes, même si elles sont présentes en quantité minime, et quelles que soient les transformations qu'elles subissent lors de leur cheminement dans l'environnement, doivent être prises en compte lorsque l'on étudie les métaux lourds et ceci confère à ce sujet toute sa complexité. L'étude de toutes ces formes de métaux lourds constitue une discipline à part entière, connue actuellement sous le terme d'étude de la spéciation des métaux lourds [36].

4.2. Méthodes d'analyse

Les réglementations Française et Européenne imposent le respect d'un certain nombre de normes en matière de rejets de métaux lourds. Pour vérifier que ces normes sont appliquées, on dispose d'un certain nombre de moyens de détection et d'analyse des métaux lourds dans un gaz, dans un liquide ou dans un solide.

Le tableau suivant recense quelques méthodes en fonction du métal considéré [36].

Tableau2 : Méthodes d'analyse en fonction du métal considéré

Métal	Méthode d'analyse
plomb	<ul style="list-style-type: none">• AAS en direct (sensibilité: 0,2 mg/L) ou après complexation et extraction (sensibilité: 0,004 mg/L)• Colorimétrie (sensibilité: 0,1 mg/L)• Polarographie (sensibilité: 0.05 mg/L)
Chrome III	<ul style="list-style-type: none">• Colorimétrie (sensibilité: 0,05 mg/L)• AAS (sensibilité: 0,002 mg/L)• Polarographie (sensibilité: 0,2 à 0,01 mg/L)• ICP2
Cadmium	<ul style="list-style-type: none">• Colorimétrie: (sensibilité: 0,02 mg/L)• Polarographie (sensibilité: 0,001 mg/L)• AAS en direct (sensibilité: 0,02 mg/L) ou après• complexation et extraction (sensibilité: 0,05 à 0,001 mg/L)



	<ul style="list-style-type: none">• ICP• Neutro-activation• Fluorimétrie
Chrome VI	<ul style="list-style-type: none">• Colorimétrie (sensibilité: 0,005 mg/L)• AAS après extraction (sensibilité: 0,001 mg/L)• Polarographie (sensibilité: 0.001 à 0,2 mg/L)• ICP
Mercure	<ul style="list-style-type: none">• AAS• ICP
Arsenic	<ul style="list-style-type: none">• Colorimétrie• ICP

1- Type et période d'étude

Il s'agit d'une étude prospective réalisée sur une période de 2 mois allant du 1^{er} avril au 31 mai 2014.

2- Lieu d'étude

Ce travail a été réalisé au laboratoire régional de diagnostic épidémiologique et d'hygiène du milieu (LRDEHM) de l'hôpital Al Ghassani de la ville de Fès.

3- Lieu, points, fréquence de prélèvements



Les échantillons ont été prélevés et réalisés au centre d'hémodialyse de l'hôpital Al Ghassani de Fès. Ils ont concerné les eaux destinées à l'irrigation, obtenues par mélange des effluents rejetés après osmose inverse et d'eau de puits situé à la sortie de la salle de traitement des eaux du centre.

Les prélèvements ont été réalisés à une fréquence hebdomadaire, 3 fois par jour, pendant 7 semaines, soit 21 échantillons au total. Prélevés dans des flacons appropriés de 500 ml selon la norme NM. 03.7.051[37] ils étaient acheminés dans une glacière maintenue à 4°C au LRDEHM pour être analysés.

Le mode de prélèvement est montré en annexe 1.

4- Analyse des échantillons

Pour être conforme à la réglementation (Arrêté conjoint n° 1276-01 du 17 octobre 2002), nous avons réalisé aussi bien les analyses bactériologiques que les analyses physico-chimiques et le dosage des métaux lourds.

A- Analyses physico-chimiques

Une mesure de la température a été effectuée au moment du prélèvement alors que les autres analyses ont été achevées au LRDEHM et ont concerné :

- La mesure du potentiel d'hydrogène (pH) selon la méthode décrite dans la norme marocaine NM ISO10523 [38];
- La mesure de la conductivité électrique selon la méthode décrite dans la norme marocaine NM ISO 7888 [39];
- Le dosage des chlorures selon la méthode décrite dans la norme française (NF ISO 9297 Février 2000);
- Le dosage des nitrates selon la méthode décrite dans Rodier, version 2009 [40] ;
- Le dosage des nitrites selon la méthode décrite dans la norme française (NF T 90-040 Septembre 1986) [41]
- Le dosage des sulfates selon la méthode décrite dans la norme marocaine NM 03.7.026;
- Le dosage des orthophosphates selon la méthode décrite dans Rodier, version 2009.

Remarque :

- Une gamme d'étalonnage de tous les paramètres analysés au LRDEHM, ainsi qu'un contrôle de tous les équipements affectant la qualité des analyses bien qu'ils soient raccordés au système International, ont été réalisées selon les procédures décrites par le laboratoire.
- L'annexe 2 montre un exemple d'une gamme d'étalonnage.

A.1. Mesure du potentiel hydrogène (pH)

A.1.1. Principe

Le principe de base de cette mesure est la détermination de l'activité des ions hydrogène par mesure potentiométrique en utilisant une électrode d'hydrogène et une électrode de référence. Dans la pratique on utilise plus généralement une électrode de verre associée à une électrode de référence au calomel ou encore une électrode combinée. La différence de



potentiel existant entre l'électrode de verre et l'électrode de référence plongeant dans la même eau et une fonction linéaire du pH de celle-ci.

L'étalonnage de l'appareil se fait par des solutions tampons de référence de pH connu.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

Selon la loi de NERNST :

$$E = E^\circ + \frac{RT}{nF} \log (a_{\text{H}^+})$$

E : Potentiel mesuré.

E° : Potentiel normal de l'électrode.

T : Température absolue (K).

R : Constante des gaz parfaits (j/ mol.k).

n : Nombre d'électrons mise en jeu.

F : Constante de faraday (96500 C).

a_{H+} : Activité de l'ion H⁺ dans l'échantillon.

A.1.2. Réactifs d'étalonnage

Les réactifs utilisés pour l'étalonnage de l'appareil, sont des solutions tampons de pH mesurés à 25°C :

1-Solution tampon borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7, 10\text{H}_2\text{O}$) à pH = 9,18

2-Solution tampon phosphate à pH = 6,885

- Phosphate disodique ($\text{Na}_2\text{HPO}_4, \text{H}_2\text{O}$)

- Phosphate monopotassique (KH_2PO_4)

A.1.3. Mode opératoire

Après avoir branché le câble d'alimentation et allumé l'appareil, procéder par :

- Enlever le capuchon de la sonde, puis la rincer avec de l'eau distillée ;
- Sécher doucement la sonde avec du papier joseph ;
- Vérifier la pente du potentiel en fonction du pH $E=f(\text{pH})$. Cette pente doit être comprise entre -58 et -59,5 ;
- Etalonner l'appareil avec les solutions d'étalonnage ;
- Mesurer le pH des échantillons à analyser à 25°C.

A.2. Conductivité

A.2.1. Principe

La mesure de la conductivité est basée sur le principe de pont de Wheatstone qui mesure la résistance $R(\Omega)$ d'une colonne d'eau de section $S(\text{cm}^2)$ et de longueur L (cm) entre deux électrodes en platine disposées parallèlement. La conductivité d'une eau est fonction de la concentration totale en ions, de leur mobilité, de leur valence, de leur concentration relative et de la température.

$$Y = 1/\rho = (1/R). (L/S)$$

Y : conductivité (en $\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ou $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$).

ρ : Résistivité (en $\Omega \cdot \text{m}$).

R : résistance (en Ω).

L : distance entre les deux électrodes (en m).

S : surface de chaque électrode (en m^2).

A.2.2. Réactifs

Les réactifs utilisés pour la mesure de la conductivité électrique sont :



- Solution de calibration de chlorure de potassium certifiée (si disponible) à 0,01mol/l (1413 μ s/cm ou 1408 μ s /cm \pm 0.5% à 25°C) ;
- Chlorure de potassium pour analyse ;
- Eau distillée de conductivité inférieure à 2 μ s/cm à 25°C.

A.2.3. Mode opératoire

Il consiste à :

- Etalonner l'appareil selon la procédure de calibration et d'étalonnage du conductimètre;
- Rincer la cellule de mesure plusieurs fois avec de l'eau distillée, puis deux fois au moins avec l'échantillon d'eau à examiner ;
- Amener l'échantillon à analyser à 25°C à l'aide :
 - ✓ D'un bain- marie lorsque la température de l'échantillon est inférieure à 25°C ;
 - ✓ D'un réfrigérateur lorsque sa température est supérieure à 25°C ;
- Émerger complètement la sonde du conductimètre dans l'échantillon et veiller à ce qu'il n'y ait pas des bulles d'air entre les électrodes et que la température affichée est de 25 \pm 0,1°C ;
- Noter et enregistrer la valeur affichée.

A.3. Dosage des chlorures

A.3.1. Principe

❖ Méthode de Mohr

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium.

On précipite les ions chlorures sous forme de chlorure d'argent AgCl (précipité blanc) par une solution de nitrate d'argent AgNO₃ (0.1N)



$$K_S(\text{AgCl}) = [\text{Ag}^+]. [\text{Cl}^-]$$

$$K_S(\text{AgCl}) = 10^{-10}$$

➤ Indicateurs de fin de la réaction

La fin de la réaction est détectée par un indicateur d'ion Ag⁺ : le chromate de potassium (jaune). Quand tous les chlorures ont réagi avec Ag⁺, ce dernier forme avec les ions chromates un précipité rouge du chromate d'argent.



$$K_S(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = [\text{Ag}^+]^2 \cdot [\text{CrO}_4^{2-}]$$

$$K_S(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 10^{-12}$$

A.3.2. Matériel

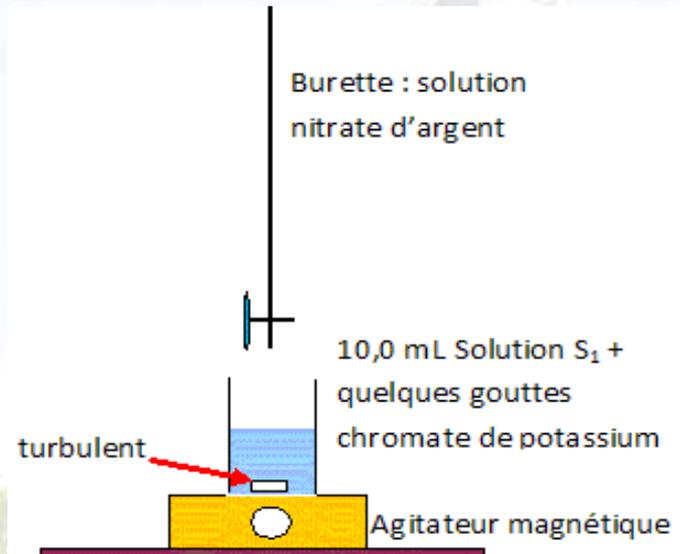
- Burette graduée de 25 ml ;
- Matériel courant de laboratoire (bêcher, pipette, pissette..).

A.3.3. Mode opératoire

- Introduire un volume (V_a= 100 ml) d'eau à analyser dans un bécher de 250 ml ;



- Vérifier le pH de l'échantillon ;
- Si le pH de l'échantillon n'est pas compris entre 5 et 9,5 ; ajuster le pH en utilisant soit la solution de l'acide nitrique soit la solution de l'hydroxyde de sodium ;
- Ajuster le pH de l'échantillon entre 6,5 et 7 ;
- Ajouter 1 ml de la solution de chromate de potassium ;
- Titrer l'échantillon en versant goutte à goutte la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une coloration brun rougeâtre (Vs). Après addition d'une goutte de chlorure de sodium cette coloration va disparaître.

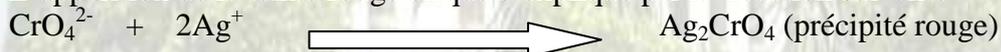


➤ Interprétation des résultats de la réaction

L'apparition de la teinte rouge brique s'explique par les réactions suivantes :



L'apparition de la teinte rouge brique s'explique par la réaction suivante :



Remarque : Les chlorures sont très solubles avec leur saveur désagréable, ils ne participent pas aux processus biologiques.

A.4. Dosage des nitrates

A.4.1. Principe

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du para-nitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrophotométrique. La mesure spectrophotométrique est effectuée à une longueur d'onde (λ) voisine de 415 nm correspondant à cette coloration.

A.4.2. Réactifs

Les réactifs utilisés pour le dosage des nitrates sont :

- Solution de salicylate de sodium à 0.5% (à renouveler toutes les 24h) ;
- Acide sulfurique ($d=1.84$) ;
- Solution d'hydroxyde de sodium et de Tartrate double de sodium et potassium ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) :
 - NaOH..... 40g.



- Tartrate double de Na et K.....6g.
- Eau distillée.....100ml.

A.4.3. Mode opératoire

Il consiste à :

- Evaporer à sec dans un bain marie ou dans une étuve portée à 75-80°C (ne pas surchauffer ni chauffer longtemps) 10 ml de l'échantillon et 1 ml de salicylate de sodium à 0.5% ;
- Laisser refroidir ;
- Reprendre le résidu par 2ml d'acide sulfurique concentré en ayant pris soin de l'humecter complètement ;
- Attendre 10 minutes ;
- Ajouter 15 ml d'eau distillée puis 15 ml de Tartrate double Na et K qui développe la coloration jaune ;
- Effectuer la lecture au spectrophotomètre à une longueur d'onde $\lambda=415$ nm.

A.5. Dosage des nitrites

A.5.1. Principe

La di-azotation de l' amino-4-benzènesulfonamide par les nitrites en milieu acide et sa copulation avec le dichlorure de *N*-(naphtyl-1) diamino-1,2éthane donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage spectrométrique.

A.5.2. Réactifs

Tous les produits chimiques utilisés pour préparer les réactifs doivent être de qualité « pour analyse ».

- L'eau distillée ou équivalent doit être récemment distillée et exempte de nitrites.
- L'acide ortho phosphorique doit être dilué à 1,5mol/l.

Réactifs colorés :- Amino-4benzène sulfonamide ;

- Acide orthophosphorique ;
- Dichlorhydrate de *N*-(naphtyl-1) diamino-1.2 éthane.

A.5.3. Mode opératoire

Il se fait comme suit :

- Prélever à l'aide d'une pipette, le volume choisi de prise d'essai (ce volume ne doit pas dépasser 40 ml) ;
- L'introduire dans une fiole jaugée de 50 ml et si nécessaire ;
- Amener le volume à (40±2) ml avec de l'eau distillée ;
- S'assurer que le pH adéquat (pH= 1,9±0,1) est atteint après ajout du réactif coloré ;

NB : Si l'échantillon à analyser contient des matières en suspension, il doit être laissé décanté ou filtré à travers un papier en fibre de verre avant le prélèvement de la prise d'essai.

Si la coloration de la prise d'essai est telle qu'elle est susceptible d'interférer lors du message de l'absorbance, il faut traiter une deuxième prise d'essai, mais en remplaçant le réactif coloré par 1ml de la solution d'acide ortho-phosphorique à 1,5 mol/l.



A.6. Dosage des Orthophosphates

A.6.1. Principe

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique. Certaines formes organiques du phosphore pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des orthophosphates, le développement de la coloration est accélérée par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium.

A.6.2. Réactifs

Les réactifs utilisés sont :

- Solution d'acide ascorbique à 20g/l ;
- Réactif combiné :
 - Acide sulfurique
 - Tartrate double de potassium et d'antimoine
 - Molybdate d'ammonium
- Dihydrogénophosphate de potassium.

A.6.3. Mode opératoire

Il consiste à :

- Introduire 20 ml d'échantillon d'eau dans une fiole de 25 ml ;
- Poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage ;
- Préparer de la même façon un témoin avec 20 ml d'eau distillée ;
- Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 880 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin ;
- Se reporter à la courbe d'étalonnage.

A.7. Dosage des sulfates

A.7.1. Principe

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de Tween 20 ou de polyvinylpyrrolidone. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectrophotomètre.

A.7.2. Réactifs

- Solution d'acide chlorhydrique au 1/10 ;
- Solution de polyvinylpyrrolidone ou de tween 20 à 25% ;
- Chlorure de baryum stabilisé ;
- Sulfate de sodium anhydre.

A.7.3. Mode opératoire

- Introduire 44 ml d'échantillon d'eau dans une fiole de 50 ml ;
- Poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage ;
- Préparer de la même façon un témoin avec 44 ml d'eau distillée ;
- Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 650 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin ;
- Se reporter à la courbe d'étalonnage.



B. Dosage des métaux lourds

Les prélèvements d'eaux destinés aux analyses des métaux lourds ont été acheminés au centre universitaire régional d'interface (CURI). Ils ont comporté le dosage de l'Aluminium, de l'Arsenic, du Béryllium, du Cadmium, du Cobalt, du Chrome, du Cuivre, du Fer, du Lithium, du Manganèse, du Molybdène, du Plomb, du Vanadium et du Zinc.

Le dosage de ces métaux a été réalisé par la méthode d'ICP (Inductively Coupled Plasma). C'est une technique qui s'est progressivement implantée et imposée dans les différents laboratoires d'analyse de contrôle industriel ou de recherche. Le principe de fonctionnement est le suivant :

- **Principe**

Un générateur haute fréquence est utilisé pour chauffer un courant d'argon et former un plasma (gaz ionisé) par l'intermédiaire d'une bobine d'induction. La température atteinte est de l'ordre de 7000 à 8000°K. L'échantillon introduit dans le plasma est réduit à l'état d'atomes indépendants et d'ions. Ces atomes, excités par le plasma, réémettent l'énergie qu'ils ont acquise sous la forme d'un rayonnement électromagnétique (lumière). Le spectre global est composé d'un certain nombre de raies de longueurs d'onde qui sont caractéristiques chacune d'un élément particulier. La lumière émise entre ensuite dans le spectromètre qui la disperse en séparant les différentes raies d'émission présentes dans le rayonnement. Un nombre approprié de photomultiplicateurs, un par ligne analytique (un par élément à doser), transforme l'énergie lumineuse en courant électrique (pour les appareils simultanés, alors que pour les appareils séquentiels, on utilise un seul détecteur devant lequel on fait défiler le spectre). L'intensité des raies émises par l'échantillon étant proportionnelle à la concentration des éléments qu'il contient, cela permet donc d'en faire une analyse quantitative. Le courant de chaque photo-tube est intégré puis digitalisé. Les informations sont alors introduites dans un ordinateur pour stockage et diffusion ultérieure, après calcul des résultats.

- **Les avantages de l'ICP**

A l'heure actuelle, la méthode ICP analyse des échantillons aussi divers que l'eau, l'huile, le sang, les sols, les métaux, les ciments, les roches, les minerais, les céramiques, les engrais, les aliments, les végétaux, les poussières...

Cette nouvelle méthode présente des atouts majeurs qui la fait désigner pour être la technique de base des 10 années à venir:

- Analyse rapide et éventuellement simultanée permettant avec un seul instrument de réaliser plusieurs milliers de déterminations élémentaires par jour.
- Une très grande sensibilité. Pour la majorité des métaux, les limites de détection sont inférieures à 10 ppm ($\mu\text{g/L}$).
- Absence quasi totale de l'influence de la liaison chimique.
- Phénomène de saturation tout à fait exceptionnel et dynamique de réponse pouvant atteindre 10^6 .
- Relative facilité d'utilisation et d'étalonnage.

C. Analyses bactériologiques

C.1. Germes recherchés

Selon L'arrêté conjoint n° 1276-01 du 17 octobre 2002, les germes recherchés sont :



- Les Coliformes fécaux : dénombrés et recherchés selon la norme marocaine NM ISO 9308-1 [42].
- Le Vibrion cholérique : recherché selon la norme marocaine NM 03.7.051[43].
- Les Salmonelles : recherchés selon la norme marocaine NM 03.7.050 [44].

C.2. Matériel

Le matériel nécessaire pour les analyses bactériologique est :

- Milieux de culture : Tergitol au TTC, Eau peptonée 2 fois concentré, Eau peptonée 10 fois concentré, milieu T.CB.S, milieu Rappaport - vasiliadis et gélose Hektoen ;
- Appareil de filtration ;
- Membranes de nitrocellulose de 0.45µm ;
- Pince; Alcool ;
- Bec benzène ;
- Boîtes de pétri 60mm,
- Eprouvettes graduées, flacons, pipettes en verre et préalablement stérilisés au poupinel.

N.B : La composition, la préparation, et les contrôles qualités des milieux de culture sont décrits en annexe 3.

C-3- Méthode

La méthode utilisée pour l'analyse microbiologique est décrite dans le tableau suivant.

Tableau 3 : Technique utilisée pour les analyses microbiologiques (Annexe 4)

Germes recherchés	Technique utilisée
Coliformes fécaux	Filtration sur membrane 0.45µm et incubation a (44.0±0,5) °C pendant 24-48h
Salmonelles	1- Etape de Pré-enrichissement : 100ml d'EPT 2xconcentré + 100 ml d'échantillon, puis incubation à 37±1°C pendant 24h.
	2- Etape d'enrichissement : Culture de 10 ml de bouillon Rappaport, puis incubation pendant 24h à (44±0,5) °C
	3- Etape d'isolement par épuisement sur milieu sélectif (Gélose Hektoen) puis incubation à (37±1)°C pendant 24h.
Vibrion cholérique	1- Etape d'enrichissement : 50ml d'échantillon + 450ml d'EPT 10 x concentré puis incubation à (37±1) °C pendant 24h.
	2- Epuisement sur milieu TCBS si voile puis incubation



pendant 24h à 37°C

5- Outil statistique

La saisie et le traitement des données ont été faits à l'aide du programme Excel.

Au cours de notre étude, nous avons réalisé la caractérisation microbiologique et physico-chimique des effluents destinées à l'irrigation, du service d'hémodialyse de l'hôpital Al Ghassani de Fès. Ainsi, nous avons effectué 21 prélèvements (3 prélèvements par jours pendant 7 semaines) à partir desquels nous avons réalisé 7 composites (1 composite par jour obtenu par mélange des 3 prélèvements du même jour). L'ensemble des échantillons (soit 21prélèvements et 7 composites) ont été analysés.

A. Analyses physico-chimiques

Les résultats des paramètres physico-chimiques des 21 échantillons d'effluents traités et destinés à l'irrigation sont montrés dans le tableau 4

Tableau 4: Résultats globaux des paramètres physico-chimiques des effluents destinés à l'irrigation

Cod e d'éc hant illon	Co nd uct ivit é μS/ cm	N i t r a t e	Ortho phosp hate (PO ₄ ³⁻) (en	S u l f a t e	C hl o r u re	T ° (° C)



			(N O ₃ -) (e n m g / l)	mg/l)	(S O ₄ ²⁻) (e n m g / l)	(C l ⁻) (e n m g / l)	
1		11 27	6 , 5 1	0	9 8 , 2 6	3 2 6, 1 6	2 3
2		11 64	5 , 2 7	0	2 2 , 1 7	1 9 8, 5 3	2 2
3		11 67	3 , 9 3	0	6 5 , 6 5	6 6 6, 5 1	2 5
4		11 81	2 2 , 0 6	0	1 5 9 , 1	3 2 6, 1 6	2 3



						3		
5		11 67	2 6 , 2 0		0	1 6 5 , 6 5	4 2 5, 4 3	2 7
6		11 70	4 , 0 3		0	1 5 9 , 1 3	4 9 6, 3 4	2 4
7		11 51	1 1 , 5 8		0	1 7 4 , 3 4	2 8 3, 6 2	2 4
8		11 70	2 8 , 0 9		0	1 5 6 , 9 5	1 7 0, 1 7	2 6
9		11 75	2 7 , 3 0		0	7 2 , 1 7	2 4 1, 0 8	2 3
10		11 72	1 0 , 3 4		0	7 4 , 3 4	2 8 3, 6 2	2 5
11		11	2 9		0	7 8	2 8	2



		74	. 4 0			, 6 9	3, 6 2	8
12		11 81	2 7 .9 9		0		1 9 8, 5 3	2 2
13		11 63	7 2 .3 9		0	7 8 , 6 9	2 8 3, 6 2	2 5
14		11 70	1 7 , 0 3		0	7 6 , 5 2	2 8 3, 6 2	2 2
15		11 70	1 1 , 9 2		0	7 8 , 6 9	1 8 4, 3 5	2 6
16		11 66	0 , 3 4		0		1 9 8, 5 3	2 4
17		11 63	3 , 4 1		0	5 6 , 9 5	2 8 3, 6 2	2 7
18		11 80	2 1 , 8		0	7 4 , 3	1 8 4, 3	2 5



			9			4	5	
19		11 46	2 5 , 9 5		0		2 8 3, 6 2	2 9
20		11 81	9 , 5 8		0	6 7 , 8 2	2 1 2, 7 1	2 6
21		11 95	9 , 1 0		0	5 4 , 7 8	1 7 0, 1 7	2 5
Max imu m		11 95	7 2 , 3 9		0	1 7 4 , 3 4	6 6 6, 5 1	3 0
Mo yen ne		11 67, 38	1 7 , 8 2		0	8 9 , 2 5	2 8 5, 0 4	2 5 .0 4
Min imu m		11 27	0 , 3 4		0		1 7 0, 1 7	2 2

1. Potentiel d'hydrogène pH



La mesure du pH des 21 prélèvements a montré qu'ils étaient tous acides, le pH a varié entre 6.72 et 7.73

Comme montré en figure 1, le pH maximal des composites était de 7,94, le pH minimal était de 7. L'élévation du pH du composite 5 a coïncidé avec celle du pH des échantillons avant mélange.

Tous les échantillons analysés ont un pH compris entre 6,5 et 8,4 et sont donc conformes à la réglementation.

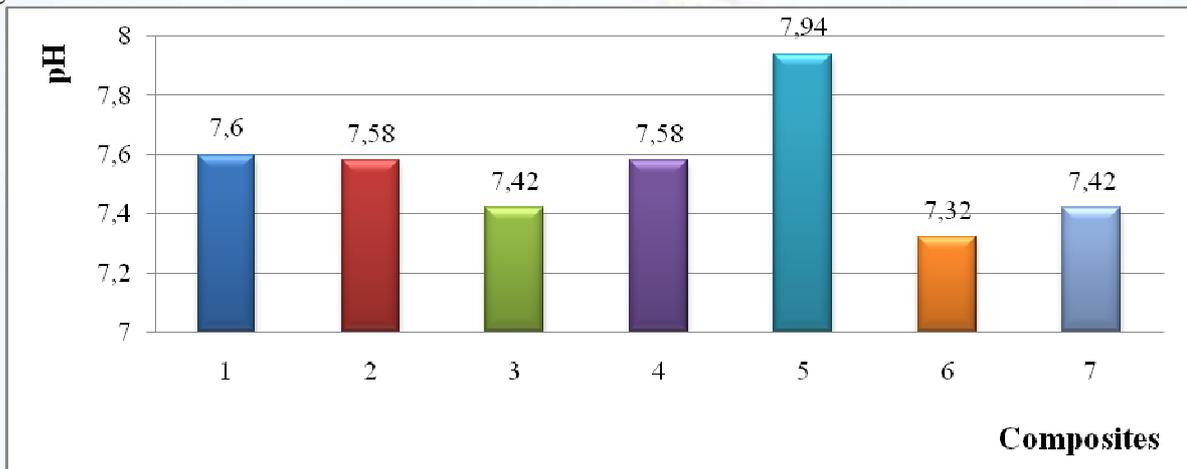


Figure 1 : Potentiel d'hydrogène (pH) des composites analysés.

2. Mesure de la conductivité électrique

La conductivité électrique renseigne sur la capacité d'une solution à conduire un courant électrique. Sa mesure dans tous les échantillons prélevés a montré une conductivité allant de 1127 à 1190 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Celle des composites, présentée en figure2, montre un bouleversement entre 1172 $\mu\text{s}/\text{cm}$ enregistrée au composite C3et 1156 $\mu\text{s}/\text{cm}$ enregistré au composite C6.

La conductivité électrique que nous avons trouvée était $<$ à 12ms / cm, valeur maximale admissible par la réglementation nationale (Arrêté conjoint n° 1276-01 du 17 octobre 2002).

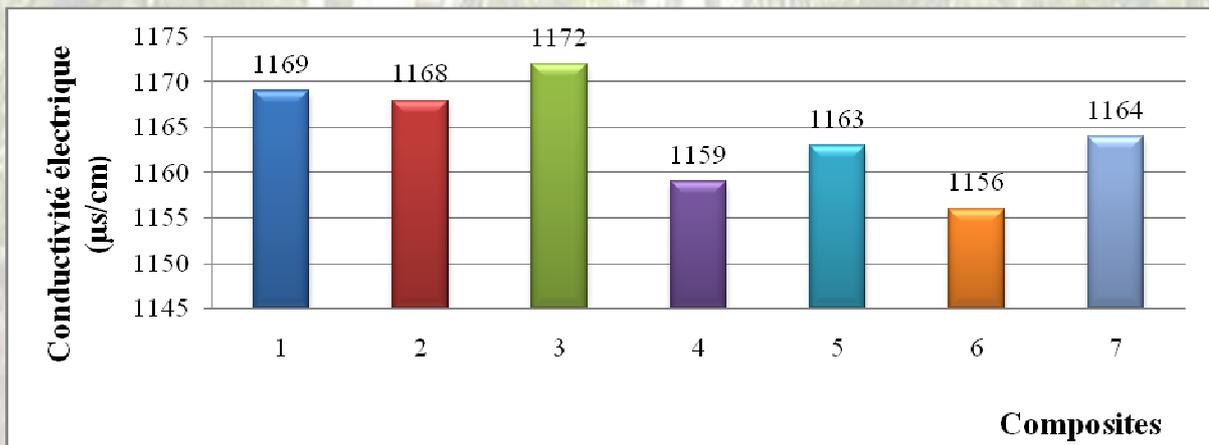


Figure 2 : Conductivité électrique des composites analysés.

3. Matières Azotées

3.1. Les nitrates (NO_3^-)

Le dosage des nitrates de tous les échantillons prélevés a montré des variant de 0,34 mg/l à 72,39 mg/l, alors que celui des composites a varié entre 1.034 et 58.19. Le maximum a été



noté au niveau du composite C6 qui a présenté une concentration maximale de 58,19 mg/l qui dépasse la valeur maximale stipulée par la réglementation nationale (30mg/l).

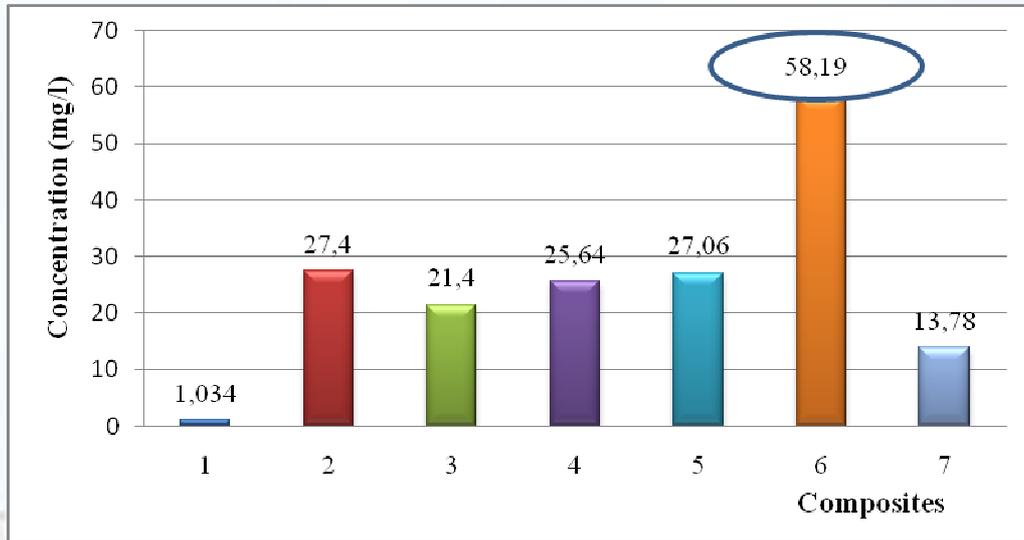


Figure3 : Concentration des nitrates au sein des composites analysés.

3.2. Les nitrites (NO_2^-)

Comme présentés en tableau1 et en figure 4, nous avons noté que la concentration des nitrites n'a dépassé la valeur limite préconisée par la réglementation nationale (0,5 mg/l), que pour 2 échantillons (composite 1 et échantillon1, soit respectivement 3.17 mg/l et 3.171 mg/l).

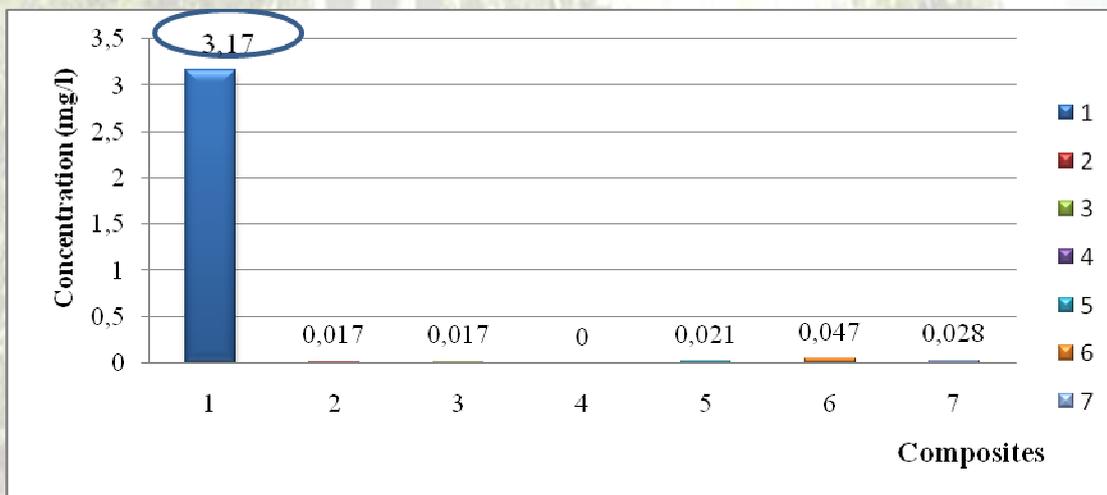


Figure 4 : Concentration des nitrites au sein des composites analysés.

4. Les orthophosphates (PO_4^{3-})

Le dosage des orthophosphates a montré qu'ils étaient absents dans tous les échantillons prélevés ainsi que dans leurs composites.

5. Les sulfates SO_4^{2-}

Comme présentés en tableau1 et figure 5, la concentration en sulfates des échantillons prélevés était classée entre 20 et 174.34 mg/l ; celle des composites était entre 24.34 mg/l et 70 mg/l. Aucune valeur n'a dépassé la valeur limite montrée dans la réglementation en vigueur (250 mg/l).

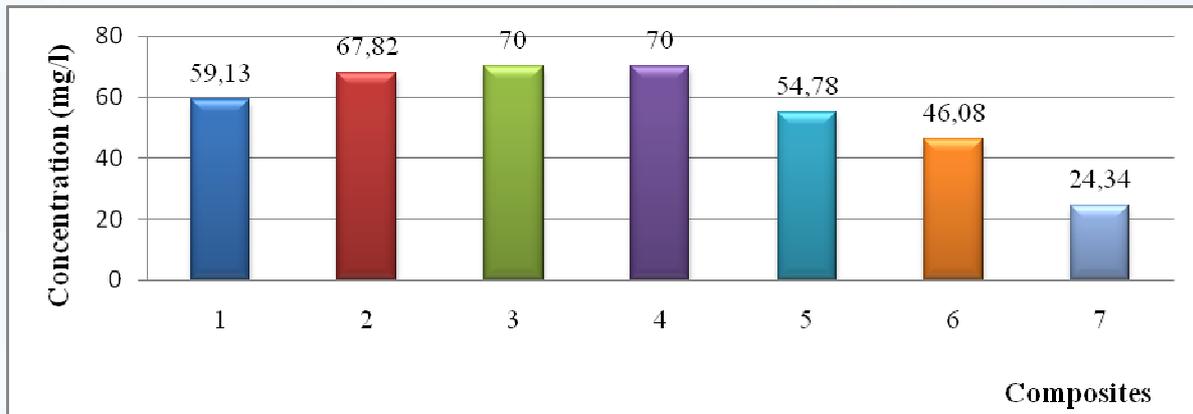


Figure 5 : Concentration des sulfates au sein des composites analysés.

6. Les chlorures

Les échantillons prélevés et analysés ont montré une concentration en chlorures allant de 170.17 à 666.51 mg/l. Une non-conformité de la concentration de ces échantillons par rapport à la réglementation puisqu'ils ont dépassé 350 mg/l.

L'analyse de la concentration en chlorures des composites, présentée en figure 6, a révélé qu'un seul composite qui avait une concentration $>$ à 350mg /l (de l'ordre de 595,61) et était non-conforme par rapport à la réglementation nationale relative à l'irrigation.

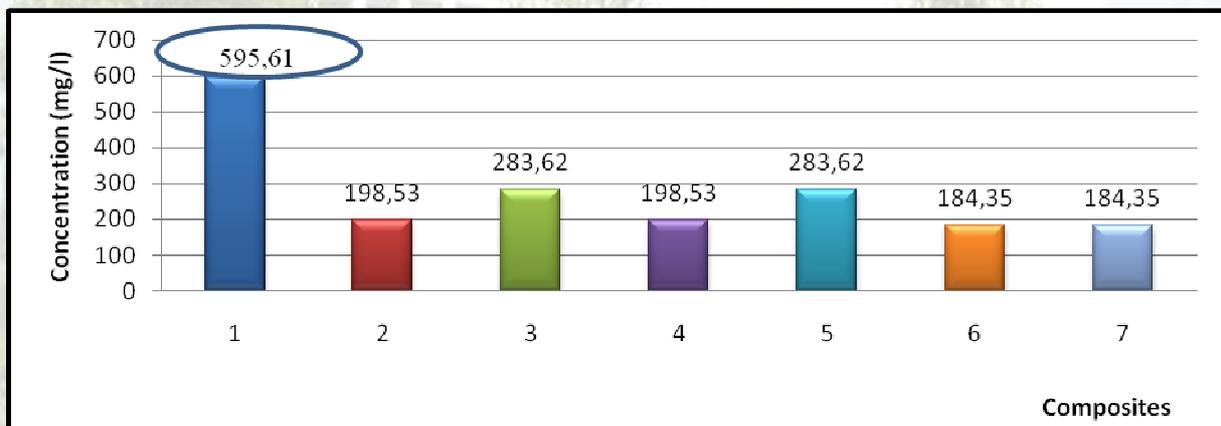


Figure 6 : Concentration des chlorures au sein des composites analysés.

7. Mesure de la température

La température a été mesurée juste après prélèvement des échantillons. Elle variait entre 22 et 30°C. Elle était conforme par rapport à la réglementation puisqu'elle n'a pas dépassé 35°C.

B. Dosage des métaux lourds

Il a été réalisé au sein du centre régional d'interface par la technique d'ICP. Les résultats présentés dans le tableau suivant, ont révélé une conformité de tous les métaux analysés par rapport à la réglementation en vigueur.

Tableau 5 : Concentration en métaux lourds





Métal	Code	Concentration (mg/l)	Valeur limite
Aluminium	Al	0,022	5
Arsenic	As	< 0.01	0,1
Béryllium	Be	< 0.01	0,1
Cadmium	Cd	< 0.01	0,01
Cobalt	Co	< 0.01	0,5
Crome	Cr	< 0.01	1
Cuivre	Cu	< 0.01	2
Fer	Fe	< 0.01	5
Lithium	Li	0,023	2,5
Manganèse	Mn	< 0.01	0,2
Molybdène	Mo	< 0.01	0,01
Nickel	Ni	< 0.01	2
Plomb	Pb	< 0.01	5
Vanadium	V	< 0.01	0,1
Zi,nc	Zn	0,023	2

C. Analyses microbiologiques

Les paramètres microbiologiques analysés sont ceux notés dans la réglementation. Il s'agit du dénombrement des Coliformes fécaux et de la recherche des germes pathogènes (Vibrien cholérique et Salmonelles sp). Le dénombrement des Coliformes fécaux a été réalisé pour tous les échantillons (prélevés et composites), alors que la recherche des germes pathogènes n'a été effectuée que pour les composites

Le tableau ci-dessous montre les résultats des paramètres bactériologiques des échantillons prélevés.

Tableau 6: Résultats des paramètres bactériologiques des échantillons prélevés

Code d'échantillon	<i>Coliformes fécaux</i>	<i>Salmonelle</i>	<i>Vibriochloerae</i>



1	200		
2	200		
3	300		
4	30		
5	200		
6	90		
7	87		
8	1		
9	33		
10	1		
11	14		
12	0		
13	6	Absence	Absence
14	2		
15	0		
16	0		
17	0		
18	14		
19	6		
20	2		
21	0		
Composite C1	100		
Composite C2	40		
Composite C3	37		
Composite C4	6		



Composite C5	0		
Composite C6	0		
Composite C7	7		

1- Dénombrement des Coliformes fécaux

Comme montrée en figure suivante, nous avons constaté que tous les échantillons aussi bien prélevés que composites avaient un dénombrement qui n'a pas dépassé 300UFC/ 100 ml, la densité moyenne était de 49.14, alors que celle minimale était nulle. Ces résultats montrent une conformité par rapport à la réglementation.

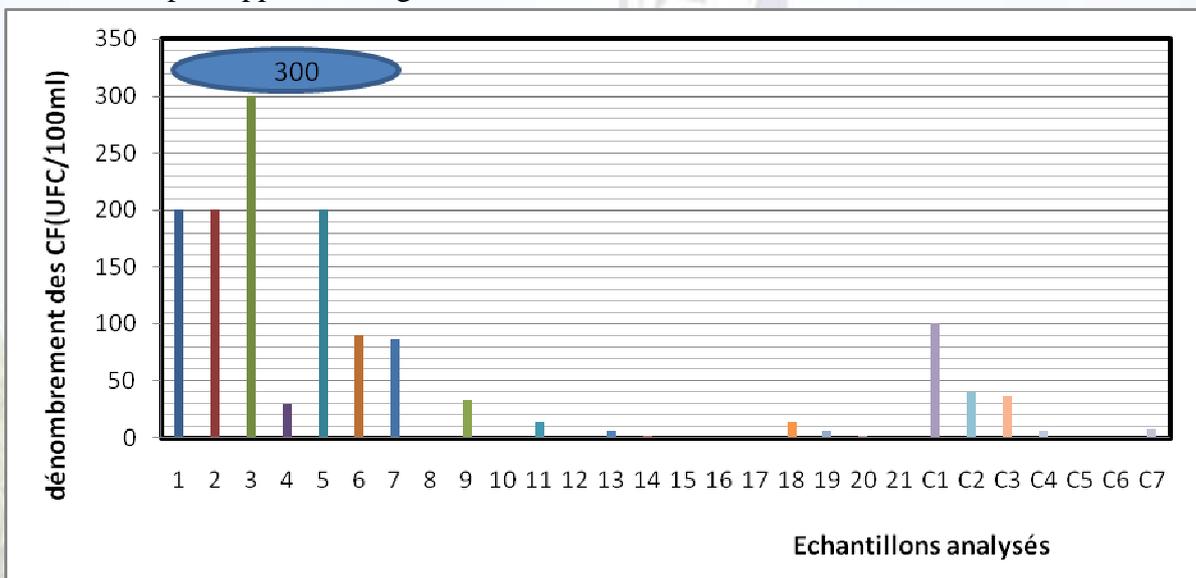


Figure 7 : Dénombrement des Coliformes fécaux des échantillons analysés.

2- Recherche des germes pathogènes

L'absence de Vibriion cholérique et de germes pathogènes a été notée au sein de tous les composites analysés, ce qui prouve une conformité par rapport à la réglementation.



L'hémodialyse est la méthode de suppléance la plus pratiquée pour le traitement de l'insuffisance rénale, pourtant c'est une thérapeutique très demandeuse en ressources comme l'eau et l'électricité et engendre une grande quantité de déchets [2]. Ces besoins en eau sont relativement importants dans tous les procédés du traitement, coïncident malheureusement avec la rareté de cette source précieuse.

Notre étude est réalisée dans le cadre d'évaluer la caractérisation physico-chimique et bactériologique des effluents traités et destinées à l'irrigation, issus du service d'hémodialyse de l'hôpital Al Ghassani de Fès. Elle porté sur 28 échantillons (21 prélevés et 7 composites).

Le pH est un paramètre très sensible à divers facteurs environnementaux, il dépend des variations de la température, de la salinité, du taux de CO₂ dissous **Azami Hassani** (1996). Sa mesure a montré que tous les échantillons étaient acides, la valeur du pH a varié entre 6.72 et 7.94. Ce résultat concorde avec celui de **Faissal Tarrass** [8], qui avait noté en 2008 au centre hospitalier Hassani à la ville de Nador, un pH de l'ordre de 7.84.

La conductivité électrique est une composante qui renseigne sur le taux de minéralisation des eaux. Une conductivité élevée témoigne d'une forte minéralisation des eaux (**Louah**, 1995).

Sa mesure a montré des valeurs qui variaient entre 1127 et 1195 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Elle était $< 12 \text{ ms}/\text{cm}$, valeur maximale admissible par la réglementation nationale (Arrêté conjoint n° 1276-01 du 17 octobre 2002). Ce résultat s'oppose à celui de **F. Tarrass** (2008) [8] qui avait mentionné des valeurs de conductivité très élevées (13 200 $\mu\text{s}/\text{cm}$), dépassant ainsi la réglementation en vigueur concernant la qualité des eaux destinées à l'irrigation.

Les orthophosphates, d'origine urbaine (composant des détergents) et agricole (lessivage d'engrais), les orthophosphates sont comme les nitrates un nutriment majeur des végétaux et peuvent entraîner leur prolifération à partir de 0.2 mg/l. Les phosphates constituent l'élément des phénomènes d'eutrophisation. Leur dosage a révélé qu'ils étaient absents dans tous les échantillons aussi prélevés que ceux obtenus par mélange (composites). Cependant **F. Tarrass** (2008) [8] a trouvé un résultat différent, la concentration en orthophosphates était de 54 mg/l.

La pollution des eaux par les nitrates présente un double risque. Leur ingestion en trop grande quantité a des effets toxiques sur la santé humaine. La teneur en nitrates de l'eau d'irrigation doit être prise en compte dès lors que cette teneur est supérieure à 30 mg/l. Le dosage des nitrates a montré que la concentration de la majorité des échantillons était acceptable, cependant, nous avons noté un dépassement dans un seul échantillon avec une concentration en nitrates de 58.19 mg/l non conforme à la réglementation en vigueur (30 mg/l),

Le dosage du chlorure a révélé une concentration allant de 170.17 et 666.51 mg/l, on note un dépassement de la valeur limite fixée par la réglementation en vigueur (350 mg/l) a été remarqué dans 3 échantillons. Ce résultat s'oppose à celui d'autres auteurs.

Faissal Tarrass (2008) [8] avait noté la présence de chlorures à des taux acceptables (de l'ordre de 289 mg/l). **Marouane Jabrane** (2013) [2] avait mentionné que la concentration en chlorure ne dépasse pas 118 mg/l.



L'analyse des sulfates a montré qu'ils étaient présents à une concentration oscillant de 20 à 174.34 mg/l. Aucune concentration n'a dépassé la valeur limite fixée par la réglementation en vigueur (250 mg/l). Ce résultat concorde aussi bien avec celui de **Faissal Tarrass [8]** (80.4mg/l) qu'avec celui de **Marouane Jabrane** (36 mg/l) [2].

L'analyse des métaux lourds (Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, V, Zn) par la technique d'ICP a révélé une conformité de tous les métaux lourds analysés par rapport à la réglementation en vigueur.

Dans notre étude, nous avons constaté que la majorité des échantillons aussi bien prélevés que composites avaient un dénombrement de coliformes fécaux qui ne dépassait pas 300 UFC/100 ml (<1000/100 ml), et une absence de germes pathogènes (Vibron cholérique et Salmonelle sp) de dans tous les échantillons et composites analysés, ce qui montre une conformité bactériologique par rapport à la réglementation.

Le respect des paramètres bactériologiques des valeurs limites fixés par la réglementation en vigueur, a été noté par **Faissal Tarrass** (2008) [8] et **Marouane Jabrane** (2013) [2].

A la lumière des analyses bactériologiques et physico-chimiques que nous avons effectuées, il est possible de conclure que le traitement appliqué aux effluents issus du service d'hémodialyse, a permis d'améliorer leur qualité et les rendre conformes au fins utilisés (arrosage et irrigation de l'espace vert crée à l'hôpital).

❖ Au terme de ce travail nous pouvons conclure que :

- pH acide, varie entre 6.72 et 7.94.
- Conductivité à <12ms / cm, varie entre 1127 et 1195 μ s/cm.
- Chlorure conforme à la réglementation: < 350mg/l
- Nitrite conforme à la réglementation: < 0,5 mg/l
- Nitrate conforme à la réglementation: < 30 mg/l pour la quasi-totalité des échantillons
- La concentration des orthophosphates dans tous les échantillons analysés est égale à 0
- Sulfate conforme à la réglementation: < 250 mg/l



- L'analyse des métaux lourds par la technique d'ICP a révélé une conformité de tous les métaux lourds analysés par rapport à la réglementation en vigueur.
 - Taux de coliformes fécaux de tous les échantillons est conforme à la réglementation en vigueur : CF <1000 UFC/100ml
 - Absence des germes pathogènes (*Vibiochloerae* et *Salmonelle sp*)
- Conformité des résultats des paramètres physico-chimiques par rapport à la réglementation en vigueur.
- Conformité des résultats des paramètres microbiologiques par rapport à la réglementation en vigueur.

❖ En guise de notre étude, il est recommandé :

- D'étudier le potentiel de recyclage des effluents hospitaliers,
- De ne pas se limiter à l'utilisation des techniques couteuses de traitement d'eau ;
- D'élaborer en se basant sur la recherche scientifique, de nouvelles alternatives pour la réutilisation des rejets issues d'hémodialyse, vue la rareté des ressources naturelles précieuses et la problématique majeure du réchauffement climatique :
- De viser à une meilleure gestion des ressources en eau et en énergie, surtout dans un pays exposé à une pénurie d'eau en future.

❖ A la suite de ces résultats, il serait intéressant de :

- Réaliser une étude sur le protocole du traitement des rejets du centre d'hémodialyse.
- Il serait souhaitable de recycler les effluents issus d'hémodialyse, après traitement et évaluation, permettant d'optimiser et de gérer les ressources en eau.

❖ **Annexe 1 : Mode de prélèvement**

Les prélèvements d'eau ont été réalisés par les techniciens d'hygiène du milieu selon la technique décrite dans la norme (NM. 03.7.051) et qui consiste à :

- ✓ Se laver très soigneusement les mains et avant-bras avec un produit désinfectant, les rincer abondamment avec de l'eau.
- ✓ Flamber le robinet pendant au moins 1 minute, en utilisant de préférence une lampe à souder portative à gaz butane.

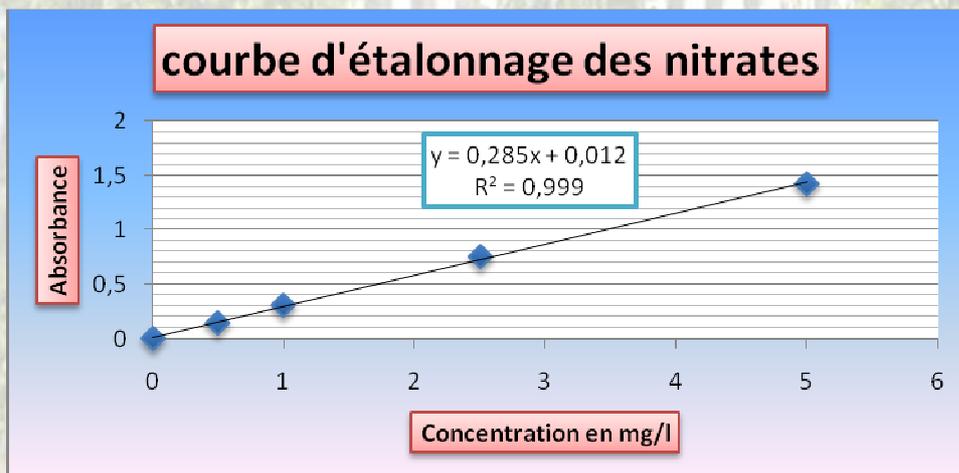


- ✓ Ouvrir le robinet et laisser couler 3 à 5 minutes avant de faire le prélèvement. Durant cette attente, et durant le prélèvement. Il est utile qu'un assistant maintienne la lampe à souder allumée, un peu au-dessus du robinet.
- ✓ S'il n'est pas possible de prélever l'eau par pompage, il faut disposer d'un panier métallique lesté. A l'intérieur duquel se loge le flacon de prélèvement, permettant d'entraîner celui-ci en dessous de la surface de l'eau ; le panier est muni d'une anse permettant de l'attacher à une corde pour le descendre au fond d'un puits et il est conçu de manière à permettre l'évacuation de l'eau entourant le flacon lors de la remontée au-dessus de la surface.
- ✓ Le panier et la corde qui lui est attachée, entourés d'un papier Kraft sont stérilisés, comme les flacons, à l'étuve avant emploi. Le prélèvement est à effectuer à environ 50 cm en dessous de la surface de l'eau
- ✓ Prélévés aseptiquement dans des flacons stériles en verre à large ouverture de capacité d'environ 500ml, les échantillons sont acheminés rapidement au laboratoire dans des glacières à 4°C et analysés immédiatement ou à défaut dans les 6 heures qui suivent le prélèvement.

❖ Annexe 2 : exemple d'une gamme d'étalonnage

- Gamme d'étalonnage des nitrates :

Concentration	0	0,5	1	2,5	5
D.O	0	0,144	0,308	0,751	1,424



❖ Annexe 3 : Composition, préparation et contrôles qualité des milieux de cultures.

a- Composition et préparation des milieux de cultures

Les formules de chaque milieu sont données en gramme par litre d'eau distillée. Les milieux qui sont préparés sont tous stérilisés par autoclave à 121°C pendant 20 min

- Eau peptonée : recherche de l'indole



Composition	Préparation
Peptone exempte d'indole 10,0 g	15 g par litre. Stérilisation classique.
Chlorure de sodium 5,0 g	
pH = 7,2	

- **Gélose Hektoen : isolement des Salmonella**

Composition	Préparation
protéose-peptone 12,0 g	75 g par litre. NE PAS AUTOCLAVER.
Extrait de levure 3,0 g	
Lactose 12,0 g	
Saccharose 12,0 g	
Salicine 2,0 g	
Citrate de fer III et d'ammonium 1,5 g	
Sels biliaires 9,0 g	
Fuchsine acide 0,1 g	
Bleu de bromothymol 0,065 g	
Chlorure de sodium 5,0 g	
Thiosulfate de sodium 5,0 g	
Agar 13,0 g	
pH = 7,5	

- **Milieu TCBS : isolement des Vibrio cholerae :**

Composition	Préparation
Peptone 10,0 g	88 g par litre à dissoudre à ébullition. NE PAS AUTOCLAVER.
Extrait de levure 5,0 g	
Saccharose 20,0 g	
Citrate de sodium 10,0 g	
Citrate de fer III 1,0 g	
Bile de bœuf 8,0 g	
Bleu de bromothymol 40 mg	
Bleu de thymol 40 mg	



Thiosulfate de sodium 10,0 g	
Chlorure de sodium 10,0 g	
Agar 14,0 g	
pH = 8,6	

• **Milieu Rappaport – vasiliadis : boillon d'enrichissement en salmonelle**

Composition	Préparation
Peptone de soja 4,5 g	51 g par litre. Autoclavage classique.
Vert malachite 36 mg	
Chlorure de sodium 7,2 g	
Dihydrogénophosphate de potassium	
Chlorure de magnésium hexahydraté	
pH = 5,2	

• **Milieu Tergitol au TTC : milieu de recherche et dénombrement de coliformes**

Composition	Préparation
Peptone 10 g	54,15 g par litre. Stérilisation classique. Le Tergitol est ajouté dans le milieu en surfusion à 45°C.
Extrait de viande 5 g	
Extrait de levure 6 g	
Lactose 20 g	
Tergitol 7 0.01 g	
TTC 0.025 g	
Bleu de bromothymol 0.05 g	
Agar 13 g	
pH du milieu prêt à l'emploi à 25°C : 7,2	



± 0,2.	
--------	--

b- Contrôles qualité des milieux de cultures :

Ce contrôle est basé sur les manipulations suivantes :

- Effectuer un calibrage de la balance,
- Utiliser une eau distillée préalablement contrôlée (pH, conductivité, ...),
- Préparer les milieux de cultures dans un champ stérile, à côté d'un bec benzène,
- Utiliser une verrerie contrôlée,
- Dissoudre complètement les composants du milieu préparé,
- Respecter la durée et le temps d'autoclavage,
- Contrôler le niveau d'eau de l'autoclave avant utilisation,
- Contrôler l'efficacité de l'autoclave à chaque stérilisation par le ruban indicateur et mensuellement par l'indicateur biologique (Stérikon),
- Couler les milieux stérilisés dans un champ stérile,
- Contrôler la stérilité du milieu préparé avant utilisation, par incubation d'une boîte si milieu solide ou d'un tube si bouillon à l'étude à $36\pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 48H.

❖ Annexe 4 : technique utilisée pour les analyses microbiologiques

• La technique par filtration :

Le principe de cette technique repose sur 4 étapes qui sont la filtration, la culture, l'incubation et le dénombrement des colonies.

- La filtration d'un volume donné d'échantillon sur une membrane de cellulose stérile de 0.45μ de porosité. La prise d'essai maximale est fonction de la filtrabilité de l'eau et de la porosité des membranes utilisées. En général, une prise de 100 ml est suffisante avec une membrane dont les pores ont un diamètre moyen de 0.45μ .
- le dépôt de la membrane sur un milieu gélosé sélectif ;
- l'incubation aux températures et temps convenables ;
- le dénombrement des UFC dans le volume de référence choisi.

• Schéma et technique de la filtration :



- Relier le dispositif de filtration à une source de vide (pompe ou trompe à eau) ;
- Brancher la pompe à une prise de courant ;
- Ouvrir le robinet du dispositif de filtration ;
- Enlever le réservoir et stériliser à la flamme la surface du support poreux, ainsi que le réservoir ;
- Laisser refroidir en y versant de l'eau distillée et laisser la pompe aspirer ;
- Fermer le robinet et remettre le réservoir sur le support ;
- Placer, à l'aide d'une pince préalablement passée à la flamme puis refroidie, une membrane stérile (la tenir seulement par le bord extérieur) sur la base du support poreux ;
- Rincer à l'eau distillée stérile le réservoir et la membrane filtrante tout en maintenant l'arrivée fermée ;
- Homogénéiser bien l'échantillon et verser ou transférer à l'aide d'une pipette un volume V connu d'échantillon ;
- Ouvrir le robinet et faire un vide pour filtrer lentement l'eau à travers la membrane ;
- Refermer aussitôt le robinet après que tout l'échantillon ait été filtré ;
- Retirer le réservoir et ensuite la membrane et la déposer sur le milieu de culture.

Note : Faire attention en déposant la membrane pour ne pas emprisonner de bulle d'air entre celle-ci et le milieu.

Si cela se produisait, soulever légèrement la membrane en la tenant par le bord et la redéposer très doucement pour éliminer la bulle d'air.

Pour différentes dilutions d'un même échantillon commencer toujours la plus forte dilution. Le réservoir peut être réutilisé sans désinfection entre 2 dilutions. Pour filtrer un autre échantillon, désinfecter ou rincer abondamment à l'eau distillée le réservoir et le support poreux.

- [1] Louis et al. 1991 : Les maladies diarrhéiques infantiles en république centre africaine, *Médecine d'Afrique Noire*, 38 (4).
- [2] Jabrane M, Fadili W, Kennou B, Labaali, Zahlane K, Laouad I, 2013. Valuation de l'impact d'un centre d'hémodialyse sur l'environnement et l'écologie locale.
- [3] Ameziane N, Benaabidate L, 2013. Caractérisation microbiologique des effluents de l'hôpital Mohamed V de Meknès et étude de leur impact sur l'environnement. *C-Sciences de l'Environnement*, n° 10/Janvier 2014. Pages 31 à 38



- [4] HAS. DAQSS. La dialyse dans l'insuffisance rénale chronique terminale ; fiche thématique ; Aout 2008.
- [5] B.Stengel, C.Couchoud. Épidémiologie de l'insuffisance rénale chronique en France ; Insuffisance rénale chronique. Presse Med, 2007, 36: 1811–21.
- [6] Maroc hebdo International. La dialyse entre prise en charge et coûts des soins : le chemin de croix des dialysés au Maroc; N° 1018 - Du 29 mars au 04 avril 2013.
- [7] D. Doreza, H. Soule. L'eau de dialyse en réanimation. Réanimation, 10 mai 2009; 18, 407- 412 ;
- [8] FaissalTarrass, Meryem Benjelloun, Omar Benjelloun. Recycling wastewater after Hemodialysis: An Environmental Analysis for Alternative Water Sources in Arid Regions. American Journal of Kidney Diseases, July 2008, Vol 52, N° 1, pp 154-158.
- [9] N.Rolf. Microbiology of Water and Fluids for Hemodialysis; May 2008, 71.
- [10] Deloffre-Bonnamour N, 1995 Les rejets des établissements de santé : des effluents liquides aux déchets solides. Mémoire de maîtrise - IUP Génie de l'Environnement - Ecodéveloppement - Université Claude Bernard - Lyon 1. Lyon: 75p.
- [11] Emmanuel E, 2004a Évaluation des risques sanitaires et écotoxicologiques liés aux effluents hospitaliers. Thèse INSA de Lyon - Spécialité Sciences et Techniques du Déchet. Lyon: 259p.
- [12] La Gestion des Effluents Liquides en Milieu Hospitalier, C. Dremont, R. Hadjali, Projet DESS "TBH", UTC, 1997, pp 30,
- [13] Darsy C, Lescure I, Payot V, Rouland G, 2002. Effluents des établissements hospitaliers: teneur en microorganismes pathogènes, risques sanitaires, procédures particulières d'épuration et de gestion des boues. Limoges Cedex
- [14] Liv. Guide de Gestion des Déchets des Etablissements de Soins, Décembre 2004. Edité avec l'appui du Centre Régional des Activités d'Hygiène du Milieu (CEHA) de l'Organisation Mondiale de la Santé, p36-37.
- [15] FAGNIBO Harence F, 2011. GESTION DES EFFLUENTS DOMESTIQUES EN MILIEU HOSPITALIER : Cas du Centre National Hospitalier Hubert Koutoukou Maga de Cotonou (Bénin). Mémoire de Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE).
- [16] BELKODA W., 2007. Contribution à la gestion des effluents liquides hospitaliers. Université doukkali et jadida, mémoire online, 22 pages.
- [17] CLIN Paris Nord., 1999. Elimination des effluents liquides des établissements hospitaliers, 71 pages.
- [18] Chevalier, P. (2005). Les eaux usées urbaines. In Chevalier, P., Technologies d'assainissement et prévention de la pollution (chap.2, p. 51-120). Québec, Télé-Université.
- [19] Khouri, N. Kalbermatten, J.M. and Bartone, C.R. (1994). The reuse of wastewater in agriculture: A guide for planners. In Khouri, N. Kalbermatten, J.M. and Bartone, C.R. Water and sanitation.



- [20] Bouchet, C. (2008). Recyclage et réutilisation des eaux usées : ou en sommes-nous ? L'eau, l'industrie, les nuisances, n308, p. 33-42.
- [21] Lazarova, V. et Brissaud, F. (2007). Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France. L'eau, L'industrie, Les nuisances, n299, p. 43-52.
- [22] E. Dadi, 2010. *L'ÉVALUATION DE LA POSSIBILITÉ DE RÉUTILISER EN AGRICULTURE L'EFFLUENT TRAITÉ DE LA COMMUNE DE DRARGA*. Maître en environnement (M.Env.), centre universitaire de formation en environnement, université de Sherbrooke, Québec, Canada.
- [23] Toze, S. (2005). Reuse of effluent water -benefits and risks. *Agricultural Water Management*, vol. 80, p. 147-159.
- [24] Agunwamba, J. C. (2001). Analysis of Socioeconomic and Environmental Impacts of Waste Stabilization Pond and Unrestricted Wastewater Irrigation: Interface with Maintenance. *Environmental Management*, vol. 27, n 3, p. 463-476.
- [25] S.E.E.E, 2007. Normes de Qualité : Eaux destinées à l'irrigation.
- [26] Santé Canada (1991) *La qualité bactériologique*. Document de support aux « recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada ».
- [27] Barthe, C., J. Perron et J.M.R. Perron (1998) *Guide d'interprétation des paramètres microbiologiques d'intérêt dans le domaine de l'eau potable*. Document de travail (version préliminaire), ministère de l'Environnement du Québec, 155 p. + annexes.
- [28] Elmund, GK, MJ Allen et EW Rice (1999) Comparison of *Escherichia coli*, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency. *Water Environ. Res.*, 71:332-339.
- [29] Edberg, SC, EW Rice, RJ Karlin et MJ Allen (2000) *Escherichia coli* : the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, 88 : 106S-116S.
- [30] OMS (2000) *Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 2 – critères d'hygiène et documentation à l'appui*. Organisation mondiale de la Santé, 2e édition, 1050 p. Accessible à : www.who.int/water_sanitation_health/GDWQ/Summary_tables/
- [31] CEAEQ (2000) *Recherche et dénombrement des coliformes fécaux; méthode par filtration sur membrane*. Centred'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec, 24 p.
- [32] Robertson, W (1995) *Utilités et limites des indicateurs microbiologiques de la qualité de l'eau potable*. Dans : *Air intérieur et Eau potable*, sous la direction de Pierre Lajoie et Patrick Levallois, Presses de l'Université Laval, p. 179-193.
- [33] Jean Rodier, 2009. *l'Analyse de l'eau*. 9^{ème} Edition. Paris : Christine BAZIN, Jean-Paul BROUTIN, Paul CHAMBON, Hervé CHAMPSAUR, Lucienne RODI, Jean RODIER,



- [34] MESSROUK H., 2011. *Contribution à l'évaluation et au traitement des eaux usées dans la région d'Ouargla: Cas des composés phénoliques*. Mémoire En vue de l'obtention du diplôme de Magister, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [35] Guide, Janvier 2007. *Contrôle et Suivie de la Qualité des Eaux Usées : Protocole de Détermination des Paramètres Physico-chimiques et Bactériologiques*. Centre Régional Pour l'Eau Potable Et L'Assainissement À Faible Coût.
- [36] M. Di Benedetto, Dossier SAM 1997. *METHODES SPECTROMETRIQUES D'ANALYSE ET DE CARACTERISATION*. Saint-Etienne
- [37] NM 03.7.008, 1989. *Eaux d'alimentation humaine - Détermination de la température*
- [38] NM 03.7.009, 2001. *Eaux d'alimentation humaine - Mesure du pH*
- [39] NM 03.7.011. 2001. *Eaux d'alimentation humaine - Mesure de la conductivité électrique*
- [40] NM 03.7.014, 1990. *Eaux d'alimentation humaine - Détermination des nitrates à la sulfanilamide après réduction*
- [41] NM 03.7.013, 1999. *Eaux d'alimentation humaine - Détermination des nitrites Méthode à la sulfanilamide*
- [42] NM ISO 9308-1, 2007. *Qualité de l'eau - Recherche et dénombrement des E-coli et des bactéries coliformes Partie: 1 Méthode par filtration sur membrane*
- [43] NM 03.7.051, 1995. *Eaux d'alimentation Humaines - Méthode de mise en évidence des Vibrions dans l'eau*
- [44] NM 03.7.050, 1995. *Eaux d'alimentation Humaines - Méthode de mise en évidence des Salmonelles dans l'eau*