

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DE SCIENCES AGRONOMIQUES

Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de master académique en

Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

Filière : Sciences Alimentaires

Thème

*Nouvelles technologies de traitement de l'eau :
Magnétisation de l'eau potable
(Etude bibliographique)*

Réalisé par

M^{elle} Stiti Sabrina

M^{elle} Tadjer Wahiba

Soutenu publiquement, devant le jury d'examen composé de

Président : **M^r Bengana Mohamed**

Maitre de conférences B à l'UMMTO

Promoteur : **M^r Amrouche Tahar**

Professeur à l'UMMTO

Co-Promotrice : **M^{me} Chaouchi Mazi Damia**

Doctorante à l'UMMTO

Examinatrice : **M^{me} Remane Benmalleem Yakout**

Maitre assistante A à l'UMMTO

*Année universitaire
2019/2020*

Remerciements

Avant tout, nous tenons à remercier le bon DIEU tout puissant de nous avoir donné santé, patience et courage pour mener à terme ce travail dans les meilleures conditions.

Nos remerciements les plus sincères vont de tout cœur à notre promoteur M^r **AMROUCHE Tahar**, ainsi qu'à notre Co-promotrice M^{me} **CHAOUCHI MAZI Damia** de nous avoir encadré de la meilleure des façons, d'avoir mis à notre disposition leurs connaissances, leur temps si précieux, ainsi que leur qualité humaine et leur bon cœur, nous leur adressons notre profonde et sincère reconnaissance.

Merci d'avance aux membres du jury, qui nous ont honorés de leur participation et attention portées à notre mémoire de fin de cycle afin de nous évaluer :

- Le président du jury : M^r **BENGANA Mohamed**
- Examinatrice : M^{me} **REMANE BENMALLEM Yakout**

Nous tenons également à remercier le PDG de SAKORA Groupe M^r **BELLAID Saïd** d'avoir fait dons de plusieurs appareils d'hydro-magnétiseurs au profit de l'université en nous donnant ainsi la chance de pouvoir les utiliser et mieux comprendre leur fonctionnement.

Nous remercions également l'ADE : la directrice de l'unité de Tizi-Ouzou M^{me} **OUAMROUCHE** ainsi que la responsable du laboratoire de Boukhalfa M^{me} **LADJEL** pour leur accueil et leur participation. En effet nous avons pour projet de réaliser une étude pratique au sein de l'ADE, ce qui n'a pas été possible vue les conditions sanitaire et par manque de moyens.

Enfin, nous remercions toute personne ayant contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mes chers parents, qui m'ont donné la vie, qui ont toujours été là pour moi, qui m'ont encouragé tout au long de mes études.

Mes deux grands-mères et à la mémoire de mes grands-pères.

Ma chère sœur MELISSA.

Mon frère YANIS.

Mes tantes, oncles et cousins (es).

A mes amis (es) RAFIK, OUERDIA, LYDIA, SOUAD, LAMIA, ABDNOUR, et tous ceux qui me sont chères.

A WAHIBA mon amie et binôme pour cette aventure menée ensemble.

A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.

SABRINA.



Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes chers parents, pour leurs sacrifices leur accompagnement et leur encouragement tout au long de mes études.

A mes frères et sœurs, NASSIMA, NACER, NASSIM et SIHAM.

A toute la famille TADJER et CHERGUI.

A mes amies KAHINA et SONIA.

A ma chère amie et binôme SABRINA.

A tout mes camarades de promotion.

A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.

WAHIBA.



Liste des abréviations

°F : Degré Français.

μS /cm : Microsimens/centimètre

ADE : Algérienne Des Eaux.

AEP : Approvisionnement en eau potable.

AMT : Traitement magnétique antitartre.

CSR : Clostridium Sulfito-Réducteurs.

DBO : La demande biochimique en oxygène.

DCO : La demande chimique en oxygène.

Hb : Hémoglobine.

ISO : Organisation Internationale de Standardisation.

MES : Matières en suspension.

MetHb : Méthémoglobine.

Meq : Milliéquivalents

MF : Microfiltration.

MFTW : Eau traitée par champ magnétique

M.O : Matière organique

MPa : Milli-Pascal

m³ atm/mol : Mètre cube atmosphère par mol

NF : Nanofiltration.

nm : Nanomètre

NTU : Unité néphélogétrie de turbidité

OI : Osmose Inverse.

OSCE : Organisation pour la Santé et la Coopération en Europe

ppm : partie par million.

TA : Titre Alcalimétrique simple.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

TCE : Trichloréthylène.

TDS : Total des solides dissous.

THM : Trihalométhanes.

THt : Titre hydrométrique total

UF : Ultrafiltration.

Liste des figures

Figure		Page
01	Molécule de l'eau	3
02	Cycle de l'eau.	4
03	Etapes de traitement de l'eau potable	32
04	Les procédés membranaires les plus couramment utilisés pour éliminer les microbes de l'eau potable	45
05	Modèle en coupe de l'AQUABION	47
06	Modèle de la technologie électronique anticalcaire "Vulcan"	48
07	Modèle de la technologie ClearWELL	49
08	Schéma du champ magnétique et de la direction de l'écoulement de l'eau au cours du traitement.	51
09	La structure de l'eau dynamisée en micromolécules (Microcluster)	51
10	Cristaux de Masaru Emoto	53
11	Effet du champ magnétique sur les grappes d'eau	53
12	Effet de la consommation de l'eau vitalisée sur le sang	55
13	Magnétiseur Delta-Water	60
14	Anneau magnétiseur MERUS	60

Liste des tableaux

Tableau		Page
I	Salinité des principales eaux de mer.	6
II	Classification des eaux selon leur pH.	10
III	Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité électrique.	12
IV	Normes de qualité de l'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS.	23
V	Classification des eaux minérales selon la thermalité.	25
VI	Classification chimique des eaux minérales.	26
VII	Pourcentage de germination et rendement (moyenne des trois saisons) de certaines cultures de plein champ lors d'expériences sur le terrain, tel qu'affecté par les traitements magnétiques.	62
VIII	Pourcentages en masse des différentes formes cristallines de carbonate de calcium dans les deux échantillons traité et non traité magnétiquement	63
IX	Les avantages et les inconvénients de la magnétisation et de quelques technologies récentes de traitement de l'eau potable.	67

Glossaire

Aragonite : variété de carbonate de calcium CaCO_3 , orthorhombique, que l'on trouve dans des roches métamorphiques carbonatées.

Boues d'épuration : ce sont le principal déchet produit par une station d'épuration à partir des effluents liquides.

Calcite : la calcite fait référence au carbonate de calcium cristallisé, principal constituant de roches sédimentaires telles que le marbre, le calcaire.

Entartrage : c'est le dépôt de tartre sur un objet ou à l'intérieur d'une canalisation.

Magnétisation : la magnétisation peut désigner à la fois l'action d'aimanter quelque chose ou l'état d'un sujet aimanté. Ainsi deux objets qui ne peuvent être réunis car séparés par une force aimantée se trouvent dans une situation de magnétisation.

Vatérite : minéral composé de carbonate de calcium CaCO_3 , c'est donc un polymorphe de la calcite et de l'aragonite.

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Glossaire	
Introduction générale	1

Partie bibliographique

Chapitre I : Propriétés et utilisation des eaux

1. Définitions	3
1.1. L'eau	3
1.2. Propriétés de l'eau.....	3
1.3. Cycle de l'eau	3
2. Ressources en eau.....	4
2.1. Ressources en eau conventionnelles	5
2.1.1. Les eaux superficielles	5
2.1.2. Les eaux souterraines.....	5
2.2. Ressources en eau non conventionnelles	5
2.2.1. Les eaux de mer.....	5
2.2.2. Les eaux usées	6
3. Les substances présentes dans l'eau naturelle.....	7
3.1. Les matières colloïdales	7
3.2. Les matières organiques dissoutes.....	7
3.3. Les matières minérales dissoutes.....	7
3.4. Les gaz dissouts	7
4. Les propriétés des eaux naturelles	8
4.1. Les propriétés organoleptiques	8

4.1.1. La couleur	8
4.1.2. Le goût et l'odeur	8
4.1.3. La turbidité	9
4.2. Les propriétés physico-chimiques	9
4.2.1. La température.....	9
4.2.2. Le potentiel d'hydrogène	9
4.2.3. La dureté	10
4.2.4. L'alcalinité	11
4.2.5. La conductivité électrique	12
4.3. Les propriétés microbiologiques.....	13
4.3.1. Les germes aérobies revivifiables	13
4.3.2. Les coliformes	13
4.3.3. Les streptocoques fécaux	14
4.3.4. Clostridium sulfito-réducteurs.....	14
4.3.5. Salmonelles	15
4.3.6. Vibrion cholériques	15
4.4. Eléments indésirables.....	16
4.4.1. Fer.....	16
4.4.2. Aluminium	16
4.4.3. Cuivres	16
4.4.4. Manganèse	16
4.4.5. Zinc	17
4.5. Les paramètre de toxicité	17
4.5.1. Arsenic	17
4.5.2. Cadmium.....	17
4.5.3. Mercure	18
4.5.4. Plomb	18
4.5.5. Chrome.....	18
4.6. Les paramètre de pollution organique.....	19
4.6.1. La demande biochimique en oxygène	19

4.6.2. La demande chimique en oxygène	19
4.6.3. Azote ammoniacal	19
4.6.4. Nitrites	20
4.6.5. Nitrates.....	20
4.6.6. Matières organiques.....	21
4.6.7. Phosphates.....	21

Chapitre II : Les eaux destinées à la consommation humaine

1. Eau et son rôle dans l'organisme humain	22
2. Eau potable.....	22
2.1. Définition.....	22
2.2. Qualité	22
2.3. Utilisation	24
3. Les eaux minérales naturelles	25
3.1. La flore naturelle de l'eau minérale naturelle.....	27
4. Importance des cations et des anions contenus dans l'eau.....	27
4.1. Les cations	27
4.1.1. Le calcium.....	26
4.1.2. Le magnésium	27
4.1.3. Le potassium	28
4.1.4. Le fer.....	28
4.1.5. Le sodium.....	28
4.2. Les anions.....	28
4.2.1. Le chlorure	28
4.2.2. Le sulfate.....	29
4.2.3. La bicarbonate	29
4.2.4. Le phosphore.....	30

Chapitre III : Technologie de traitement de l'eau potable

1. Traitement de l'eau potable.....	31
1.1. Définition du concept de traitement de l'eau	31
1.2. Les objectifs de traitement de l'eau	31

2. Technologie de traitement de l'eau potable	31
2.1. Prétraitements	32
2.1.1. Dégrillage	32
2.1.2. Macrotamissage	33
2.1.3. Dessablage	33
2.1.4. Débourage	33
2.1.5. Microtamissage	33
2.1.6. Dégraissage/déshuilage.....	34
2.1.7. Aération.....	34
2.2. Préchloration	34
2.3. Clarification.....	35
2.3.1. Coagulation/Floculation.....	36
2.3.2. Décantation	36
2.3.3. Flottation.....	37
2.3.4. Filtration.....	37
2.4. Désinfection.....	38
2.4.1. Différents modes de désinfection	38
2.4.1.1. Les traitements chimiques	38
2.4.1.2. Les traitements physiques par les ultraviolets	39
2.5. Traitement d'affinage.....	40
3. Problèmes rencontrés dans les réseaux de distribution d'eau	41
3.1. Phénomène de corrosion	41
3.2. Phénomène d'entartrage.....	42
4. Nouvelles technologies de traitement de l'eau.....	44
4.1. Filtration membranaire.....	44
4.2. L'AQUABION	47
4.3. Le système anticalcaire électronique 'Vulcan'	48
4.4. ClearWELL : Contrôle du tartre et de la paraffine	49
4.5. Technologie de traitement magnétique	50
4.5.1. Traitement de l'eau par magnétisation	50

4.5.2. Préparation d'une eau magnétisée	51
4.5.3. Propriétés de l'eau magnétisée	52
4.5.4. Effet du magnétisme sur l'eau	53
4.5.4.1. Effet du magnétiseur sur la dissolution des TDS (Total des solides dissous) dans l'eau	54
4.5.5. Les avantages d'utilisation de l'eau magnétisée	55
4.5.5.1. Sur l'organisme humain	55
4.5.5.2. Sur les animaux	56
4.5.5.3. En agriculture	56
4.5.5.4. En industrie	59
4.5.6. Deux types d'hydro-magnétiseurs	59
4.5.6.1. Technologie Japonaise "Delta-Water"	59
4.5.6.2. Technologie Allemande anneau MERUS	60

Chapitre IV : Etat de la recherche et développement sur l'application de la magnétisation de l'eau potable dans différents secteurs économiques.

1. Apport de la magnétisation dans le traitement de la salinité des terres agricoles	61
2. Utilisation de la magnétisation pour la prévention de l'entartrage des canalisations industrielles et des conduites de distribution d'eau potable.....	63
3. Application d'un champ magnétique de puissance et de direction contrôlée à l'eau d'irrigation et l'eau potable.....	64
4. Comparaison entre la magnétisation et autres nouvelles technologies de traitement de l'eau potable	66
Conclusion.....	69

Références bibliographiques

Résumé

Introduction générale

L'eau est la ressource vitale renouvelable, la plus répandue sur terre. C'est un élément indispensable à toute forme de vie. Une bonne gestion et un contrôle régulier de la qualité de l'eau est nécessaire, pour éviter tout risque sanitaire.

Une eau de bonne qualité physico-chimique et bactériologique est nécessaire pour son acceptation d'une part, et pour la protection sanitaire du consommateur et du réseau de distribution d'autre part. C'est pourquoi, elle doit subir un traitement avant sa distribution.

Ces dernières décennies, un grand nombre de nouvelles technologies de traitement des eaux se sont développées. Plusieurs types de procédés se sont révélés d'une grande valeur. A titre d'exemple, nous citons l'osmose inverse, l'électrodialyse, les procédés membranaires de filtration, la magnétisation... etc.

La magnétisation, technologie récente dans le traitement de l'eau potable. L'eau magnétisée, appelée également "eau magnétique" ou "eau aimanté", est une eau soumise à un champ magnétique produit par l'action des aimants. L'action des aimants corrélée au champ magnétique terrestre modifie l'assemblage moléculaire de l'eau et lui confère un meilleur apport en énergie, en vitalité et en pureté.

L'utilisation de la magnétisation pour le traitement de l'eau potable a prouvé son efficacité dans le domaine de traitement de l'eau pour ses différentes utilisations en agriculture, dans la consommation humaine et également pour son utilisation industrielle.

L'objectif de notre travail est de faire un état des connaissances sur les nouvelles technologies de l'eau, et ce en se focalisant sur le traitement par magnétisation, ses diverses utilisations, son efficacité et ses avantages par rapport aux autres technologies récentes de traitement de l'eau potable.

La démarche que nous avons adoptée est fondée sur une synthèse bibliographique portant sur des ouvrages, des revues et des articles, à partir de la bibliothèque de la faculté des Sciences Agronomiques de l'UMMTO. A ceci s'ajoute nos recherches sur sites internet (sciencedirect.com, scholar.google.com, elsevier.com et b-ok.africa...), des textes juridiques, ce qui nous a permis de collecter les données théoriques nécessaires pour développer notre sujet.

Notre synthèse bibliographique est composée de quatre chapitres.

Le premier chapitre présente quelques généralités sur l'eau naturelle et les différents paramètres influençant sur sa qualité. Le second chapitre porte sur la notion de qualité de l'eau potable, son utilisation et un aperçu sur les eaux minérales. Dans le troisième chapitre nous avons décrit le procédé de traitement de l'eau potable, les problèmes rencontrés dans les canalisations de distribution de l'eau potable, les nouvelles technologies de traitement de l'eau potable et enfin la technologie de traitement de l'eau par magnétisation.

Dans le quatrième et dernier chapitre, quelques études scientifiques rapportées dans le domaine de la magnétisation de l'eau potable seront présentées pour les différents secteurs économiques à savoir : le traitement de l'eau destinée à l'irrigation sur des terres à salinité élevée (SELIM, 2008), magnétisation de l'eau potable (KOBE *et al.*, 2001) et l'utilisation de l'eau magnétisée pour l'alimentation animale (LIN et YOTVAT, 1990).

Enfin, nous terminerons notre travail par une conclusion générale qui mettra en exergue les principaux résultats rapportés dans la littérature scientifique.

Chapitre I : Propriétés et utilisation des eaux

1. Définitions

1. 1. L'eau

L'eau est un corps incolore, claire, inodore, de saveur agréable, de pH neutre et liquide aux températures ordinaires, résultante de la combinaison d'une molécule d'oxygène et deux molécules d'hydrogène (Figure 01) et qui peut dissimuler un certain nombre de corps (KETTAB, 1992).

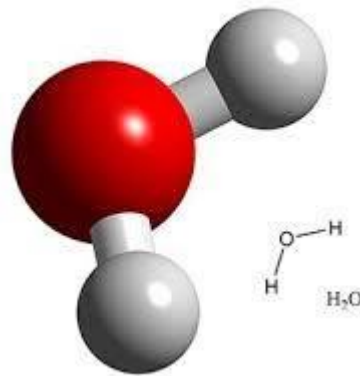


Figure 01 : Molécule de l'eau (Anonyme 1).

Selon une autre définition, l'eau est le substrat fondamental des activités biologiques et le constituant le plus important des êtres vivants (70% de leur poids en moyenne) (SAMAKE, 2002).

1. 2. Propriétés de l'eau

L'eau est un composé chimique simple, sous l'action du soleil, de la pression atmosphérique et de la température, elle change d'état, liquide à température et pression ambiantes, gazeuse au-dessus de 100°C et solide en dessous de 0°C. Sa formule chimique est H₂O, c'est-à-dire que chaque molécule d'eau se compose d'un atome d'oxygène auquel sont liés deux atomes d'hydrogène (ABDESSELEM, 1999).

1. 3. Cycle de l'eau

Le cycle de l'eau (Figure 02) pris dans son ensemble regroupe deux branches bien distinctes, bien que couplées entre elles :

- le cycle de l'eau dans l'atmosphère (nuages, précipitations...), caractérisé par une circulation rapide de l'eau, essentiellement sous forme vapeur;
- le cycle de l'eau dans le sol essentiellement en phase liquide, il est marqué par une vitesse de circulation de l'eau relativement lente, et l'eau qui parcourt cette branche du cycle est pour un temps soustraite à toute interaction avec la branche atmosphérique (GROSCLAUDE, 1999).

Les eaux passent par différentes étapes tout le long du cycle, c'est-à-dire elles deviennent eaux océaniques, eaux atmosphériques, eaux de surface ou eaux souterraines (CHOMPOUX et TOUTAN, 1988).

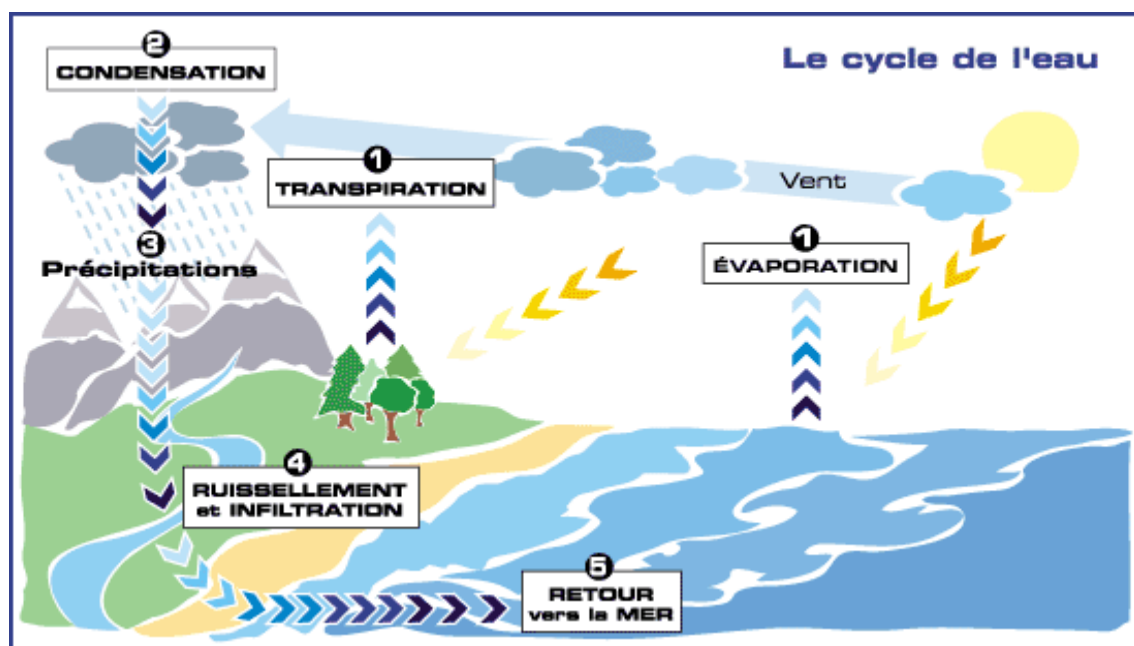


Figure 02 : Cycle de l'eau (ANONYME 2).

L'eau arrive au sol où elle s'infiltré et devient eau souterraine, l'excédent qui tombe au sol ruisselle et se retrouve dans les cours d'eau et les lacs et finalement dans la mer (ECCP, 1990).

2. Ressources en eau

Les ressources en eau sur terre, sont classées en deux grands groupes : les ressources conventionnelles et les ressources non conventionnelles :

En Algérie, les ressources en eau proviennent des eaux de surface, des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants liés à l'essor démographique et le développement

accélération des activités économiques, notamment l'agriculture et l'industrie (HARRAT et ACHOUR, 2010).

2. 1. Ressources en eau conventionnelles

Elles comprennent les eaux superficielles et les eaux souterraines.

2. 1.1. Les eaux superficielles

Il s'agit des masses d'eau bien individualisées solides ou liquides, immobiles ou en mouvement. Elles se trouvent en contact étroit avec le sol d'un côté et avec l'atmosphère de l'autre côté. Leur origine est l'eau des précipitations, elles sont constituées par les eaux de ruissellement, rivières, fleuve, étangs, lacs, barrages-réservoirs et glaces (VILAGINES, 2010).

2. 1.2. Les eaux souterraines

Ce sont les eaux enfouies dans le sol. Leur origine est due à l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de sa porosité et de sa structure géologique. Elles forment des réservoirs naturels dénommés aquifères (CARDOT, 1999).

Quand une eau souterraine contient des concentrations en minéraux plus élevées que les normes de potabilité, et qu'elle représente des propriétés thérapeutiques et est distribuée en bouteilles avec parfois un traitement bien défini, ces eaux sont dites eaux minérales (SALGHI, 1997).

2. 2. Ressources en eau non conventionnelles

2. 2.1. Les eaux de mer

Les eaux de mer sont une source d'eau brute qui n'est utilisée que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leurs fortes concentrations en sels dissous (salinité).

L'Algérie, pays méditerranéen, possède 1200 Km de côtes. La quantité d'eau dessalée en Algérie est estimée à 60 millions m³ (KETTAB, 2001).

La salinité de la plupart des eaux de mer varie de 33 000 à 37 000 mg/L (DESJARDINS, 1997). Le Tableau I représente la salinité des principales eaux de mer.

Tableau I : Salinité des principales eaux de mer (DESJARDINS, 1997).

Mer ou océan	Concentration (mg/L)
Mer Rouge	43000
Golfe Arabique	43000
Mer méditerranée	39400
Océan Atlantique	36000
Océan Indien	33800
Océan pacifique	33000
Mer Adriatique	25000
Mer Noir	13000
Mer Baltique	7000

2. 2.2. Les eaux usées

Les eaux usées sont toutes les eaux issues des activités domestiques, agricole et industrielle chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Les eaux usées englobent également les eaux de pluies et leurs charges polluantes, elles engendrent au milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisance. (METAHRI, 2012).

Les eaux usées sont maintenant réutilisées à différentes fins dans de nombreux pays, en particulier au Moyen-Orient, et cette pratique devrait se répandre à l'avenir. L'eau non potable est utilisée partout dans le monde dans l'irrigation et le refroidissement industriel. Les villes se tournent également vers la réutilisation de l'eau pour compléter l'approvisionnement en eau potable, profitant des progrès réalisés en matière de traitement de l'eau (WITGEN, 2009).

A cet effet une cinquantaine de station d'épuration ont été réalisées en Algérie avec une capacité de l'ordre de 4 millions habitants équivalents (KETTAB, 2001).

3. Les substances présentes dans l'eau naturelle

3. 1. Les matières colloïdales

Ce sont des petites particules chargées négativement (argiles, acides humiques). Les solutions colloïdales sont très stables. Les colloïdes sont classés en deux catégories en fonction de leur affinité vis-à-vis de l'eau à savoir les colloïdes hydrophiles et les colloïdes hydrophobes (BERNE et CORDONIER, 1991).

3. 2. Les matières organiques dissoutes

Ce sont des composés de carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote. Ces matières proviennent soit de l'érosion des sols, soit de la décomposition de matières animales ou végétales qui se retrouvent dans l'eau (REJSEK, 2002).

3. 3. Les matières minérales dissoutes

Les matières minérales dissoutes proviennent généralement de la dissolution des roches par l'eau lors de son cheminement dans la nature. Toutefois, la présence de certains éléments sous forme ionique (les ions chlorure ou nitrate), peut provenir de l'activité humaine (pollution industrielle ou agricole) (DERRIEN et *al.*, 2009).

3. 4. Les gaz dissouts

L'eau contient toujours des gaz dissouts dont les concentrations dépendent notamment de la température ainsi que de la composition et de la pression de l'atmosphère gazeuse avec laquelle elle est en contact (RODIER et *al.*, 2009).

Les gaz dissouts dans l'eau sont :

- l'oxygène dissout : celui-ci est un composé essentiel de l'eau car il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs: la température, la pression et la force ionique du milieu. La concentration en oxygène dissout est exprimée en mg (O₂). L⁻¹ (TARDAT-HENRY et BEAUDRY, 1992).
- le gaz carbonique (CO₂) : Il intervient dans les propriétés organoleptiques (goût, odeur etc.), c'est aussi un élément majeur du système calco-carbonique. Ainsi il joue un rôle important dans l'équilibre physico-chimique de l'eau (TARDAT-HENRY, 1984).

4. Les propriétés des eaux naturelles

4. 1. Les propriétés organoleptiques

Il s'agit de la saveur, de la couleur, de l'odeur et de la transparence de l'eau. Ces caractères sensoriels n'ont pas de signification sanitaire, mais par leur dégradation peuvent être des facteurs d'alerte pour une pollution ou indiquer un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distribution de l'eau (LOUNNAS, 2009).

4. 1.1. La couleur

La couleur de l'eau est due aux éléments qui s'y trouvent à l'état dissous ou colloïdal, elle est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux substances en solution apparente, quand les substances en suspension y ajoutent leurs propres colorations (RODIER *et al.*, 2009).

La présence de couleur dans l'eau de consommation est esthétiquement indésirable. Celle-ci provient de matières organiques, comme par exemple les substances humiques, les tanins mais également les métaux comme le fer et le manganèse ainsi que les résidus industriels fortement colorés. Toutefois, la limpidité de l'eau ne garantit pas l'absence de germes pathogènes (Fondation Nationale de la Santé, 2013).

4. 1.2. Le goût et l'odeur

Une eau destinée à l'alimentation humaine doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaires. Le sens olfactif peut seul, parfois, le déceler (RODIER *et al.*, 2009).

La saveur peut être définie comme, l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation, par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs (RODIER, 2005).

La saveur d'une eau est due à la combinaison de nombreux facteurs, parmi lesquels interviennent la minéralisation de l'eau (sels minéraux qui donnent des goûts particuliers à l'eau), les matières organiques dissoutes provenant de la décomposition des matières organiques végétales et des résidus agricoles, et les métabolites de certains micro-organismes vivants dans l'eau (REJSEK, 2002).

4. 1.3. La turbidité

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence, elle donne une idée sur sa teneur en matières en suspension notamment colloïdales (argiles, limons, grains de silice, matière organique, etc.), formant parfois d'importants dépôts dans les tuyauteries et dans les réservoirs. Pour la sécurité de l'eau de boisson il faut maintenir une turbidité inférieure à 5 NTU (RODIER, 2005).

Les eaux souterraines qui subissent la filtration par le sol ont une turbidité faible (RODIER et *al.*, 2009).

Selon l'OMS (2008), une turbidité importante peut mettre les microorganismes à l'abri des effets de la désinfection, stimuler la croissance bactérienne et entraîner une demande élevée en chlore.

4. 2. Les propriétés physico-chimiques

4. 2.1. La température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH. De plus, la vitesse des réactions chimiques et biochimiques varie en fonction de la température de l'eau (RODIER et *al.*, 2009).

La température a une grande importance dans l'étude et la surveillance de la qualité des eaux quelles soient souterraines ou superficielles. Les eaux souterraines gardent généralement une fraîcheur constante, mais la température des eaux de surface varie selon plusieurs facteurs (saisonniers et autres) (ARAB et OUDAFAL, 2015).

En rapport avec les normes de potabilité de l'eau fixées par l'OMS, l'eau est : excellente lorsque la température varie entre 20 et 22°C ; passable lorsque la température oscille dans l'intervalle de 22 à 25°C ; médiocre lorsqu'elle est comprise entre 25 et 30°C (KAHOUL et TOUHAMI, 2014).

4. 2.2. Le potentiel d'hydrogène

Le pH est lié à tous les paramètres de qualité de l'eau. En effet, il constitue un paramètre important car non seulement il contrôle la corrosion mais montre aussi la stabilité

de l'eau (MAIGA, 2005). Son importance est aussi mise en évidence au cours du traitement de l'eau, en particulier lors de la désinfection par le chlore (REJSEK, 2002).

L'eau agressive (acide) est à l'origine de la dégradation de sa qualité durant son transfert dans les canalisations, redissolution des dépôts protecteurs, corrosion, etc. (VILAGINES, 2003).

Le contrôle du pH est un facteur important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité (RODIER et *al.*, 2009).

Le tableau II représente la classification des eaux selon leur pH :

Tableau II : Classification des eaux selon leur pH (DEGREMONT, 2005).

pH	Classe	Remarque
< 5	Acidité forte	Présence d'acides minéraux ou organique.
7 < pH < 8	Neutralité approchée	Majorité des eaux de surface
5.5 < pH < 8	–	Majorité des eaux souterraines
pH ≥ 8	Alcalinité forte	Evaporation intense

Les normes édictées par la réglementation locale et internationale en matière de potabilité de l'eau recommandent un pH situé entre 6,5 et 8,5 (KAHOUL et TOUHAMI, 2014).

4 .2.3. La dureté

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène (RODIER et *al.*, 2009).

La dureté est produite essentiellement par les sels de calcium et de magnésium, contenus dans l'eau, les ions de calcium et de magnésium sont positifs, donc ils peuvent se lier dans l'eau à d'autres ions négatifs ; de ce fait on peut diviser la dureté en deux catégories :

- Une dureté carbonatée ou temporaire : qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de calcium et magnésium.

- Une dureté non carbonatée : produite par les autres sels (sulfates et chlorures de calcium et de magnésium) et correspond à la dureté qui persiste après ébullition de l'eau.

La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique total (THt) exprimé en °F (degré français) ; ou en milliequivalents/l : $1^{\circ}\text{F}=5 \text{ meq/l}$; $1^{\circ}\text{F}=4 \text{ mg/l}$ de Ca ou 2.43 mg/l de Mg ou 10 mg/l de CaCO_3 . La dureté d'une eau naturelle dépend de la structure géologique des sols traversés. (BEAUCHAMPS, 2006).

La dureté d'une eau exprime l'aptitude de cette dernière à réagir et à faire mousser du savon. En fonction de la valeur du THt, REJSEK (2002) a déterminé le caractère de dureté de l'eau :

- entre 00 et 10°F : eau très douce;
- entre 10 et 20°F : eau moyennement douce;
- entre 20 et 30°F : eau dure;
- supérieur à 30°F : eau très dure.

4. 2.4. L'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement de la présence d'hydrogencarbonates [HCO_3^-], carbonates [CO_3^{2-}] et hydroxyde [OH^-] (RODIER *et al.*, 2009).

La norme ISO 9963 définit différents types d'alcalinité :

- Titre Alcalimétrique Complet (TAC) : correspondant à l'alcalinité totale au pH de 4,5, ce qui revient à déterminer les ions HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- .

- Titre Alcalimétrique simple (TA) (alcalinité composite) : elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^{2-} . Cette alcalinité est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égale à 8,3 (REJSEK, 2002).

C'est un paramètre très important pour l'eau distribuée dans les canalisations du fait de son action sur celle-ci. En effet, le TAC ne doit pas être considéré seul mais doit être pris en compte dans un ensemble de paramètres tels que la minéralisation, le pH, la température et la dureté de l'eau. Cet ensemble de paramètres permet de définir le caractère de l'eau par rapport à l'équilibre calco-carbonique (REJSEK, 2002).

4. 2.5. La conductivité électrique

La conductivité électrique, exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$, est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (METAHRI, 2012).

La conductivité dépend de la concentration et de la nature des ions, de la température et de la viscosité de la solution. Elle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour une eau naturelle (RODIER, 2005).

La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau et de suivre son évolution. Le tableau III indique la relation entre la conductivité et la minéralisation des eaux naturelles (RODIER et *al.*, 2009).

Tableau III : Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité électrique (RODIER et *al.*, 2009).

Conductivité électrique	Taux de minéralisation
$\text{C.E} < 100 \mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation très faible
$100 < \text{C.E} < 200 \mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation faible
$200 < \text{C.E} < 333 \mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation moyenne
$333 < \text{C.E} < 666 \mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation moyenne accentuée
$666 < \text{C.E} < 1000 \mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation importante
$\text{C.E} < 1000 \mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation élevée

4. 3. Les propriétés microbiologiques

L'eau potable ne doit contenir aucun microorganisme pathogène et être exempte de toute bactérie indiquant une pollution par excréments. Le principal indicateur bactérien recommandé pour suivre la pollution humaine est constitué par l'ensemble des microorganismes du groupe coliformes (LOUNNAS, 2009).

4. 3.1. Les germes aérobies revivifiables

Les germes mésophiles, nommés aussi germes aérobies revivifiables, sont représentés par les bactéries aérobies, levures ou moisissures, capable de former des colonies dans le milieu de culture gélosé, on distingue deux catégories :

- Les micro-organismes se développant à 22°C qui sont des saprophytes, présents naturellement dans l'eau;
- Les micro-organismes se développant à 37°C qui proviennent de l'Homme ou des animaux à sang chaude, il ne s'agit pas forcément de germes pathogènes, mais leur présence indique une contamination fécale de l'eau (SI ABDERRAHMANE, 2016).

Ces microorganismes ne présentent pas d'effets directs sur la santé, mais une concentration trop importante peut entraîner des problèmes d'ordre organoleptique. Une faible présence est le témoin de l'efficacité du traitement et de l'intégrité du système de distribution (DUGUET et *al.*, 2006). Leur nombre (cellules vivantes) est exprimé en unité formant colonie/ ml d'eau (OUDAHMANE et HAMDI, 2003).

Le principal intérêt de dénombrement de ces microorganismes réside dans la possibilité de détecter les variations par rapport au nombre attendus grâce à une surveillance fréquente et à long terme. Toute augmentation soudaine de ces germes peut prévenir d'une pollution sérieuse et appeler à des investigations immédiates (REJSEK, 2002).

4. 3.2. Les coliformes

Selon la définition adoptée par l'Organisation internationale de standardisation (ISO) le terme « coliformes » correspond à des organismes en bâtonnets, non sporogènes, à Gram négatif, oxydase négatif, facultativement anaérobies, capables de croître en présence de sels biliaries ou d'autres agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance et capables de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acide et d'aldéhyde en 48 heures, à des températures de 35 à 37 °C (ISO in RODIER et *al.*, 2009).

Le terme de « coliformes thermotolérants » se rapporte aux coliformes présentant les mêmes propriétés à 44°C ; celui d'« *Escherichia coli* présumé » concerne les coliformes thermotolérants qui produisent de l'indole à 44°C à partir du tryptophane (HASLAY et LECLERC, 1993).

Les coliformes perdent leur viabilité dans l'eau plus lentement que la majorité des bactéries pathogènes intestinales et constituent donc un indicateur de contamination fécale de l'eau de première importance. De plus, leur résistance aux agents désinfectants, notamment au chlore, est voisine de la résistance des bactéries pathogènes ; ils vont donc constituer de bons indicateurs d'efficacité de traitement et présentent donc un intérêt pour l'estimation de la qualité de l'eau (REJSEK, 2002).

4. 3.3. Les streptocoques fécaux

Ce sont des bactéries Gram positif, sphériques à ovoïdes, formant des chainettes, non sporulées, catalase négative, possédant l'antigène de groupe D, cultivant en anaérobie à 44 C° , et à pH=9.6 et capables d'hydrolyser l'esculine en présence de 40 % de bile (REJSEK, 2002).

Ce sont des germes de contamination fécale mais ils ne sont qu'exceptionnellement pathogènes, ils sont très rares, et provoquent des douleurs abdominales et diarrhée suite à la consommation de produits contaminés (OUDAHMANE et HAMDI, 2003).

Ce groupe est récemment divisé en deux sous-groupes : celui des *Entérocooccus* capable de croître en présence de Na Cl 6,5% et celui des *Streptococcus* (*Streptococcus bovis* et *Streptococcus equinus*).

Les streptocoques fécaux se multiplient rarement dans l'eau (Centre d'expertise et d'analyse environnementale du Québec, 2005).

4. 3.4. Clostridium sulfito-réducteurs

Selon la norme NF T90-415 (1986), les Clostridium sulfito-réducteurs (CSR) se présentent sous forme de bacilles à Gram positif et qui en se développant à une température de $36 \pm 2^\circ\text{C}$ en 24 à 48 heures, en gélose profonde de type gélose Tryptose Sulfite Cyclosérine ou encore gélose Viande Foie, donnent des colonies caractéristiques de couleur blanche entourées d'une auréole noire. Cette auréole est le témoin de la réduction du sulfite de sodium (Na_2SO_3), présent dans le milieu, en sulfure qui en présence de Fe^{2+} donne FeS de couleur noire. Les CSR sont souvent considérés comme des témoins de pollution fécale.

La forme sporulée, beaucoup plus résistante que les formes végétatives des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux, permettrait ainsi de déceler une pollution fécale ancienne (RODIER et *al.*, 2009).

Les spores de ces bactéries peuvent survivre dans l'eau beaucoup plus longtemps que les coliformes et sont résistantes à la chloration (DUGUET et *al.*, 2006).

Ces bactéries ne peuvent pas vivre en présence d'oxygène : pour qu'elles se développent, il faut créer des conditions d'anaérobiose (REJSEK, 2002).

La recherche des bactéries anaérobies sulfito-réductrices, ou des *Clostridium sulfito-réducteurs* (CSR), ou encore de *Clostridium perfringens*, est habituellement prise en compte dans les réglementations destinées à garantir la qualité des eaux d'alimentation (HASLAY et LECLERC, 1993).

4. 3.5. Salmonelles

Les Salmonelles sont des bactéries qui se présentent sous forme de bacilles et qui se développent à une température de 36° C en 24 à 48 heures, sur milieu Hektoen, en formant de petites colonies, lisses à contour régulier pigmentées en vert ou en bleu vert à centre noir. Les salmonelles sont des bactéries à Gram négatif anaérobies facultatives très proches du genre *Escherichia coli* (OUDAHMANE et HAMDI, 2003).

Ce sont des coccobacilles appartenant à la famille des entérobactéries, généralement considérés comme pathogènes bien que leur virulence et leur pathogénie varient énormément. (DELLARRAS, 2003).

Les humains comme les 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 (RODIER et *al.*, 2009).

4. 3.6. Vibrion cholérique

Le vibrion cholérique appartient à la famille des *vibrionaceae*. Ce sont des germes d'habitat fécale, on distingue deux variétés responsables de choléra, il s'agit de *vibrion cholerae* et *vibrion cholerae el Tor* (RODIER, 2005).

4. 4. Eléments indésirables

4. 4.1. Fer

Le fer étant un élément essentiel nutritif, les limites de potabilité sont basées sur les effets esthétiques, le seuil gustatif, sur les effets ménagers et les inconvénients qu'il procure au réseau de distribution.

La présence de fer au robinet du consommateur peut être constatée, même si l'eau en est exempte à la sortie de la station de traitement, par le phénomène de la corrosion.

Le fer ne présente pas d'inconvénient au point de vue physiologique. Les besoins pour l'organisme humain se situent aux alentours de 10 mg/l pour la synthèse de l'hémoglobine, mais 60 à 70 % seulement de la quantité absorbée et métabolisée. Ce métal présente l'inconvénient de favoriser la corrosion au sein du réseau de distribution (REJESK, 2002).

4. 4.2. Aluminium

L'aluminium est très répandu sur terre, il vient par ordre d'importance après l'oxygène et le silicium, lorsqu'il est en solution et en milieu acide, il existe sous forme d' Al^{3+}

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, en raison de problèmes particuliers susceptibles d'introduire une gêne pour le consommateur (coloration, dépôts), l'OMS recommande comme valeur limite pour l'aluminium 0,2 mg/L (RODIER *et al.*, 2009).

4. 4.3. Cuivre

Le cuivre est un métal très courant car il est utilisé dans de nombreuses applications industrielles et dans la vie courante. Il présente l'originalité d'être peu toxique pour l'homme mais fortement toxique pour les plantes aquatiques. C'est pour cela qu'il est utilisé pour éliminer les algues dans les piscines. Il est donc important de limiter la concentration dans les eaux de surface (ATTEAI, 2005).

4. 4.4. Manganèse

Le manganèse est un oligo-élément indispensable à l'organisme, et ne présente aucun danger pour la santé publique excepté pour une absorption massive. Il est répertorié parmi les paramètres témoins du fonctionnement des installations de production et de distribution d'eau potable, sa concentration limite dans l'eau potable est de 200 µg/l. Il provoque néanmoins des désagréments d'ordre esthétique et organoleptique (CARDOT, 2010).

4. 4.5. Zinc

Le zinc est un élément essentiel qui n'est généralement pas considéré comme toxique. L'eau renfermant des teneurs en zinc supérieures à 5,0 mg/l a tendance à être opalescente et à laisser une pellicule grasseuse après ébullition et à prendre un goût indésirable à cause de son astringence.

Il est utilisé pour recouvrir les métaux, peut toxique à l'état de traces mais sa présence dans l'eau indique souvent la présence d'autres métaux ou polluants toxiques industriels (RODIER, 2005).

4. 5. Les paramètres de toxicité

4. 5.1. Arsenic

L'Arsenic est un métalloïde souvent rencontré dans les eaux souterraines à des concentrations supérieures aux normes européennes ou américaines (10µg/l). Certains auteurs considèrent qu'actuellement l'arsenic constitue le principal risque lié à l'ingestion d'eau au niveau mondial. Ceci justifie la baisse de la valeur de la concentration limite dans l'eau potable, de 50 à 10µg/l (ATTEIA, 2005).

Ce métalloïde est à l'origine du cancer cutané et d'autres formes de cancer, voire de problèmes circulatoires ; sa teneur admissible dans les eaux de consommation est en constante diminution (provisoirement : 10 µg/l) (DEGREMENT, 2005).

4. 5.2. Cadmium

Le cadmium est non seulement un élément sans effet bénéfique connu, mais aussi considéré comme un des métaux les plus toxiques. Ce métal est présent en concentration de plusieurs dizaines de ppm dans les phosphates et dans certains calcaires. L'usage industriel du cadmium est assez limité. Dans certains cas les contaminations d'origine naturelle peuvent aussi conduire à un certain risque (ATTEIA, 2005).

Les sources les plus importantes d'émission de cadmium sont constituées par les eaux usées domestiques, les effluents industriels, en particulier les rejets de l'industrie minière, de la galvanoplastie et la synthèse de produits chimiques comme les insecticides, les engrais phosphatés, les solvants et les fibres textiles.

Chez l'Homme, le cadmium s'accumule au cours de la vie essentiellement dans les reins et le foie, et est à l'origine de complications rénales graves (BOUZIANI, 2000).

4. 5.3. Mercure

Parmi les métaux lourds, le mercure présente l'un des risques les plus importants de pollution de l'environnement. Le mercure est surtout produit par les sources artificielles comme l'industrie chimique de chlore et de la soude, la fabrication d'appareillages électriques (accumulateur, batteries, piles).

La toxicité des sels de mercure varie en fonction de leurs caractéristiques chimiques et organiques et de leur absorption par le tractus gastro-intestinal, ces intoxications se traduisent par une stomatite, des troubles neurologiques et un syndrome néphrotique. Il est plus toxique lorsqu'il est transformé en méthylmercure principalement par les microorganismes du milieu aquatiques ; une intoxication par le méthylmercure provoque de graves lésions du système nerveux central, avec des troubles de la parole et peut entraîner la mort (BOUZIANI, 2000).

Pratiquement, le mercure peut se trouver dans l'eau, fixé sur les matières en suspension et/ou à l'état dissous, sous forme de composés organiques et/ou à l'état minéral (RODIER *et al.*, 2009).

4. 5.4. Plomb

Le plomb est un métal lourd que l'on trouve essentiellement sous forme de sulfure en milieu naturel, il présente une toxicité élevée pour l'environnement. Les émissions artificielles de plomb ont pour origine les rejets des fonderies, les incinérations d'ordures et les pigments de peinture. Les émissions artificielles de ce métal dans l'eau sont observées surtout par dissolution des conduites et des branchements à base de plomb.

La toxicité du plomb et ses manifestations cliniques sont connues de longue date (saturnisme). Le plomb a la particularité de se fixer dans le squelette et dans les tissus nerveux, où il peut entraîner des lésions irréversibles (BOUZIANI, 2000).

4. 5.5. Chrome

Le chrome se trouve plus souvent à l'état d'oxydation-III (trivalent) ou VI, ce dernier (Cr(VI)) est extrêmement toxique et cancérigène, il est très soluble dans l'eau contrairement au chrome trivalent qui l'est moins et qui se lie surtout à des particules, les sources de pollution sont principalement l'industrie d'affinage du fer et de l'acier (galvanoplastie, tanneries, raffineries) (BEER, 2010).

Le chrome pollue donc souvent les eaux de surface via les eaux usées, mais également par infiltration et par les sites contaminés, on le trouve parfois dans les eaux souterraines, la valeur limite du chrome, (VI) est fixée par l'OSCE à 20 mg/l (BEER, 2010).

Le chrome présente un comportement original. En effet, à pH neutre, il est présent sous forme d'anion (chromate et bichromate) en milieu aérobie alors qu'il précipite en milieu anaérobie. Par ailleurs le Cr(VI) est environ 100 fois plus toxique que le Cr(III). Il conviendra donc d'être particulièrement attentif aux réactions d'oxydation dans les eaux contaminées par du chrome (ATTEIA, 2005).

4. 6. Les paramètres de pollution organique

4. 6.1. La demande biochimique en oxygène

L'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes entraîne une consommation d'oxygène ; le milieu exerce donc une certaine demande biochimique d'oxygène (DBO). La mesure de cette DBO permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables et donc, dans une certaine mesure, sa qualité ou son degré de pollution (LOUNNAS, 2009).

4. 6.2. La demande chimique en oxygène

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique et dans des conditions définies les matières organiques contenues dans l'eau, la quantité d'oxygène est exprimée en milligramme d'oxygène par litre (GROSCLAUDE, 1999).

4. 6.3. Azote ammoniacal

L'élément azote existe principalement sous forme ionique, à savoir NH_4^+ , NO_2^- , et NO_3^- . La pollution en ions NH_4^+ existe principalement pour les eaux de surface, leur oxydation conduit à la formation d'ions NO_2^- , il est en équilibre avec la forme gazeuse NH_3 . Ces deux espèces sont très toxiques pour la faune aquatique et problématique pour la santé publique. Elles favorisent la prolifération bactérienne sur le réseau de distribution, la dégradation des qualités organoleptiques de l'eau et la corrosion des canalisations (LOUNNAS, 2009).

Les nitrates sont la principale source d'inquiétude, ces ions se transforment en milieu acide faible et à hauteur de 5 % en ions nitrites, qui sont toxiques pour l'organisme humain.

Ce sont des agents vasodilatateurs puissants qui causent vertiges et hypotension. Ils s'oxydent au niveau des ions ferreux de l'hémoglobine pour redonner des nitrates. On obtient alors de la méthémoglobine contenant des ions ferriques incapable de transporter les molécules d'oxygène (LOUNNAS, 2009).

4. 6.4. Nitrites

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniaque et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque par le genre de Nitrosomonas, soit à la réduction des nitrates. Ils ne présentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates, soit d'origine industrielle, leur présence dans l'eau est donc rare et en faible quantité (RODIER *et al.*, 2009).

Ils constituent le plus souvent la preuve de la présence d'impuretés d'origine fécale. Ils ne se maintiennent que lorsque le milieu n'est pas suffisamment oxydant et leur présence indique un état critique de pollution organique car cela indique un manque d'oxygène pour l'autoépuration (DOVONOU, 2008).

Un excès de nitrites dans les eaux de boisson peut provoquer une hypotension chez les humains et une méthémoglobinémie chez les nourrissons (MAIGA, 2005).

4. 6.5. Nitrates

Les nitrates (NO_3^-) sont des ions naturels présents partout dans l'environnement. Ils sont le produit de l'oxydation de l'azote par les microorganismes dans les plantes, le sol ou l'eau et, dans une moindre mesure, par les décharges électriques comme la foudre.

Les sources de nitrates dans l'eau (en particulier les eaux souterraines) comprennent les matières animales et végétales en décomposition, les engrais agricoles, le fumier, les eaux usées domestiques et les formations géologiques contenant des composés azotés solubles (KAHOUL et TOUHAMI, 2014).

La toxicité des nitrates semble essentiellement résulter de leur réduction en nitrites qui ont pour principal effet biologique sur l'homme la formation de méthémoglobine (MetHb), qui résulte de l'oxydation de l'hémoglobine (Hb). La MetHb étant incapable d'assurer le transport de l'oxygène vers les tissus (BEAULIEU et FISSET, 2009).

D'après la réglementation algérienne (JORA, 2011) et les normes européennes (N.E, 1998), il est recommandé pour le cas des nitrates, une valeur maximale de 50mg/l dans une eau destinée à la consommation.

4. 6.6. Matières organiques

Ce sont des composés contenant du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote. Ces matières proviennent soit de l'érosion des sols, soit de la décomposition des matières animales ou végétales qui se trouvent dans l'eau, elles se décomposent du fait de leur instabilité chimique et par l'action des micro-organismes de l'eau en formant des composés plus simple. Elles participent à beaucoup de paramètres de qualité de l'eau : couleur, sous produits de désinfection, naissance des produits indésirables et produits biodégradables, odeurs et saveurs désagréables, etc.

D'une façon générale, une teneur élevée en matières organiques devra toujours faire suspecter une contamination microbienne ou autre (RODIER, 2005).

4. 6.7. Phosphates

Les phosphates sont des composés à base du phosphore, lequel joue un rôle prédominant dans l'eutrophisation des lacs. En conditions naturelles, le phosphore est présent en très faible quantités dans les eaux de surface.

Les eaux de surfaces ou de nappes peuvent être contaminées par des rejets industriels et domestiques ou par le lessivage des terres cultivées renfermant des engrais phosphatés ou traités par certains pesticides (BOUZIANI, 2000).

Les phosphates présents dans l'eau se trouvent sous diverses formes et à des concentrations variables, on peut distinguer :

- L'acide phosphorique des effluents d'usine d'engrais phosphatés;
- Les phosphates des eaux usées domestiques;
- Les phosphates des purges de chaudières (DEGREMENT, 2005).

Chapitre II : Les eaux destinées à la consommation humaine

1. Eau et son rôle dans l'organisme humain

L'eau douce constitue un élément indispensable pour la vie des hommes, des animaux et des plantes. Avoir de l'eau à disposition en quantité et en qualité suffisante contribue au maintien de la santé. L'eau peut aussi être source de maladies du fait de sa contamination par des déchets ménagers, industriels, agricoles, par des excréta et divers déchets organiques (KAHOUL et TOUHAMI, 2014).

2. Eau potable

2. 1. Définition

L'OMS (2008) définit l'eau potable, comme étant celle dont la consommation est sans danger pour la santé. Pour que l'eau soit qualifiée de potable, elle doit satisfaire à des normes relatives aux paramètres organoleptiques, physico-chimiques, microbiologiques et à des substances indésirables et toxiques. Pour chaque paramètre, des valeurs limites à ne pas dépasser sont établies. Le fait qu'une eau soit potable, ne signifie pas qu'elle soit exempte d'agents pathogènes mais que leur teneur a été jugée insuffisante pour déclencher une maladie.

2. 2. Qualité

L'eau potable en Algérie comme ailleurs, provient soit de sources souterraines, soit d'eaux de surface.

L'usage de l'eau à des fins alimentaires ou d'hygiène nécessite une excellente qualité physico-chimique et microbiologique. L'eau distribuée par réseau constitue un des produits alimentaires les plus contrôlés. Ses analyses sont réalisées depuis son origine jusqu'au robinet. L'eau de distribution doit répondre aux exigences de qualité. Ainsi, elle ne doit contenir aucun micro-organisme, aucun parasite ni aucune substance constituant un danger potentiel pour la santé des personnes; elle doit également être conforme vis-à-vis d'un ensemble de normes de potabilité (KAHOUL et TOUHAMI, 2014).

Les limites de qualité sanitaire sont définies par arrêté établi par les autorités compétentes après consultation des organismes spécialisés habilités à élaborer les critères de la qualité sur la base de démarches d'évaluation des risques et d'exploitation, des données

toxicologiques et épidémiologiques. Certaines limites de qualité peuvent, cependant, être justifiées par des critères techniques. Par exemple, quand les valeurs toxicologiques de référence d'un polluant sont inférieures à sa limite de détection avec les méthodes disponibles, cette dernière peut être prise comme valeur réglementaire, sans avoir de signification sanitaire directe (HOSPITALIER-RIVILLON et POIRIER, 2008).

En ce qui concerne l'eau fournie au point de consommation, les critères considérés sont de deux catégories :

- les limites obligatoires appelées « limites de qualité », qui sont des limites sanitaires à ne pas dépasser;
- les objectifs de qualité appelés « références de qualité », qui sont des limites liées à la préservation de la ressource, des indicateurs du bon fonctionnement des installations, mais qui ne sont pas directement liées à un risque sanitaire (HOSPITALIER-RIVILLON et POIRIER, 2008).

Les normes de qualité de l'eau potable établies par l'Algérie selon l'OMS (2008) sont rapportées dans le tableau IV.

Tableau IV : Normes de qualité de l'eau potable adopté par l'Algérie selon l'OMS (2008).

Paramètre	Unité	Normes algériennes	Normes de l'OMS
pH	/	6.5-8.5	6.5-9.2
Température	°C	25	/
Conductivité	µs /cm	2800	/
Résidus secs à 180°C	mg/l	2000	1800
Turbidité	NTU	2	5
Dureté totale (TH)	mg/l	500	500
Calcium	mg/l	200	/
Magnésium	mg/l	150	150

Sodium	mg/l	200	/
Potassium	mg/l	20	/
Sulfates	mg/l	400	250
Chlorure	mg/l	500	250
Nitrate	mg/l	50	50
Nitrite	mg/l	0.1	0.1
Aluminium	mg/l	0.2	0.2
Phosphate	mg/l	0.5	0.5
Ammonium	mg/l	0.5	/
Matières organiques	mg/l	3	/
Métaux lourds	mg/l	0.3	/
Fer	mg/l	0.3	0.3
Manganèse	mg/l	0.5	0.1

2. 3. Utilisation

- L'approvisionnement en eau potable (AEP) n'est pas un usage en soi, mais plutôt un ensemble d'infrastructures et de pratiques visant à garantir la distribution d'eau potable vers ses divers lieux d'usage. Un organisme distributeur (collectivité publique, régie des eaux, distributeur privé) livre l'eau demandée par ses clients et ces derniers en font l'usage en mettant en application les fonctions de l'eau (ménages, industries, services publics, commerces). C'est pourquoi nous parlons du cycle des usages de l'AEP, au pluriel.
- L'usage environnemental se traduit par un cycle faisant apparaître une quantité d'eau minimale qu'il convient de maintenir dans le système concerné (débits d'une rivière, hauteur d'eau d'un lac), suite aux prélèvements effectués par les usages ex-situ, afin de conserver la qualité de la biodiversité aquatique (CALIANNI *et al.*, 2017).

- L'alimentation et l'agriculture dont elle dépend sont de loin les plus grands consommateurs d'eau, puisque l'eau nécessaire pour produire notre nourriture est quantitativement mille fois celle que nous buvons et cent fois plus que ce qu'il nous faut pour répondre à nos besoins personnels fondamentaux. A titre d'exemple, l'irrigation (agriculture) consomme jusqu'à 70 % de l'eau extraite des rivières et des nappes souterraines (FAO, 2004).

3. Les eaux minérales naturelles

Les eaux minérales naturelles relèvent des normes du *Codex Alimentarius* (de 1980, révisé en 1997 et en 2001), qui définit une eau minérale comme étant une eau provenant de la nappe souterraine et tenue à l'écart de tout risque de pollution.

Les eaux minérales naturelles se différencient des autres eaux par un ensemble de propriétés (origine, mode de gisement...) responsable des caractéristiques physiques, chimiques des quelles dépendent leurs effets physiologiques et thérapeutiques (DURIN, 1986). Elles ne font l'objet d'aucun traitement et n'ont pas à répondre aux critères physico-chimiques de potabilité, ainsi la teneur en certains minéraux peut être bien supérieure aux normes sans pour autant avoir un effet nocif sur la santé des consommateurs (CEE, 1980).

Elles sont classées en fonction de critères physiques comme que la température (**Tableau V**) ou de critères chimiques (**Tableau VI**).

Tableau V : Classification des eaux minérales selon la thermalité (DURIN, 1986).

Classe d'eau	Température d'émergence
Eau froide	Moins de 20°C
Eau hypothermale	20°C à 35°C
Eau thermale	35°C à 50°C
Eau hyperthermale	Plus de 50°C

Tableau VI : Classification chimique des eaux minérales (CEE, 1980).

Classe d'eau	Critère chimique
Oligominérale ou faiblement minéralisée	La teneur en sels minéraux, calculée comme résidu fixe (à 180°C), n'est pas supérieure à 500 mg/l.
Très faiblement minéralisée	La teneur en sels minéraux, calculée comme résidu fixe (à 180°C), n'est pas supérieure à 50 mg/l.
Riche en sels minéraux	La teneur en sels minéraux, calculée comme résidus fixe (à 180°C), n'est pas supérieure à 1500 mg/l.
Bicarbonatée	La teneur en bicarbonate est supérieure à 600 mg/ (en HCO_3^-).
Sulfatée	La teneur en sulfates est supérieure à 200 mg/l (en SO_4^{2-}).
Chlorurée	La teneur en chlorures est supérieure à 200 mg/l (en Cl^-).
Calcique	La teneur en calcium est supérieure à 50mg/l (en Ca^{2+}).
Magnésienne	La teneur en magnésium est supérieure à 50 mg/l (en Mg^{2+}).
Fluorée	La teneur en fluor est supérieure à 1mg/l (en F^-).
Ferrugineuse	La teneur en fer bivalent est supérieure à 250 mg/l (en Fe^{2+}).
Acidulée	La teneur en gaz carbonique libre est supérieure à 250 mg/l (en CO_2).
Sodique	La teneur en sodium est supérieure à 200 mg/l (en Na^+).
Convient pour un régime pauvre en sodium	La teneur en sodium est inférieure à 20 mg/l (en Na^+).

3. 1. La flore naturelle de l'eau minérale naturelle

L'analyse microbiologique des eaux minérales naturelles a toujours révélé, à l'émergence, la présence de quelques bactéries cultivables « natives », « autochtones ». La présence de cette flore normale dans une eau conditionnée constitue donc la garantie de son caractère naturel.

Ces bactéries étaient considérées comme des composants inertes pour un organisme ingérant, tel que celui de l'homme. Elles ne sont pas pathogènes, comme l'ont montré plusieurs essais sur animaux axéniques (sans flore digestive) (BLIGNY et HARTEMANN, 2005).

En revanche, il est bien évident que tout microorganisme pathogène doit être absent d'une eau minérale naturelle ou d'une eau de source, et que cette absence ne peut provenir d'un traitement de désinfection de l'eau, strictement interdit. Cette innocuité (du point de vue microbiologique) ne peut reposer que sur la qualité de la ressource et de sa protection et celle de l'usine d'embouteillage (BLIGNY et HARTEMANN, 2005).

4. Importance des cations et des anions contenus dans l'eau

4. 1. Les cations

4. 1.1. Le calcium

Le calcium est l'un des éléments constitutifs majoritaires des roches carbonatées. La concentration en calcium dans les eaux souterraines est contrôlée par la solubilité de certains minéraux. C'est le composant majeur de la dureté de l'eau. Des teneurs en calcium de plus de 200mg/l diminuent les possibilités d'utilisation de l'eau (Formation de dépôts calcaires) (COLLIN, 2004).

4. 1.2. Le magnésium

Les composés à base de magnésium sont moins solubles que les minéraux contenant du calcium (COLLIN, 2004). Des concentrations élevées en magnésium influencent le goût de l'eau et présente un éventuel effet laxatif (SAMAKE, 2002).

4. 1.3. Le potassium

Le potassium est principalement présent dans les roches ignées et dans les argiles. Malgré son abondance, le potassium est généralement peu concentré dans les eaux naturelles, dans les minéraux argileux, cette particularité s'explique par la difficulté de mobilisation de l'ion K^+ .

Dans les eaux souterraines, la concentration, en potassium ne dépasse généralement pas 10mg/l (CHERY, 2006).

4. 1.4. Le sodium

Le sodium est un métal alcalin que l'on trouve dans des sels sous forme d'ions Na^+ . Il est très soluble dans l'eau et se trouve à des concentrations plutôt faibles dans les eaux brutes. Il affecte la qualité organoleptique de l'eau lorsque sa teneur dépasse 200 mg/L (SI ABDERRAHMANE, 2016).

L'intrusion de l'eau de mers, les minéraux et les effluents d'eaux usées peuvent tous contribuer à d'importantes quantités de sodium dans l'eau (PROJECT, 1999).

Les sels de sodium n'ont pas une toxicité aiguë. Cependant, des doses élevées de chlorure de sodium dans l'eau potable causent une hypertension et une augmentation de la rigidité musculaire (TUTHILL et CALABRESE, 1979).

4. 2. Les anions

4. 2.1. Le chlorure

Très répandus dans la nature, dans les roches, le chlore se retrouve sous forme de chlorure de sodium ($NaCl$), de chlorure de potassium (KCl). Dans l'eau les chlorures sont toujours à l'état ionique (REJSEK, 2002).

Les chlorures présents dans une eau peuvent avoir plusieurs origines:

- Percolation de l'eau au travers de terrains salés;
- Infiltration d'eaux marines dans la nappe souterraine;
- Rejets humains;
- Industries extractives (mines de potasse ou salines).

Dans les régions littorales, les pluies apportent des chlorures d'origine océanique qui peuvent s'accumuler en surface par évaporation puis être entraînées dans les aquifères (REJSEK, 2002).

Selon les normes locales de la potabilité des eaux, les chlorures doivent avoir une teneur inférieure à 500 mg/l dans les eaux de consommation (KAHOUL et TOUHAMI, 2014).

4. 2.2. Le sulfate

Le sulfate provient principalement des gypses présents dans le sol, il peut aussi provenir de lessivage des sulfates de l'air par les précipitations (RAMADE, 1998).

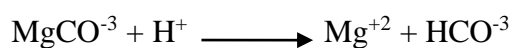
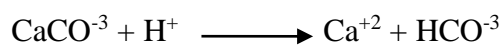
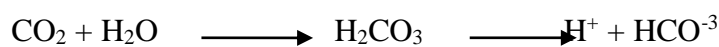
La présence des sulfates donne un goût amer à l'eau et comme les sulfates ne sont pratiquement pas assimilables, une eau contenant une teneur élevée produira des effets laxatifs chez l'homme (MABILLOT, 1986).

Les concentrations élevées de sulfates peuvent contribuer à la corrosion des systèmes de distribution (SAMAKE, 2002).

4. 2.3. Le bicarbonate

La plupart des eaux naturelles ont un pH compris entre 4,5 et 8,3 et leur alcalinité est attribuée essentiellement aux bicarbonates.

Les bicarbonates proviennent de la dissolution des carbonates de calcium et de magnésium selon les réactions chimiques suivantes :



Ces réactions, nécessitent donc la présence de CO_2 dans l'eau, en effet le CO_2 provient de l'air et de l'activité intense des bactéries dans le sol (TARDAT-HENRY et BEAUDRY, 1992).

4. 2.4. Le phosphore

Le phosphore est un élément indispensable au développement de tous les organismes vivants. Les phosphates existent dans la nature, souvent en complexe couplée à des composés organiques. La plus grande partie du phosphore que l'on retrouve dans les eaux des cours d'eau provient des rejets d'eaux résiduaires et des activités agricoles (KUMAR, 2012).

Chapitre III : Technologie de traitement de l'eau potable

1. Traitement de l'eau potable

1. 1. Définition du concept de traitement de l'eau

L'eau du robinet est un produit vivant, issu d'une eau brute, elle-même surveillée et, protégée. Mais, celle-ci n'est qu'une matière première qui va encore être élaborée, transformée pour devenir conforme aux normes définies par la réglementation. Les eaux souterraines, plus protégées, nécessitent la plupart du temps des traitements moins sophistiqués que les eaux de surface. Pour les eaux brutes de très bonne qualité, une filtration et une simple désinfection peuvent suffire. À l'inverse, pour des eaux de surface ou souterraines de moins bonne qualité, la filière eau sera plus complexe avec clarification, affinage et désinfection. Le traitement de l'eau fait appel, pour une très large part, à des processus physiques ou biologiques (BEAULIEU et FISSET, 2009).

1. 2. Les objectifs de traitement de l'eau

Les objectifs de traitement des eaux superficielles peuvent être triples :

- Qualité sanitaire : la santé publique exige que l'eau distribuée ne doit apporter aux consommateurs ni substances toxiques (organiques ou minérales), ni organismes pathogènes. Elle doit donc répondre aux normes physico- chimiques et bactériologiques;
- Qualité organoleptique : l'eau doit être agréable à boire, c'est-à-dire ce qui est perçu par les sens olfactifs de l'homme à savoir la couleur, l'odeur et le goût : il s'agit des qualités organoleptiques.
- Protection du réseau de distribution, et aussi des installations des usagers (robinetteries, chauffe eau,...) contre l'entartrage et/ou la corrosion (METAHRI, 2013).

2. Technologie de traitement de l'eau potable

Qu'elles soient d'origine souterraine ou superficielle, les eaux destinées à l'alimentation humaine sont rarement consommables telles quelles. Il est souvent nécessaire de leur appliquer un traitement plus ou moins approprié (VALENTIN, 2000).

Dans le cas des eaux souterraines, certains paramètres liés à la qualité naturelle de l'eau peuvent ne pas répondre aux normes (teneur en fer et manganèse, turbidité) ou la ressource peut être dégradée par l'activité humaine (pollution diffuse par les nitrates ou les

phytosanitaires). Pour les eaux superficielles, le traitement est dans tous les cas obligatoire. Il est plus ou moins poussé selon la qualité de l'eau brute utilisée (JESTIN, 2006).

En recourant au traitement des eaux, on vise la production d'une eau potable à partir d'une eau brute plus ou moins polluée. Pour ce faire, on soumet cette eau brute à diverses étapes de traitement (Figure 03) réalisées dans plusieurs unités de la station de traitement des eaux (DESJARDINS, 1997).

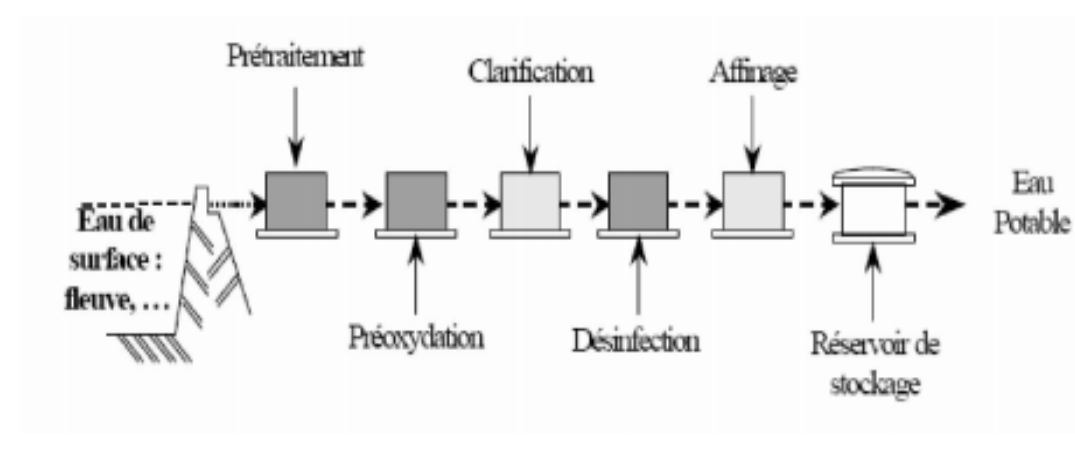


Figure 03 : Etapes de traitement de l'eau potable (LOUNNAS, 2009).

2. 1. Prétraitements

Un prétraitement est nécessaire de manière à protéger le relèvement des eaux brutes, les conduites contre les obstructions et les autres appareils de traitement contre l'abrasion, et plus généralement pour éliminer tout ce qui pourrait gêner les traitements ultérieurs (DEGREMONT, 2005).

2. 1.1. Dégrillage

Le dégrillage, premier poste de traitement, indispensable sur les eaux de surface et les eaux résiduaires, permet :

- de protéger les ouvrages en aval contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les tuyauteries de liaison, voire dans les différentes unités de l'installation;
- de séparer et d'évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements d'eau et de boues,

ou au moins compliquer leur exécution, et leur exploitation (DEGREMONT, 2005).

2. 1.2. Macrotamissage

Les éléments filtrants sont constitués de tôles perforées ou, le plus souvent, de toiles à mailles croisées en acier inoxydable ou en tissu synthétique, présentant des ouvertures de 0,15 à 2 mm (DUGUET et *al.*, 2006).

2. 1.3. Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines, ainsi que les filasses de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduits, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion. Le domaine usuel du dessablage porte sur les particules de granulométrie égale ou supérieure à 200 μm , voire 300 μm (DEGREMONT, 2005).

2. 1.4. Débourbage

Le débourbage est nécessaire quand la quantité des MES de l'eau brute à éliminer (limons, argiles.....) dépasse la capacité de concentration (2 g/l) et d'extraction des décanteurs situés à l'aval (GANI, 2001).

2. 1.5. Microtamissage

Le microtamissage est une opération destinée à faire passer un liquide contenant des impuretés à travers une toile de fils ou de fibres ou à travers une membrane poreuse. Durant le passage du liquide, certaines impuretés sont arrêtés soit directement (par les mailles du microtamis), soit indirectement (par les matières solides accumulées sur le microtamis). La grosseur des mailles d'un microtamis est inférieure à 150 μm (DESJARDINS, 1997).

Les microtamis peuvent intercepter le plancton et les particules organiques et minérales assez grosses dont la taille est supérieure à celle des ouvertures des membranes filtrantes. Par contre, les microtamis n'arrêtent ni les éléments minéraux fins (argile), ni les éléments colloïdaux minéraux ou organiques, ni les substances dissoutes. Le microtamissage n'améliore donc pas la turbidité causée par de fines particules et ne modifie pas la couleur de l'eau.

On utilise principalement les microtamis pour :

- Traiter les eaux de lac faiblement contaminées, dont la turbidité est faible et la couleur peu accentuée. Dans ce cas, le microtamisage est habituellement suivi d'une filtration et d'une désinfection;
- Réduire la quantité de matières en suspension (MES) présentes dans les eaux usées après épuration;
- Clarifier les eaux résiduaires industrielles;
- Récouter les algues à la sortie d'un traitement par lagunage (DESJARDINS, 1997).

2. 1.6. Dégraissage/déshuilage

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent à séparer des produits de densité légèrement inférieure à l'eau, par effet de flottation, naturelle ou assistée, dans une enceinte liquide de volume suffisant (DEGREMONT, 2005).

2. 1.7. Aération

L'aération permet de mélanger l'air à l'eau pour favoriser les réactions d'oxydation, enlever les gaz dissous ou éliminer les goûts et odeurs. Elle permet aussi l'augmentation de la teneur en oxygène afin de rendre l'eau agréable à boire (ABDENNOUR et AIT NAMANE, 2015).

Il est généralement admis que l'aération élimine les composés volatils qui peuvent être présents dans les eaux brutes ou traitées. L'aération est efficace pour les composés qui ont une constante de la loi de Henry supérieure à $10^{-3} \text{ m}^3 \text{ atm/mol}$.

L'aération est également connue pour être efficace pour l'élimination du sulfure d'hydrogène (H_2S). Les valeurs de la loi de Henry montrent que le H_2S est aussi volatil que le trichloréthylène (TCE) et aussi facilement dépouillé (McGUIRE et GASTON, 1988).

2.2. Préchloration

La préchloration s'accompagne de la formation de composés indésirables ; il est donc en général préférable de reporter le point de chloration le plus loin possible dans la chaîne de traitement, après l'élimination la plus complète possible des précurseurs organiques présents dans l'eau. La préchloration est une étape préalable et nécessaire, si les eaux à traiter

contiennent beaucoup d'ammoniaque, du fer ou du manganèse, et peu de matière organique (ABDENNOUR et AIT NAMANE, 2015).

L'oxydation peut avoir différents objectifs :

- Eliminer le goût, les odeurs et la couleur;
- Eliminer l'ammoniaque;
- Eliminer le fer et le manganèse : l'oxydation les transforme en hydroxydes insolubles facilement séparables du liquide par décantation et filtration;
- Améliorer la clarification (meilleure cohésion des boues dans le décanteur qui permet d'augmenter la vitesse de l'eau);
- Oxyder les matières organiques dissoutes, qui se transforment en composés plus facilement biodégradables;
- Maintenir la propreté des installations, en luttant contre la prolifération d'organismes non pathogènes (algues) mais qui nuisent au bon fonctionnement de certains ouvrages : décanteurs et filtres notamment (JESTIN, 2006).

Selon la nature de la concentration de l'oxydant utilisé, ces différents objectifs sont plus ou moins atteints.

Les composés les plus souvent utilisés sont des agents chlorés – le chlore gazeux (Cl_2), l'hypochlorite de sodium ou « eau de Javel » (NaClO), le dioxyde de chlore (ClO_2) – l'ozone (O_3) et le permanganate de potassium (KMnO_4). Le choix de l'oxydant dépend de la qualité des eaux brutes utilisées et des objectifs que l'on veut atteindre (JESTIN, 2006).

2. 3. Clarification

La clarification est une étape indispensable pour les eaux de surface et les eaux souterraines provenant de plateaux calcaires. Elle assure l'élimination des particules en suspension (sable, limons, débris organiques...), des matières colloïdales (argiles fines, bactéries...) et d'une partie, des matières dissoutes (matières organiques, sels...). La clarification combine différents procédés: la coagulation, floculation, décantation ou flottation et filtration (BEAULIEU et FISSET, 2009).

2. 3.1. Coagulation/Floculation

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. Le temps nécessaire pour parcourir 1 m en chute libre peut être de plusieurs années. La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes. La coagulation consiste à les déstabiliser. Il s'agit de neutraliser leurs charges électrostatiques de répulsion pour permettre leur rencontre. La floculation rend compte de leur agglomération en agrégats éliminés par décantation et/ou filtration (CARDOT, 2010).

➤ Coagulation

La coagulation a pour objectif d'agglomérer les particules entre elles. Les colloïdes sont en effet naturellement maintenus en suspension sous l'action de forces électrostatiques de répulsion. Pour rompre ces forces et déstabiliser les colloïdes, on injecte des réactifs appelés "coagulants", qui conduisent à la formation de précipités insolubles appelés "flocs" capables de décanter. L'injection du réactif se fait dans un compartiment sous forte agitation (JESTIN, 2006).

Les réactifs utilisés sont généralement le sulfate d'aluminium, le chlorure ferrique ou le sulfate ferreux (BEAULIEU et FISSET, 2009).

➤ Floculation

La floculation a pour objectif d'accroître le volume, le poids et la cohésion du floc formé. Dans un compartiment distinct de celui de la coagulation, on réalise une agitation lente qui permet, grâce à l'injection d'un réactif appelé "floculant", l'agglomération des flocs et donc, leur grossissement. Les réactifs généralement utilisés sont la silice activée, les alginates de sodium, les polyélectrolytes, etc. (JESTIN, 2006).

2. 3.2. Décantation

La décantation a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Ces particules sont en général des particules de floc ou des particules résultant de la précipitation qui a lieu lors des traitements d'adoucissement ou d'élimination du fer et du manganèse. Les particules s'accumulent au fond du bassin de

décantation d'où on les extrait périodiquement. L'eau clarifiée, située près de la surface, est dirigée vers l'unité de filtration (DESJARDINS, 1997).

2. 3.3. Flottation

La flottation est un procédé de séparation liquide-solide basé sur la formation d'un ensemble appelé attelage, formé de particules à éliminer, de bulles d'air et de réactifs, moins denses que l'eau. Cette technique convient principalement pour éliminer les particules de diamètre compris entre 1 et 400 μm (CARDOT, 2010).

Les particules sont séparées vers la surface de l'eau par leur densité plus faible; on accélère le mécanisme par de fines bulles d'air injectées dans la partie basse du milieu dispersant. Ce procédé est surtout appliqué pour l'élimination des huiles et graisses et des matières légères (ABDENNOUR et AIT NAMANE, 2015).

2. 3.4. Filtration

La filtration est un procédé de séparation dans lequel on fait percoler un mélange solide-liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui idéalement retient les particules solides et laisse passer le liquide (filtrat) (DEGREMONT, 2005).

La filtration est un procédé destiné à clarifier un liquide qui contient des MES en le faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire. En effet, il subsiste de très petites particules présentes à l'origine dans l'eau brute ou issues de la floculation. La rétention de ces particules se déroule à la surface des grains des matériaux filtrants grâce à des forces physiques. La plus ou moins grande facilité de fixation dépend étroitement des conditions d'exploitation du filtre et du type de matériau utilisé. L'espace intergranulaire définit la capacité de rétention du filtre. Au fur et à mesure du passage de l'eau, cet espace se réduit, le filtre se colmate. Les pertes de charge augmentent fortement. Il faut alors déclencher le rétrolavage. Une biomasse se développe sur le matériau filtrant. Elle peut efficacement réduire le taux d'ammonium de l'eau brute par la nitrification. La filtration permet une élimination correcte des bactéries, de la couleur et de la turbidité (CARDOT, 2010).

2. 4. Désinfection

La désinfection est un traitement visant à éliminer les microorganismes pathogènes, bactéries, virus et parasites ainsi que la majorité des germes banals moins résistants (CARDOT, 2010).

Elle est réalisée par des agents désinfectants (chlore, dioxyde de chlore et ozone), par traitement aux ultraviolets ou par procédés physiques comme la filtration sur membranes. Comparé au chlore, l'ozone permet une bonne désinfection, sans risque de formation de sous-produits chlorés ni de défaut de goût. Une fois traitée, l'eau doit voyager dans les canalisations pour atteindre les robinets. Si aucune désinfection finale n'était prévue, la qualité de l'eau pourrait se dégrader. C'est pourquoi on ajoute une infime quantité de chlore (équivalent à une goutte dans cinq baignoires de 200 L) pour détruire les dernières bactéries et préserver la qualité microbiologique de l'eau tout au long de son parcours dans les canalisations (BEAULIEU et FISSET, 2009).

L'efficacité de la désinfection dépend du pouvoir létal du désinfectant utilisé, du temps de contact avec l'eau, des conditions physicochimiques (pH, température, turbidité) et de la qualité du traitement en amont (JESTIN, 2006).

2. 4.1. Différents modes de désinfection

2. 4.1.1. Les traitements chimiques

La désinfection par le chlore (Cl_2)

Les produits chimiques les plus utilisés pour obtenir une désinfection des eaux par le chlore sont : le chlore gazeux : Cl_2 , les hypochlorites de sodium : NaOCl , les hypochlorites de calcium : Ca(OCl)_2 , les monochloramines : NH_2Cl et le dioxyde de chlore : ClO_2 . Parmi ces produits, c'est le chlore gazeux auquel on a recouru le plus pour la désinfection des eaux potables (DESJARDINS, 1997).

Le chlore est un oxydant puissant qui réagit à la fois avec des molécules réduites et organiques, et avec les microorganismes. Les traitements de purification et de clarification en amont ont une très grande importance pour permettre une bonne efficacité du traitement, et éviter d'avoir à utiliser trop de chlore. D'autant plus que le coût de la déchloration, qui permet

de limiter considérablement l'effet toxique de certains produits dérivés formés lors du traitement, est élevé (METAHRI, 2012).

La désinfection par le dioxyde de chlore (ClO₂)

Le dioxyde de chlore est également un bon désinfectant. Son pouvoir rémanent est plus important que celui du chlore. Il persiste donc plus longtemps dans les réseaux de distribution. Le pH a peu d'effet sur son efficacité et il ne forme pas de composés indésirables comme les trihalométhanes (THM). Il peut par contre former d'autres sous-produits : les chlorites et les chlorates, également visés par la réglementation. Sa mise en œuvre est assez délicate : c'est un gaz très toxique qui doit être fabriqué sur place (JESTIN, 2006).

La désinfection par l'ozone (O₃)

L'ozone est un gaz, composé de 3 atomes d'oxygène, créé par une décharge électrique qui transforme les molécules d'oxygène (O₂) de l'air en ozone (O₃) (rupture de la molécule d'O₂ et formation de 2 radicaux d'O puis combinaison $O + O_2 \longrightarrow O_3$), injecté dans un bain d'eau froide qui tourne en circuit fermé : l'eau ozonée (CHRISTIEANS, 2015).

Le pouvoir désinfectant de l'ozone est de 10 à 100 fois supérieur à celui du chlore, et ce pour tous les types de microorganismes. Il est même efficace contre les spores et les kystes, qui sont pourtant les microorganismes les plus résistants (DESJARDINS, 1997).

Cependant, ce désinfectant a l'inconvénient de ne pas être rémanent (persistant). Il ne peut donc pas assurer le résiduel bactériostatique. Son pouvoir désinfectant important permet néanmoins de limiter la chloration de l'eau avant sa mise en distribution ; ce qui a pour conséquence d'améliorer sa qualité gustative (JESTIN, 2006).

Les tests de toxicité effectués sur des poissons, des crustacés et des algues n'ont pas permis de mettre en évidence une quelconque toxicité (CAUCHI et *al.*, 1996).

2. 4.1.2. Les traitements physiques par les ultraviolets

Le rayonnement UV (ultraviolet) est un rayonnement électromagnétique de fréquence légèrement supérieure à celle de la lumière visible, mais plutôt inférieure à celle des rayons X. Il est responsable de l'effet bronzant de la lumière du soleil et, selon certains, est un des principaux facteurs de risque pour la santé humaine en causant le mélanome malin ou le

cancer de la peau. Le spectre UV est arbitrairement divisé en trois bandes en fonction de la longueur d'onde du rayonnement. C'est le rayonnement de plus faible longueur d'onde (et donc de plus haute fréquence), dans la bande UVC, qui a les propriétés biocides les plus fortes.

UVA: 400-315 nm

UVB: 315-280 nm

UVC: 280-200 nm

Visible à 400-700 nm (PARSONS et JEFFERSON, 2006).

Le traitement par rayons UV utilise des lampes à mercure disposées parallèlement ou perpendiculairement au flux d'eau. Leur rayonnement s'attaque directement aux microorganismes. Ce traitement est très simple à mettre en œuvre, car il n'y a ni stockage, ni manipulation de substances chimiques et les caractéristiques chimiques de l'effluent ne sont pas modifiées. La durée d'exposition nécessaire est très courte (20 à 30 s). L'efficacité du traitement dépend essentiellement de deux paramètres :

- 1) Les lampes, doivent être remplacées régulièrement car elles sont usées au bout d'un an et demi. De plus, elles doivent être nettoyées car elles ont tendance à s'encrasser ;
- 2) La qualité de l'effluent, dont les MES et certaines molécules dissoutes absorbent les UV, ce qui diminue l'efficacité des lampes (METAHRI, 2012).

L'utilisation de la lumière UV pour désinfecter l'eau potable suscite un intérêt croissant, car il a été démontré qu'elle inactive un large éventail de micro-organismes, dont le *Cryptosporidium*, sans produire de sous-produits de désinfection (PARSONS et JEFFERSON, 2006).

2. 5. Traitement d'affinage

L'affinage a pour effet l'élimination des matières organiques et de certains micropolluants. Il améliore, en outre, les qualités organoleptiques de l'eau (saveur, odeur, limpidité) :

- l'adsorption sur charbon actif : les charbons actifs, adsorbants à très large spectre, sont capables de fixer les composés organiques dissous qui ont échappé aux traitements physico-chimiques ainsi que certains polluants (hydrocarbures, pesticides, métaux lourds...).

On les obtient par traitement spécial de charbons naturels (anthracite, tourbe) ou de végétaux (bois, noix de coco);

- le stripping : pour extraire les gaz dissous dans l'eau, on applique un contre-courant de gaz d'entraînement. Le stripping retient principalement les composés volatils (benzène, trihalométhane, composés soufrés responsables d'odeurs...);
- la mise à l'équilibre calco-carbonique (BEAULIEU et FISSET, 2009).

Afin d'éviter les problèmes d'entartrage ou de corrosion des tuyauteries, l'eau doit être la plus proche possible de l'équilibre calco-carbonique (bicarbonate de calcium, CO₂ et carbonate de calcium). Les eaux agressives sont neutralisées ou reminéralisées alors que les eaux incrustantes sont soumises à une décarbonatation (BEAULIEU et FISSET, 2009).

3. Problèmes rencontrés dans les réseaux de distribution d'eau

Un réseau de distribution d'eau est un système complexe et hétérogène sur lequel de nombreux facteurs physiques, chimiques et biologiques influent. Les phénomènes de dégradation des canalisations les plus importants sont : les phénomènes de corrosion et d'entartrage qui dépendent principalement de la qualité de l'eau et des conditions d'exploitation du réseau (vitesse, temps de séjour, teneur en oxygène dissous etc.) (BRADOSCHE, 2011).

3.1. Phénomène de corrosion

La corrosion est le résultat des réactions électrochimiques entre un métal et son milieu, au cours desquelles le métal passe de la forme élémentaire à la forme combinée, avec un élément non métallique plus stable (oxydes, hydroxydes, sulfures etc.) et il perd ses propriétés mécaniques.

Le processus peut être chimique quand se produit dans un milieu non ionisé (la rouille) ou électrochimique quand le métal se trouve en contact d'un électrolyte (solution aqueuse conductrice d'électricité qui peut se dissocier en anions et cations et produit la corrosion).

Selon Pourbaix, la corrosion des métaux en milieu humide est essentiellement électrochimique et se traduit toujours par la perte du métal qui passe en différents composants, selon la forme sous laquelle le fer se présente et la composition de l'électrolyte dans lequel le métal est immergé (Cité par : BRADOSCHE, 2011).

L'équilibre carbonique et la teneur en oxygène sont les deux facteurs principaux qui déterminent les conditions de corrosion. D'autres facteurs jouent un rôle dans le processus de corrosion, car ils influent sur la forme et la vitesse de la corrosion. Ce sont: la présence de sels dissous (chlorures principalement), la température, l'état de propreté physique des eaux et la présence de micro-organismes (BERANGER et MAZILLE, 2002).

Lorsqu'il s'agit d'eau de consommation humaine, la pollution de l'eau par les métaux mis en solution dans l'eau peut avoir des conséquences tantôt désagréables pour le consommateur (couleur ou saveur altérées), tantôt beaucoup plus graves (intoxications par certains métaux lourds comme le plomb et le cadmium, par exemple) (CHAOUKI, 2010).

3.2. Phénomène d'entartrage : Formation du carbonate de calcium (CaCO₃)

Certaines eaux naturelles sont susceptibles de déposer du carbonate de calcium sur les parois des ouvrages de distribution d'eau selon un processus qui est très voisin de celui qui est observé sur les parois des cavernes souterraines. Elles peuvent aussi dans certains cas, former des dépôts volumineux dans les échangeurs thermiques ou les ballons de production d'eau chaude en perturbant leur fonctionnement. Ces eaux sont alors qualifiées d'entartrantes. À l'inverse, certaines eaux peuvent dissoudre le carbonate de calcium lorsqu'elles sont en contact avec une roche ou un matériau calcaire. Elles sont alors dites agressives (RODIER *et al.*, 2009).

L'entartrage correspond à la formation de dépôts compacts et adhérents de tartre sur une surface (Anonyme 3).

Le changement de pression dans les conduites d'eau entraîne la libération du dioxyde de carbone libre dans l'atmosphère, ce qui perturbe l'équilibre carbonique provoquant ainsi la précipitation du carbonate de calcium, principal composant du tartre selon la réaction (1) (FARTAS *et al.*, 2011).



Le CaCO₃ peut exister sous plusieurs formes cristallines anhydres : la calcite, la vaterite et l'aragonite. D'un point de vue thermodynamique, la calcite est la forme la plus stable et la vaterite la moins stable (Anonyme 3).

L'entartrage des conduites est un phénomène assez complexe et son étude nécessite un suivi ponctuel durant plusieurs années. L'accroissement des dépôts de tarte au cours du temps dépend d'un certain nombre important de paramètres :

- Les caractéristiques physico - chimiques de l'eau transportée qui ont une influence considérable sur cet accroissement.

- Les paramètres hydrauliques caractérisant l'écoulement: la vitesse moyenne, la pression, la section de la canalisation, le régime d'écoulement etc.

- Les caractéristiques de la paroi c'est-à-dire la nature du matériau de la conduite (FARTAS *et al.*, 2011).

➤ **Conséquences de l'entartrage**

En effet, si l'eau est trop incrustante et/ou de dureté élevée, elle peut engendrer les effets suivants dans les réseaux d'eaux :

- L'entartrage des ouvrages et des équipements (pompes, vannes, compteurs, installations de filtration, etc.) entraînant des perturbations hydrauliques ou des dysfonctionnements et l'augmentation des coûts d'exploitation;
- L'entartrage des systèmes de production d'eau chaude sanitaire et des équipements ménagers entraînant des dysfonctionnements (chute de pression, baisse du débit, temps d'attente plus long pour obtenir de l'eau chaude au robinet, etc.);
- La surconsommation d'énergie du fait de la diminution des rendements d'échange ; et la diminution de la durée de vie des installations et équipements (chauffe-eau, mitigeurs, lave-linge, lave-vaisselle, etc.);
- Une surconsommation de produits ménagers et d'entretien;
- La présence de CaCO_3 est par ailleurs un des motifs fréquents d'insatisfaction des consommateurs vis-à-vis de la qualité de l'eau distribuée, principalement pour des raisons de confort (Anonyme 3).

4. Nouvelles technologies de traitement de l'eau

Il est bien établi que parmi les anciennes techniques physiques et chimiques utilisées pour éliminer la pollution de l'eau, considérée comme l'un des plus critiques problèmes environnementaux (changements de couleur pour l'eau et l'augmentation de la vie microscopique nuisible pour l'organisme humain), certaines causent des effets néfastes pour l'environnement et d'autres engendrent des frais considérables de maintenance et de régénération.

Alternativement, de nouvelles méthodes plus respectueuses de l'environnement et plus économiques sont apparues en suscitant de plus en plus d'intérêt (ALKHAZAN et SADDIQ, 2010).

4. 1. Filtration membranaire

Dans la filtration sur membrane, un mince film semi-perméable (membrane) est utilisé comme barrière sélective pour éliminer les contaminants de l'eau. Il y a très peu de contaminants qui ne peuvent pas être éliminés par les procédés membranaires. Au cours des deux dernières décennies, l'utilisation de la filtration membranaire dans le traitement de l'eau potable (y compris l'élimination des agents pathogènes) s'est développée, en raison des réglementations de plus en plus strictes en matière de la qualité de l'eau potable et de la diminution des coûts d'achat et d'exploitation des filtres membranaires.

Les procédés membranaires les plus couramment utilisés pour éliminer les microbes de l'eau potable sont la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF) et l'osmose inverse (RO). La filtration sur membrane élimine les agents microbiens pathogènes principalement par exclusion de taille (Figure 04), c'est-à-dire que les microbes plus grands que les pores de la membrane sont éliminés (LECHEVALIER et AU, 2004).

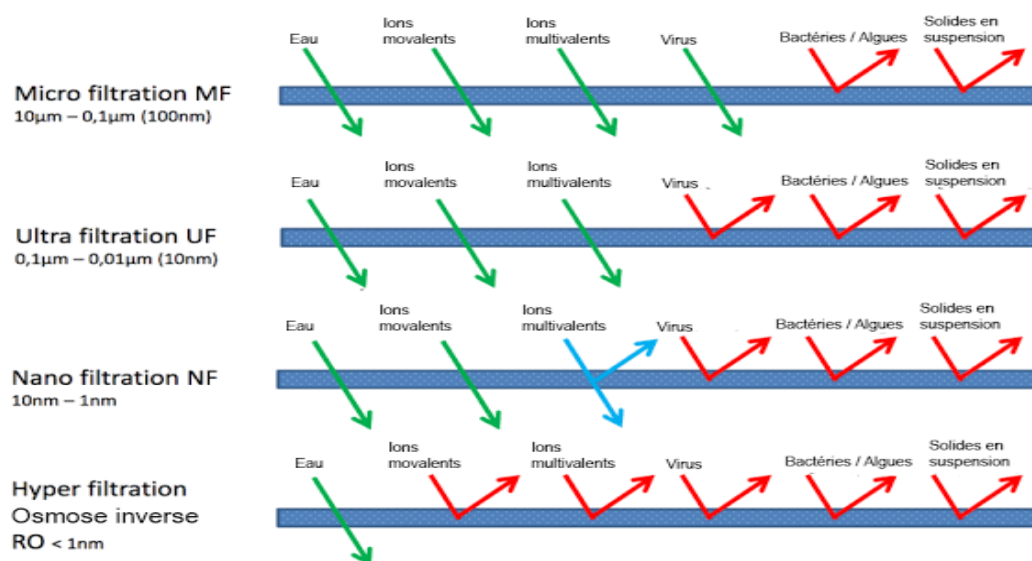


Figure 04 : Les procédés membranaires les plus couramment utilisés pour éliminer les microbes de l'eau potable (Anonyme 4).

➤ **Microfiltration (MF)**

Les membranes MF ont des pores de 0,1 µm ou plus. Théoriquement, les membranes MF peuvent éliminer très efficacement les protozoaires, les algues et la plupart des bactéries, ce qui a été confirmé par un certain nombre d'études. Cependant, des facteurs tels que la croissance des bactéries dans les systèmes membranaires peuvent entraîner une mauvaise élimination des bactéries. Les virus, qui ont une taille de 0,01 à 0,1 µm, peuvent généralement passer à travers les membranes MF, mais peuvent être éliminés par la membrane s'ils sont associés à de grosses particules (LECHEVALIER et AU, 2004).

➤ **Ultrafiltration (UF)**

Les membranes d'UF ont des pores de 0,01 µm ou plus, suffisamment petits pour éliminer certains virus en plus des bactéries et des protozoaires. Dans les études en laboratoire et à l'échelle pilote, Jacangelo, Adham et Laîné (1995) ont constaté que l'UF, comme la MF, pouvait agir comme une barrière absolue contre les kystes de protozoaires tant que les membranes restaient intactes. L'élimination des virus par l'UF était nettement meilleure que celle par la MF, et dépendait essentiellement de la taille des pores des membranes (LECHEVALIER et AU, 2004).

➤ **Nanofiltration (NF)**

La NF est le deuxième procédé membranaire en importance (MALLEVIALLE *et al.*, 1996).

Les membranes de NF sont fabriquées habituellement à partir de polymères (MARCIL, 2003).

En plus de permettre un enlèvement des particules et des macromolécules comme en UF, les membranes de NF sont conçues pour assurer un enlèvement poussé des ions multivalents (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Mn^{+2} , Fe^{+2}) ce qui fait de la NF un excellent choix pour le traitement des eaux dures. La couleur, en relation avec le Fer et la matière organique naturelle est très bien enlevée par ce procédé, ce qui est en fait un choix intéressant pour les eaux colorées (BOUCHARD *et al.*, 2003).

Remarque : La taille des pores des membranes d'UF est moins élevée que celles des membranes de MF et plus élevée que celles des membranes de NF quoiqu'il y ait chevauchements entre les domaines de l'UF et ceux de la MF et de la NF (les limites ne sont pas clairement établies). La pression d'opération en UF reste assez basse et les flux de perméation sont moins élevés qu'en MF (ANSELME & JACOBS, 1996). Les membranes d'UF permettent d'enlever tous types de colloïdes présentant un diamètre compris entre 1 μm à 1 nm (JAFFRIN *et al.*, 1997).

➤ **Osmose inverse (OI)**

Les membranes d'osmose inverse sont celles qui ont les structures les plus denses de toutes les membranes utilisées actuellement dans le domaine de l'eau potable. Ces membranes ont la capacité de retenir les ions monovalents, de très faible masse molaire (Na^+ , Cl^-). Par conséquent, les pressions osmotiques, qui sont d'autant plus importantes que la taille du soluté est faible, peuvent être très fortes si les concentrations en sels ou en molécules de faible poids moléculaire sont élevées. Cela implique que la pression d'opération, qui doit être plus élevée que la pression osmotique, peut être très élevée comme dans le cas du dessalement de l'eau de mer (5 à 8 MPa) (BOERLAGE *et al.*, 2000).

La séparation des espèces chimiques est fondée sur leur affinité physico-chimique à la membrane, sur la taille et/ou la charge électrique des molécules ou des espèces ioniques (HERMIA, 1982).

4. 2. L'AQUABION

Le Système AQUABION de la société ION Deutschland GmbH empêche de manière efficace le dépôt de calcaire dans les systèmes de conduite d'eau, les installations d'eau chaude et les installations de chauffage.

Le constituant central de l'AQUABION est une anode consommable en zinc de grande pureté. Cette anode est agencée à l'intérieur du corps de laiton entre deux éléments engendrant des tourbillons en acier inoxydable (Figure 05). Pendant que la libération d'ions zinc a lieu de manière contrôlée par des flux laminaires, les éléments engendrant des tourbillons provoquent des écoulements turbulents dans l'AQUABION. Le transfert des ions zinc est accéléré et l'efficacité du mécanisme de protection est nettement augmentée. L'eau est partagée en couches dans le laps de temps de la traversée de l'AQUABION, et entre ainsi en contact de manière optimale avec l'anode de zinc.

Entre le corps de laiton et l'anode de zinc se crée une différence de potentiel, qui engendre une électrolyse et provoque la libération des ions de zinc et donc la formation d'aragonite, une modification du calcaire, qui au contraire de la calcite ne conduit pas à la formation de tartre dur et empêche une précipitation du calcaire dans les installations hydrauliques. De cette manière, le système de conduite est protégé contre des phénomènes de corrosion comme la corrosion perforante ou en corrosion en forme d'auge (RISKE et GIESEN, 2007).

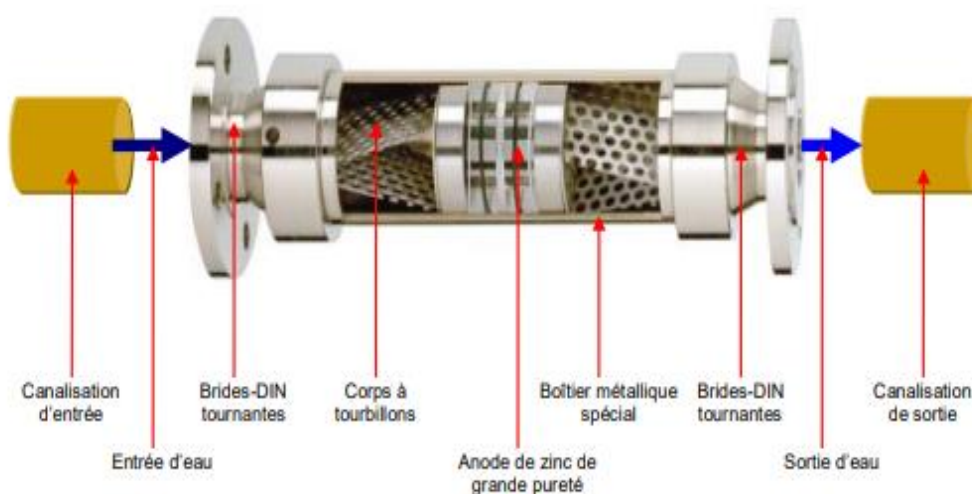


Figure 05 : Modèle en coupe de l'AQUABION (RISKE et GIESEN, 2007).

L'avantage particulier de cet équipement par rapport aux systèmes de traitement chimique de l'eau traditionnels, comme les installations d'adoucissement ou les échangeurs d'ions, réside dans sa rentabilité, sa manipulation et son écocitoyenneté. Grâce à l'utilisation de la technologie AQUABION, on peut renoncer à des nettoyages coûteux avec des produits chimiques ou des procédés physiques.

La protection contre les dépôts calcaires mène à un allongement de la durée de vie des systèmes de conduite d'eau et des installations d'eau chaude, ainsi qu'à des économies d'énergie importantes (RISKE et GIESEN, 2007).

4. 3. Le système anticalcaire électronique "Vulcan"

Vulcan est un appareil traitant l'eau de manière écologique qui protège les tuyaux et les équipements du calcaire et de la rouille. Cette technologie à impulsion traite l'eau sans avoir recours à des produits chimiques ou du sel.

Ces impulsions électroniques spéciales modifient le processus de cristallisation du calcium contenu dans l'eau dure et débarrassent ainsi ces particules de leurs propriétés adhérentes.

La technologie à impulsion Vulcan (Figure 06) modifie la cristallisation du calcium et du magnésium à l'aide du processus naturel de l'électrophorèse. Les cristaux deviennent plus lisses et prennent la forme de bâtonnets, ne pouvant de ce fait plus attacher les uns aux autres. Le calcaire est alors charrié par l'eau sous la forme de poudre fine, interrompant la formation de nouveaux dépôts (Anonyme 5).



Figure 06 : Modèle de la technologie électronique anticalcaire "Vulcan" (Anonyme 5).

4. 4. ClearWELL : Contrôle du tartre et de la paraffine

La formation du tartre dans l'eau naturellement dure peut réduire l'efficacité de la production des puits et raccourcir la durée de vie des équipements au fond et en surface.

L'eau produite contient des ions minéraux dissous, notamment du calcium, du baryum, du strontium, des carbonates et des sulfates. Lorsque ces ions atteignent un point de sursaturation en raison du changement de plusieurs paramètres (pH, température, pression...), les sels minéraux deviennent moins solubles et se déposent sous forme de tartre épais. Le tartre adhère aux parois des tuyaux, aux pompes de fond, aux conduites d'écoulement de surface et aux éléments internes des équipements de surface, ce qui réduit la production, bloque les soupapes d'isolation ou de sécurité critiques et provoque le colmatage des conduites, des instruments et des puits.

La technologie ClearWELL (Figure 07) résout les problèmes de formation de tartre en générant un champ électrique le long du puits de forage et à travers les conduites et les équipements de surface. Avec ce champ électrique, la majeure partie de la calamine se forme sous forme de petites particules dans le fluide en vrac s'écoulant du puits, au lieu de se déposer sur les surfaces métalliques du puits et de l'équipement de surface. Le tartre n'est pas immobilisé dans le puits ou dans l'équipement de surface ; au contraire, il s'écoule hors du système, sans restreindre le flux ou les opérations (Anonyme 6).



Figure 07 : Modèle de la technologie ClearWELL (Anonyme 6).

4. 5. Technologie de traitement magnétique

Le phénomène du traitement de l'eau avec un champ magnétique est connu depuis de nombreuses années et son efficacité a été démontrée dans de nombreux cas. La technologie magnétique est un procédé de traitement prometteur qui peut améliorer la séparation des particules en suspension dans les eaux usées.

En soumettant l'eau à un champ magnétique, il entraîne une modification de ses propriétés, car elle devient plus énergétique et plus capable de couler. L'apparition de ce système de magnétisation a conduit à la naissance de la nouvelle science appelée 'La magnéto-biologie'. Magnétisé l'eau empêche la formation de métaux nocifs tels que le plomb et le nickel et elle augmente également le pourcentage de nutriments des éléments comme le phosphore, le potassium et le zinc. Cette technique est considérée comme une simple simulation de ce qui se passe dans la nature, comme lorsque l'eau est soumise à un champ magnétique et devient plus actif biologiquement (ALKHAZAN et SADDIQ, 2010).

4. 5.1 Traitement de l'eau par magnétisation

Magnétiser une eau, c'est lui céder les propriétés vitales qui animent les eaux stagnantes tels que l'eau de pluie, de rivière, de torrent, c'est réanimer cette eau (LIN et YOTVAT, 1990).

L'eau magnétisée est l'eau passant à travers un champ magnétique spécifique, à travers des tubes magnétiques spéciaux qui travaillent à magnétiser cette eau, ou en plaçant le pétrissage magnétique à l'intérieur ou à proximité de cette eau pendant un certain temps, ainsi l'eau magnétisée est obtenue (AL MAOUSSILI, 2018).

La magnétisation de l'eau est l'opération par laquelle on restitue à l'eau ses qualités énergétiques et vitales. Une eau restructurée est une eau qui a retrouvé sa vitalité, donc la puissance de son champ électromagnétique lui permettant de recréer des liens ou structures caractérisant l'eau vivante (Figure 08). (MARWENI, 2015).

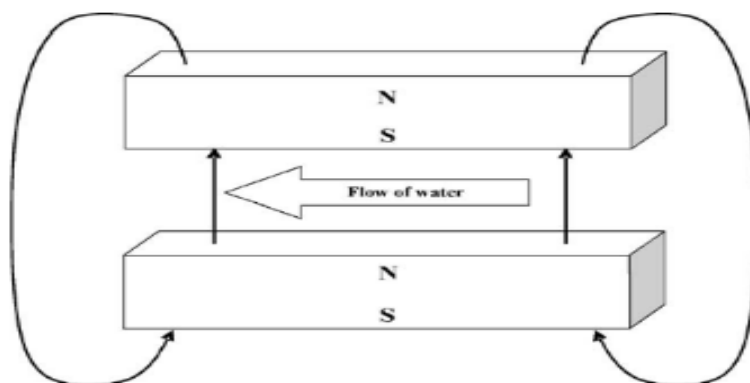


Figure 08 : Schéma du champ magnétique et de la direction de l'écoulement de l'eau au cours du traitement (MAHESHWARI et GREWAL, 2009).

Une eau magnétisée, redynamisée sur le plan moléculaire, retrouve son pouvoir inné d'absorption de l'oxygène; elle est aussi moins tendue en surface. La magnétisation permet d'obtenir une eau hautement énergisée, contrairement à l'eau fournie par le réseau public (ou par les eaux en bouteille) qui perd toute "vitalité" (transport et stockage).

La magnétisation de l'eau permet d'éclater les groupements de molécules en de plus petits amas (Figure 09) qui hydrateront mieux les cellules du corps (MARWENI, 2015).

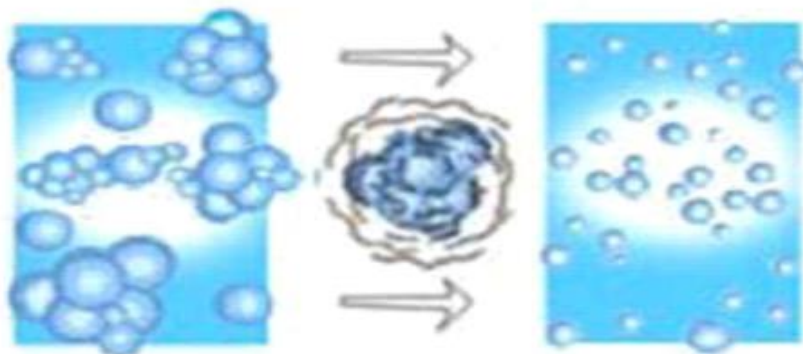


Figure 09 : La structure de l'eau dynamisée en micromolécules (Microcluster) (MARWENI, 2015).

4. 5.2. Préparation d'une eau magnétisée

L'eau magnétisée est obtenue en faisant passer l'eau à travers un aimant permanent installé sur une canalisation d'alimentation. L'eau qui traverse un champ magnétique est appelée eau magnétisée. Le champ magnétique est créé par des aimants permanents qui sont placés diamétralement opposés dans la conduite d'alimentation, ce qui provoque la

magnétisation de l'eau. Il n'y a aucune exigence d'énergie pour la magnétisation et peut être utilisé à long terme sans aucune exigence d'entretien (SUCHITRA et BABU, 2011).

Et les facteurs qui dépendent du degré d'aimantation sont :

- La quantité de liquide préparée pour la magnétisation;
- La force de l'aimant utilisé;
- Durée du contact entre l'eau et l'aimant (AL MAOUSSILI, 2018).

4. 5.3. Propriétés de l'eau magnétisée

Les propriétés de l'eau magnétisée sont les suivantes :

- La capacité d'absorption des ions par l'eau augmente d'environ 5 à 8 % lorsque la capacité "1000 unités" magnétique est appliquée, tandis qu'à la capacité "3000 unités", ce pourcentage augmente entre 19 et 26 %;
- La conductivité électrique est fortement réduite;
- La tension superficielle diminue lors de la magnétisation;
- La proportion d'oxygène permanent dans l'eau augmente de 10%;
- La vitesse des réactions chimiques est modifiée;
- Dissolution des sels;
- Attire les molécules d'eau ensemble et réorganise les molécules distribuées au hasard;
- Il élimine les odeurs d'eau indésirables telles que les odeurs de soufre et de chlore;
- Dans l'eau magnétisée, la taille de la grappe est à moitié de celle de l'eau normale;
- Les valeurs de pH augmentent de 7 (eau normale) à 7,5 (eau magnétisée);
- La viscosité est réduite de 30 à 40%;
- Le champ magnétique décompose la structure aléatoire de l'eau et la rend plus uniforme (AL MAOUSSILI, 2018).
- La cristallisation de l'eau magnétisée montre qu'elle présente de beaux cristaux (Figure 10) (EMOTO, 2001).

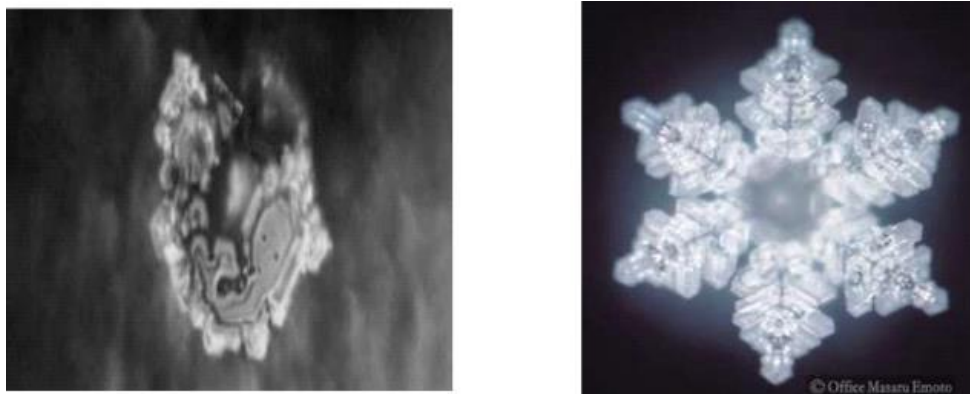


Figure 10 : Cristaux de Masaru Emoto (Médecin chercheur Japonais) (EMOTO, 2001).

4. 5.4. Effet du magnétisme sur l'eau

L'eau est un matériau polaire dont les molécules ont tendance à s'attacher les unes aux autres par des liaisons hydrogène pour former des amas. Normalement, dans chaque grappe d'eau, il y a environ 100 molécules. Si l'eau passe à travers un champ électromagnétique ou un champ magnétique permanent, elle est magnétisée et connue sous le nom d'eau traitée par champ magnétique (MFTW). Le champ magnétique brise les liaisons hydrogène, réduisant ainsi l'agglomération des molécules d'eau dans un groupe et, comme le montre la figure 11, il répand les molécules d'eau. L'eau magnétisée est différente de l'eau du robinet en termes de propriétés mécaniques, électromagnétiques et thermodynamiques. Ces propriétés font que l'eau magnétisée a de nombreuses applications industrielles, médicales et agricoles (JOUZDANI et REISI, 2020).

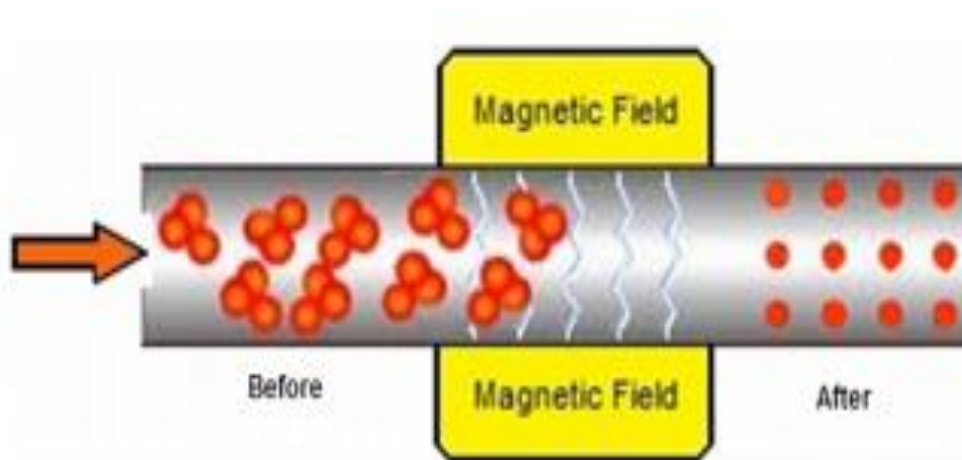


Figure 11 : Effet du champ magnétique sur les grappes d'eau (JOUZDANI & REISI, 2020).

4. 5.4.1. Effet du magnétiseur sur la dissolution des TDS (Total des solides dissous) dans l'eau

L'exposition de l'eau à un champ magnétique entraîne une diminution de la TDS de l'eau, c'est-à-dire qu'elle adoucit l'eau et augmente le pH, car lorsque l'eau est soumise à un champ magnétique, les molécules d'eau se déplacent dans une direction. Ce mode d'arrangement est causé par des liaisons de relaxation, puis l'angle de liaison diminue jusqu'à moins de 105° , entraînant une diminution du degré de consolidation entre les molécules d'eau, et une augmentation de la taille des molécules. Pour ces raisons, la viscosité de l'eau magnétique est inférieure à la viscosité de l'eau normale. Cette modification de la composition des molécules d'eau entraîne un changement de la tension superficielle, du pH et du TDS (ABDEL TAWAB et *al.*, 2011).

Il a été constaté que le traitement magnétique affecte effectivement les TDS et le pH de différentes solutions en fonction du magnétiseur utilisé. L'effet du magnétiseur était de diminuer le TDS et d'augmenter le pH de l'eau. L'effet dépend de la durée d'exposition au champ magnétique. L'eau dure est une eau qui a une forte teneur en minéraux, surtout ions de calcium (Ca^{2+}) et de magnésium (Mg^{2+}), en plus des métaux dissous, des bicarbonates et des sulfates. Le calcium pénètre généralement dans l'eau sous forme de carbonate de calcium (CaCO_3) sous forme de calcaire et de craie, ou de sulfate de calcium (CaSO_4) sous forme de plusieurs autres dépôts minéraux. La principale source de magnésium est la dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). La "dureté" totale de l'eau (incluant les ions Ca^{2+} et Mg^{2+}) est exprimée en parties par million (ppm) ou en poids/volume (mg/l) de carbonate de calcium (CaCO_3) dans l'eau, c'est-à-dire en sels dissous totaux (TDS). En raison de la dureté de l'eau, du tartre se forme en entraînant une perte de production ou de temps de traitement, il provoque la détérioration des équipements et des pannes de matériel, une augmentation de la consommation d'énergie et une perte de chiffre d'affaire (ABDEL TAWAB et *al.*, 2011).

4. 5.5. Les avantages d'utilisation de l'eau magnétisée

4. 5.5.1. Sur l'organisme humain

L'eau magnétisée est souvent utilisée pour soulager les maux les plus courants. Les Russes sont les pionniers dans l'utilisation de l'eau magnétisée, ils l'appellent "Wonder Water".

L'eau magnétisée a été utilisée pour la première fois en Russie par trois spécialistes: les docteurs G. Gerbenshchikow, I. Shetsov et K. Tovstoles. Ils faisaient boire à leurs patients de l'eau magnétisée bipolaire. Ce traitement simple était très efficace pour briser les calculs des reins et de la vésicule biliaire en particules suffisamment petites pour être passées dans l'urine sans aucune douleur ni danger pour le patient.

L'eau magnétisée augmente la solubilité des minéraux et améliore donc le transfert des nutriments à toutes les parties du corps, ce qui permet aux organismes de travailler plus efficacement (McCREERY, 2003).

Les effets de l'eau magnétisée sur l'organisme humain sont nombreux :

1. Hydratation rapide au niveau cellulaire (revitalisation complète du corps) : l'eau magnétisée ou biodynamisée, structurée et vitalisée hydrate 4 fois plus qu'une eau normale et 6 fois plus rapidement.

2. Oxygénation accrue au niveau cellulaire (Figure 12)

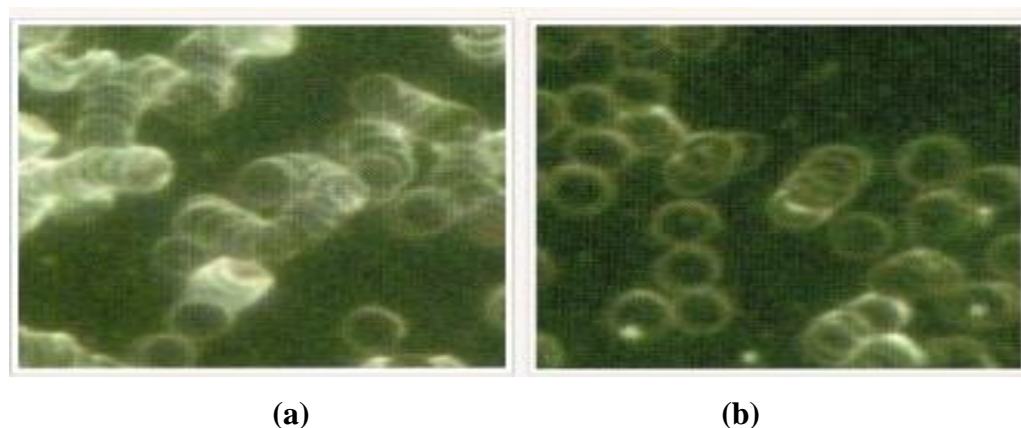


Figure 12 : Effet de la consommation de l'eau vitalisée sur le sang (MARWENI, 2015).

Légende : (a) Globules agglutinés (b) globules séparés.

(a) *Les globules sont agglutinés en forme de "rouleau", ce qui ne permet pas une bonne oxygénation du corps, perte de leur charge électrique, mauvaise absorption des nutriments...*

(b) *10 minutes après avoir bu une eau structurée, les globules rouges sont séparés, retrouvent leur charge électrique, ce qui permet une meilleure oxygénation du corps, et une meilleure absorption des nutriments. D'où alors diminution des maladies cardio-vasculaires.*

3. Diminution des radicaux libres;
4. pH légèrement alcalin;
5. Activation des enzymes et support du système immunitaire;
6. Meilleur équilibre métabolique;
7. Meilleure absorption des nutriments et de la communication extracellulaire;
8. Amélioration de l'élimination des déchets intracellulaires (MARWENI, 2015).

4. 5.5.2. Sur les animaux

L'eau magnétisée est également bénéfique à la santé et au bien-être des animaux. Comme eau de boisson, nous retrouvons les mêmes avantages qu'elle apporte à l'organisme humain (MARWENI, 2015).

Le traitement magnétique des eaux réduit la consommation quotidienne d'eau par les oiseaux d'environ 5,46%.

Le traitement magnétique aiderait l'organisme à repousser les envahisseurs microbiens et à améliorer le système immunitaire (AL-MUFARREJ et *al.*, 2005).

4. 5.5.3. En agriculture

L'eau est la source de vie pour les plantes : plus de 70% de la plante est faite d'eau. L'eau est fondamentale pour les fonctions d'hydratation, de circulation de la sève.

L'eau magnétisée favorise :

- L'augmentation du pouvoir mouillant de l'eau dans les tissus végétaux;

- Une augmentation du taux de germination des graines. Ceci peut être attribué à une augmentation de l'absorption de l'eau suite au traitement magnétique;
- Un élargissement et un développement plus important des vaisseaux du xylème et de la stèle des plantules irriguées par l'eau dynamisée par rapport aux plantules irriguées par l'eau non dynamisée. Ceci peut être attribué à une augmentation de l'activité de l'enzyme peroxydase qui entraîne une lignification des cellules et donc un passage rapide vers la structure secondaire;
 - L'augmentation du développement foliaire et racinaire;
 - L'augmentation de la biomasse totale;
 - La diminution d'utilisation des produits chimiques (pesticides) ainsi que les produits de fertilisation (MARWENI, 2015).

➤ **Utilisation de la magnétisation pour le traitement des eaux salines d'irrigation**

L'eau salée a un effet négatif sur la croissance des plantes, ce qui est dû à la présence d'ions de sodium et au potentiel osmotique élevé. Différentes méthodes ont été utilisées jusqu'à présent pour atténuer le stress de l'eau salée sur la croissance des plantes et la production végétale, parmi lesquelles l'utilisation du champ magnétique est la plus récente (ALAVI *et al.*, 2020).

Les effets du champ magnétique sur l'amélioration des propriétés de l'eau salée sont en fonction de :

- 1) du temps d'exposition;
- 2) de l'amplitude du champ magnétique;
- 3) des espèces végétales;
- 4) des conditions environnementales;
- 5) des propriétés et de la concentration en sel (ALAVI *et al.*, 2020).

Le traitement de l'eau d'irrigation avec des champs magnétiques :

- Améliore la germination des graines;
- Améliore la croissance des plantes;
- Augmente également l'humidité du sol dans la zone racinaire de la plante par rapport à l'eau non magnétisée (SUCHITRA et BABU, 2011).

Le sol salin ne peut pas être valorisé par des produits chimiques, des conditionneurs ou des engrais. La remise en état de ces types de sol n'est possible que par l'application d'une quantité suffisante d'eau de haute qualité pour lessiver complètement le sol. L'eau appliquée doit être pauvre en sodium mais doit être assez saline.

Récemment, la magnétisation de l'eau d'irrigation saline à travers un champ magnétique approprié a été introduite comme moyen efficace pour le dessalement du sol.

Tackashinko, (1997) a déclaré que la possibilité d'utiliser de l'eau magnétisée pour le dessalement du sol tient compte de la capacité de dissolution accrue de l'eau magnétisée, qui a été enregistrée à plusieurs reprises. Il a ajouté que l'eau magnétisée enlevait 50% à 80% du Cl⁻ du sol, par rapport à une élimination de 30% par l'eau d'irrigation normale. De plus, les résultats de nombreuses expériences ont révélés que l'eau magnétisée appliquée au sol salé décompose les cristaux de sel deux fois plus vite que l'eau non magnétisée permettant au sel d'être lessivé du sol. L'eau d'irrigation magnétisée a également induit des changements de solubilité de certains composants du sol tels que le CaCO₃ et le gypse (SELIM, 2008).

➤ **Utilisation de la magnétisation pour amélioration de la germination des graines**

Des graines en germination peuvent ne pas émerger, en particulier dans des conditions de stress. Le sol salin et l'eau saline sont les facteurs les plus importants qui affectent la germination des graines.

Les technologies de magnétisation ont un effet significatif sur les graines en germination. Un taux de germination complet du blé de 100% a été obtenu après 9 jours de semis avec l'eau magnétique et les grains ensemble, contre un taux de 83,86 et 86% après 12 jours de semis avec le traitement des grains normaux trempés avec de l'eau non traitée. Le traitement magnétique provoque également une augmentation du taux de germination (SELIM, 2008).

Takashinko (1997) a rapporté que la germination des graines était une étape très difficile et complexe du semis. Les graines transportent différentes charges d'énergie et, par conséquent, toutes ne finiront pas par germer. À cet égard, la conclusion de nombreux chercheurs a indiqué que la manière dont le champ magnétique affecte les graines est l'activation du flux d'énergie et la stimulation du métabolisme. Le champ magnétique diminue également l'effet des inhibiteurs de germination en raison de l'augmentation du pH du jus cellulaire et peut remplacer un matériau aussi coûteux (SELIM, 2008).

4. 5.5.4. En industrie

Les applications du traitement magnétique de l'eau sont abondantes dans l'industrie où il est utilisé pour prévenir l'entartrage des parois internes des tuyaux transportant des fluides, en particulier l'eau. L'industrie pétrolière a récemment réussi à empêcher l'entartrage du carbonate de calcium dans le champ d'Auk, ce qui indique l'avantage potentiel du traitement magnétique des fluides dans les plates-formes offshore.

Il existe d'autres cas bien documentés d'utilisation du champ magnétique appliqué pour prévenir les dépôts d'hydrocarbures dans les conduites. Diverses études ont montré que le traitement magnétique antitartre (AMT) semble être amélioré par une exposition magnétique prolongée ou répétée, et qu'il est plus efficace au-dessus d'un seuil de temps de contact avec le champ magnétique et dans les systèmes en écoulement. (ABDEL TAWAB *et al.*, 2011).

4. 5.6. Deux types d'hydro-magnétiseurs

Il existe plusieurs types d'hydro-magnétiseurs, nous nous limitons à citer 2 qui sont largement utilisés : le Delta-Water et l'anneau MERUS.

4. 5.6.1. Technologie Japonaise "Delta-Water"

Les magnétiseurs Delta-Water (Figure 13) sont des appareils conçus pour être respectueux de l'environnement et de haute qualité de traitement des eaux. Ils ont été inventés pour faire face à la chimie dure de l'eau à haute salinité située dans les pays dépourvus d'eau douce. Ne nécessitant aucune source d'énergie, aucun entretien, le Delta-Water confère à l'eau ses qualités énergétiques (vitalité et mobilité).

Le principe du procédé Delta-Water est basé sur l'application d'un champ magnétique à l'eau. Cette application permet de donner un mouvement et une énergie à l'eau qui stagne dans les conduites et /ou dans les citernes de réserve, sachant que la stagnation de l'eau provoque le dépôt des minéraux, l'oxydation et la multiplication des bactéries et des biofilms à l'intérieur des conduites (MARWANI, 2015).



Figure 13 : Magnétiseur Delta-Water (ANONYME 7).

4. 5.6.2. Technologie Allemande anneau MERUS

L'anneau MERUS (Figure 14) est un dispositif unique, fiable, multifonctionnel dans le domaine de traitement de l'eau. Il traite l'eau par un principe biophysique basé sur les mouvements et les oscillations d'ondes moléculaires qui, en traversant tout type de conduite, sont absorbées par l'eau sous forme de signaux résonant et interférents. Il génère ainsi un mouvement d'ondes de différentes fréquences se propageant et modifiant immédiatement les propriétés physiques des matières contenues dans l'eau sans en modifier l'aspect chimique.

L'anneau MERUS possède à la fois un effet préventif et curatif sur toutes les canalisations et tous les équipements en empêchant la formation du tartre, de rouille, de boue et la corrosion des réseaux (ANONYME 8).

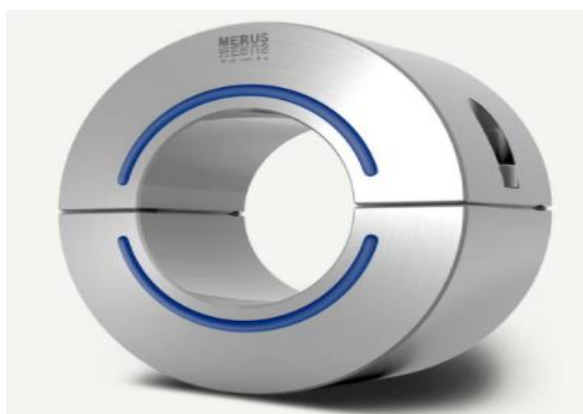


Figure 14 : Anneau magnétiseur MERUS (ANONYME 8).

Chapitre IV : Etat de la recherche et développement sur l'application de la magnétisation de l'eau potable dans différents secteurs économiques.

La magnétisation de l'eau, nouvelle technologie basée sur le passage de l'eau dans un champ magnétique produit par aimantation.

Elle permet de résoudre plusieurs problèmes liés à la gestion de l'eau dans divers domaines, utilisant cette ressource vitale, ce qui fait d'elle l'objet de plusieurs recherches, visant à évaluer et optimiser l'effet de ce procédé sur la qualité de l'eau potable.

Des résultats ont été récemment rapportés sur l'effet de la magnétisation de l'eau appliquée dans trois différents domaines :

- L'irrigation en agriculture sur des terres à salinité élevée.
- L'industrie et la distribution de l'eau potable.
- L'élevage et l'alimentation animale.

1. Apport de la magnétisation dans le traitement de la salinité des terres agricoles (synthèse de SELIM, 2008)

Environ deux tiers des pays arabes souffrent de l'environnement sévère des zones arides et semi-arides affectées par de rares eaux douces et des sols salins. La remise en état de ces types de sols, n'est possible que par l'application d'une quantité suffisante d'eau de bonne qualité pour lessiver complètement le sol.

Récemment, la magnétisation de l'eau d'irrigation saline à travers un champ magnétique approprié a été introduite comme moyen efficace pour le dessalement du sol. Les résultats de nombreuses expériences ont révélés que l'eau magnétisée appliquée au sol salé décompose les cristaux de sel deux fois plus vite que l'eau non magnétisée, permettant au sel d'être lessivé du sol.

Les résultats comparatifs des expériences sur le terrain (sol à salinité élevée) menés par "SELIM, 2008" sur certaines cultures céréalières sur trois saisons successives dont les cultures témoins sont irrigués par l'eau normale, tandis que, les autres par de l'eau magnétisée avec l'utilisation de grains magnétisés dans les conditions du Sinaï Sud sont présentés dans le tableau VII :

Tableau VII : Pourcentages de germination et rendement (moyenne des trois saisons) de certaines cultures de plein champ lors d'expériences sur le terrain, tel qu'affecté par les traitements magnétiques.

Culture	Traitement magnétique		Rendement (tonnes /aliments)	Le semis compte le pourcentage de germination après (%)		
	Eau	Grains		6 jours	9 jours	12 jours
Blé	-	-	1.248	65	70	86
		+	1.360	68	76	88
	+	-	1.387	68	79	90
		+	1.432	66	84	95
Orge	-	-	1.334	69	80	86
		+	1.465	74	82	94
	+	-	1.532	73	82	92
		+	1.688	75	84	95
Tritical	-	-	1.499	76	84	86
		+	1.594	79	84	92
	+	-	1.599	79	86	95
		+	1.653	80	89	96

Les résultats indiquent que la magnétisation des graines et de l'eau est le traitement le plus efficace pour la germination des graines par rapport au témoin à chaque semelle de traitement. À cet égard, la conclusion de nombreux chercheurs a déclaré que la manière dont le champ magnétique affecte les graines est l'activation de l'influx d'énergie et la stimulation du métabolisme.

Le champ magnétique diminue également l'effet des inhibiteurs de germination en raison de l'augmentation du pH du jus cellulaire et peut remplacer un matériau aussi coûteux.

Un meilleur rendement est obtenu par la combinaison du traitement des grains et de l'eau traitée magnétiquement.

Globalement

On peut dire que le traitement magnétique de l'eau d'irrigation a un effet considérable sur le taux de germinations des grains et l'augmentation du rendement, qui est renforcé si on le combine avec le traitement magnétique des graines.

L'augmentation du rendement des sols à salinité élevée après le traitement magnétique de l'eau indique l'efficacité de la magnétisation contre les conditions extrêmes du sol.

2. Utilisation de la magnétisation pour la prévention de l'entartrage des canalisations industrielles et des conduites de distribution d'eau potable (Synthèse de KOBE *et al.*, 2001)

Il a été établi que la nucléation et la cristallisation du carbonate de calcium dans l'eau dure peuvent être influencées par un champ magnétique et, par conséquent, il ne devrait plus être nécessaire d'utiliser des produits chimiques pour empêcher l'accumulation du carbonate de calcium sur les surfaces exposées à l'eau dure. Cela pourrait avoir un impact significatif sur la réduction de la pollution chimique de l'environnement.

Les études les plus récentes de "KOBE *et al.*, 2001" se sont concentrées sur l'influence de différents éléments d'impuretés sur la forme de cristallisation du carbonate de calcium en présence d'un champ magnétique appliqué. Les résultats comparatifs de l'expérimentation réalisée sur des solutions de carbonates de calcium traitées magnétiquement et les solutions témoins sont présentés dans le tableau VIII :

Tableau VIII : Pourcentages en masse des différentes formes cristallines de carbonate de calcium dans les deux échantillons traité et non traité magnétiquement.

Forme cristalline	Calcite (%)	Aragonite (%)	Vatérite (%)
Echantillon non traité	34	14	52
Echantillon traité	14	44	42

Les résultats de l'analyse quantitative des échantillons ont montré qu'il y avait une différence dans la quantité des trois formes cristallographiques de CaCO_3 si le modèle de l'eau était traité par un champ magnétique :

- une quantité significativement plus importante d'aragonite dans l'échantillon traité magnétiquement;
- des proportions relativement élevées de vaterite dans les deux échantillons, qui est une modification cristalline métastable du carbonate de calcium qui précipite souvent en premier, mais se transforme généralement rapidement en calcite.

On peut déduire que l'aragonite et la vaterite sont les principales composantes du carbonate de calcium cristallisées dans un champ magnétique.

L'effet du champ magnétique appliqué apparaît dans la formation d'aragonite plutôt que de la calcite, qui est une forme cristalline qui ne provoque pas d'entartrage, ou du moins dans des proportions inférieures à celles induites par la calcite.

3. Application d'un champ magnétique de puissance et de direction contrôlée à l'eau d'irrigation et l'eau potable (Synthèse de LIN et YOTVAT, 1990)

LIN et YOTVAT (1990) ont menés plusieurs expériences afin d'étudier l'effet du traitement magnétique de l'eau destinée aux cultures et aux animaux.

Afin de déterminer l'efficacité du prétraitement magnétique, sa force et son rendement, en fonction des différents paramètres, des expériences sur le terrain ont été menées sur divers animaux d'élevage (bovins, chèvres, moutons), volailles (poules, oies, dindes) et produits (légumes, fruits, etc.).

➤ Ferme laitière du kibboutz Chèvre

Une conduite d'eau alimentant un groupe de vaches laitières a été traitée magnétiquement. Un groupe témoin de vaches a reçu de l'eau non traitée comme d'habitude. Les deux groupes ont reçu la même alimentation et les autres conditions étaient identiques. Elles ont été traitées séparément.

Le groupe ayant reçu de l'eau traitée a produit plus de lait, avec le même pourcentage de matière grasse. La période de lactation, les jours non productifs et les conditions vétérinaires étaient meilleurs. L'imprégnation a été meilleure.

➤ **Veaux sur le kibboutz Gvat**

Les veaux âgés d'une semaine ont été transférés de manière sélective dans des étables à croissance contrôlée recevant uniquement de l'eau traitée magnétiquement, où ils sont restés jusqu'à l'âge de trois mois. Ce groupe a connu une croissance 12 % plus rapide que le groupe témoin.

Dans la même ferme, des observations ont été faites sur la croissance des veaux mâles. Les veaux âgés de trois mois ont été transférés dans des enclos de croissance contrôlée où ils ont bu de l'eau traitée magnétiquement. Ils ont montré une augmentation de leur gain de poids et leur viande contenait 30 à 40 kg de graisse en moins à 10 ou 12 mois.

➤ **Les oies de la ferme Hqvogev**

Les oies se développent intensivement, passant d'un jour à deux mois. Le prétraitement magnétique de leur eau a permis d'améliorer leurs performances : augmentation des gains de poids quotidiens, amélioration générale de la santé et meilleur rendement économique pour l'éleveur.

Le système d'eau magnétique a montré une réduction drastique du revêtement minéral dans les tuyaux et dans les récipients d'eau, des zones de boisson propres et une absence de blocage des gobelets d'eau qui provoquent normalement des inondations dans les cages.

➤ **Ferme ovine à Givat Zayad**

Les moutons sont cultivés pour le lait, la viande et la laine. Ces trois facteurs ont montré une augmentation considérable du rendement ; on a constaté une augmentation de la production de laine après la tonte du troupeau par rapport à la production habituelle.

➤ **Les dindes à Nahalal**

Le poids augmente. Augmentation du pourcentage de pondeuses, allongement de la période de ponte, allongement de la période de ponte maximale, amélioration de la fertilité et des pourcentages.

Le niveau de rendement de chaque exploitation dépend de trois facteurs clés :

- le type d'équipement;
- la qualité de l'eau;
- le mode de fonctionnement.

En résumé

Le traitement électromagnétique de l'eau a apporté une contribution considérable aux différentes branches de l'agriculture. Les avantages économiques du point de vue du rapport coût/bénéfice sont avérés.

4. Comparaison entre la magnétisation et autres nouvelles technologies de traitement de l'eau potable

Les différents problèmes de disponibilité et de qualité des ressources en eau trouvent parfois leurs solutions par la mise en place d'une politique technologique de gestion de l'eau.

La création et le développement de moyens technologiques permettant d'échapper à la sujétion des conditions locales et aux aléas de la nature dans le domaine de l'eau représente une des conditions préalables du développement de l'économie (BOUZIANI-BOUBOU et MALIKI, 2009).

Divers technologies de traitement de l'eau sont apparues ces dernières décennies, mais le choix de la technologie la plus efficaces et efficiente au même temps reste le défi de chaque acteur de la filière de l'eau. Le tableau IX représente les avantages et les inconvénients de la magnétisation et de quelques technologies récentes de traitement de l'eau potable :

Tableau IX : Les avantages et les inconvénients de la magnétisation et de quelques technologies récentes de traitement de l'eau potable.

Technologie	Avantages	Inconvénients
La Magnétisation	<ul style="list-style-type: none"> • Ecologique. • Aucun coût opérationnel. • Facilité d'installation. • Diminution du calcaire. • Protection des tuyauteries et des appareils. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût élevé de l'appareil. • Nécessite plusieurs appareils pour les longues conduites.
Les membranes filtrantes	<ul style="list-style-type: none"> • Ecologiques. • Diminution de l'utilisation des désinfectants chimiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • colmatage des membranes provoquant l'augmentation des coûts d'exploitation et du renouvellement de ces dernières.
L'Aquabion	<ul style="list-style-type: none"> • Empêche les précipitations agressives de calcaire (aragonite au lieu de calcite). • Le système est compatible avec l'environnement et ne modifie pas la qualité de l'eau potable. • L'AQUABION n'occasionne pendant sa durée de vie aucun coût de fonctionnement courant. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'anode de zinc est consommable il faudra donc la changer régulièrement.
Vulcan	<ul style="list-style-type: none"> • Réduit la formation de calcaire. • Assainit et ménage la tuyauterie. • Protège contre la rouille et la piqûre de corrosion. • Traitement sans sel et sans produits chimiques. • Ne nécessite pas d'entretien. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consomme de l'énergie électrique.
ClearWell	<ul style="list-style-type: none"> • Avec le dispositif ClearWELL, les produits chimiques classiques inhibiteurs de tartre sont fréquemment éliminés, et les inhibiteurs de paraffine classiques peuvent être réduit ou éliminé. • Pas de temps d'arrêt. • Pas de pollution. • Pas de perte de production. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consomme de l'énergie électrique, donc engendre des coûts supplémentaires.

L'industriel cherche toujours à avoir une bonne qualité avec un moindre coût, ce qui est difficile de réaliser sur le terrain avec des appareils nécessitant une maintenance régulière et les défaillances et endommagement des installations avec le temps et qui nécessitent souvent une source d'énergie.

À titre d'exemple, les technologies membranaires de filtration présentent l'inconvénient du colmatage qui dégradent réversiblement ou irréversiblement les propriétés de perméabilité et de sélectivité des membranes, par conséquent la perte de fiabilité de ces dernières et l'augmentation des coûts d'exploitation et du renouvellement.

L'Aquabion nécessite un renouvellement régulier de l'anode du zinc ce qui présente des frais supplémentaires à l'industriel.

La technologie Allemande Vulcan coûte relativement chère, en plus de la nécessité d'une source d'énergie électrique générant des frais élevés.

En s'appuyant sur les résultats de notre recherche bibliographique, on peut dire que la technologie magnétique serait la plus adaptée au traitement de l'eau du point de vue technique et économique. Son aspect écologique et économique ne nécessitant aucune source d'énergie et, aucune maintenance, sa facilité d'installation d'une part, et son efficacité prouvée par les scientifiques dans plusieurs domaines font d'elle la technologie de traitement de l'eau par excellence.

Conclusion générale

Le traitement de l'eau par magnétisation, une technologie innovante qui commence à être introduite dans plusieurs domaines utilisant l'eau vu ses effets et nombreux avantages prouvés sur le terrain par plusieurs recherches et que les scientifiques continuent à découvrir pour en profiter au maximum.

Notre étude théorique s'est focalisée sur l'effet de la magnétisation appliquée au traitement de l'eau potable. Nous avons recueilli les résultats de quelques études dans trois différents secteurs : l'agriculture, l'élevage, l'eau potable et les eaux industrielles.

Les études examinées nous permettent de conclure que l'utilisation de la magnétisation pour traiter l'eau potable peut être la solution pour plusieurs problèmes notamment :

- Prévenir l'entartrage des conduites de distribution d'eau potable et les canalisations industrielles;
- Lessiver les sols agricoles afin de diminuer leur salinité;
- Augmenter les rendements en agriculture;
- Optimiser les performances zootechniques dans les élevages.

Des pratiques plus poussées dans les différents domaines sont tant souhaitées pour avoir plus de résultats expérimentaux qui aideront à mieux comprendre l'effet du magnétisme sur l'eau et déterminer les conditions adaptées à chaque domaine en vue d'optimiser les effets observés.

Références bibliographiques

« A »

- **Abdel Tawab, RS, Younes, MA, Ibrahim, AM & AbdleAziz, MM (2011).** Test des magnétiseurs à eau commerciaux: une étude du TDS et du pH. Dans *Quinzième Conférence internationale sur les technologies de l'eau, IWTC-15* (pp. 146-155).
- **Abdenmour, N., & Ait Namane, T. (2015).** Etude comparative de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux mises en distribution de la ville de Tizi-Ouzou (Barrage de Taksebt et forages de Boukhalfa). Mémoire de fin d'étude UMMTO.
- **Abdeselem, A. (1999).** Suivie De La Qualité Microbiologique Et Physicochimique De Trois Serres Alimentant De La Région De Tlemcen, Mémoire d'ingénieur institut de biologie, université de Tlemcen., pp 2-18.
- **ADE : Algérienne des eaux Tizi-Ouzou.**
- **Alavi, SA, Ghehsareh, AM, Soleymani, A., Panahpour, E., & Mozafari, M. (2020).** Croissance de la menthe poivrée (*Mentha piperita* L.) et propriétés biochimiques affectées par l'eau saline magnétisée. *Écotoxicologie et sécurité environnementale*, 201, 110775.
- **Alkhanan, MMK & Saddiq, AAN (2010).** L'effet du champ magnétique sur les propriétés physiques, chimiques et microbiologiques de l'eau du lac en Arabie Saoudite. *Journal of Evolutionary Biology Research* , 2 (1), 7-14.
- **Al Maoussili, M.A. (2018).** L'eau Magnétisée. Editions YAZORI, 427p.
- **Al-Mufarrej, S., Al-Batshan, HA, Shalaby, MI & Shafey, TM (2005).** Les effets de l'eau traitée magnétiquement sur les performances et le système immunitaire des poulets de chair. *International Journal of Poultry Science*, 4 (2), 96-102.
- **Anselme, C. et Jacobs, EP (1996).** Ultrafiltration. *Processus membranaires de traitement de l'eau*. Chapitre 10. McGraw-Hill. 88p.
- **Arab, L., et Oudafal, N. (2015).** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux brutes et traitées de barrage de la station Taksebt de Tizi-Ouzou, mémoire de fin d'étude diplôme d'ingénieur d'état en Agronomie.
- **Atteai, O. (2005).** Chimie et pollution des eaux souterraines. Editions Lavoisier Tec&Doc, Paris.

« B »

- **Beauchamps, J. (2006).** Qualité et pollution des eaux souterraines. Université de Picardie Jules Verne.
- **Beaulieu, P., & Fisset, B. (2009).** Eau du robinet: une exigence de qualité... *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 44(6), 294-301.
- **Beer, M. (2010).** Procédés reconnus destinés au traitement de l'eau potable.
- **Béranger, G. & Mazille, H. (2002).** Mécanique et Ingénierie des Matériaux Corrosion et anticorrosion. Pratique industrielle. Ed Lavoisier.
- **Berné, F. & Cordonier, J. (1991).** *Traitement des eaux*. Ed. École Nationale Supérieure du Pétrole et des Moteurs, Paris, 306 p.
- **Bligny, J-C. & Hartemann, P. (2005).** Les eaux minérales naturelles et les eaux de source cadre réglementaire et technique. Ed : Elsevier SAS. C.R.Géoscience 337. P 279-284.
- **Boerlage, S. F., Kennedy, M. D., petros Aniyé, M., Abogrean, E. M., El-Hodali, D. E., Tarawneh, Z. S., & Schippers, J. C. (2000).** Modified Fouling Indexultrafiltration to compare pretreatment processes of reverse osmosis feedwater. *Desalination*, 131(1-3), 201-214.
- **Bouchard, C., Sérodes, J., Rahni, M., Ellis, D., Laflamme, E., et Rodriguez, M. (2003).** Étude du colmatage des membranes en ultrafiltration et en coagulation ultrafiltration d'eau de surface. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 2 (2), 139-148.
- **Bouziani, M. (2000).** L'eau : De la pénurie aux maladies. Editions Ibn Khaldoun, Alger.
- **Bouziani-Boubou, N. & Maliki, S. (2009).** Innovations technologiques et gestion de leau en Algérie: La maîtrise de la demande.
- **Bradosche, P. (2011).** INTRODUCTION À L'ÉTUDE DE LA CORROSION DES CANALISATIONS D'EAU POTABLE EN FONTE GRISE.

« C »

- **Calianno, M., Reynard, E., Milano, M. & Bushs, A. (2017).** Quantifier les usages de l'eau : une clarification terminologique et conceptuelle pour lever les confusions. VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, volume 17. N°1. Ed. OpenEdition.

- **Cardot, C. (1999).** Les traitements de l'eau. *Procédés physico-chimiques et biologiques*. Ellipses Edition Marketing SA.
- **Cardot, C. (2010).** Les traitements de l'eau. *Procédés physico-chimiques et biologiques Cours et problèmes résolus*. Ellipses Edition.
- **Cauchi, H., Nakache, S. D., Zagury, B., Carré, C., Denis, D., Larbaigt, D., & Martigne, S. (1996).** Dossier: la réutilisation des eaux usées après épuration. *TSM*, 2, 81-118.
- **CEE Directive Européenne (1980).** N° 80-777 du 15 juillet 1980 relative au rapprochement des législations des états membres concernant l'exploitation et la mise dans le commerce des eaux minérales naturelles.
- **Centre d'expertise et d'analyse environnementale du Québec, (2005).** Méthode d'analyse : Recherche et dénombrement des entérocoques par filtration sur membrane MA700-ENT ; (10 REV 2).- 23p.
- **Champoux, A. & Toutant, C. (1988).** *Éléments d'hydrologie*. Éditions Le Griffon d'argile.
- **Chaouki, M. (2010).** Mémoire de magister. ETUDE DE PHENOMENE D'ENTARTRAGE ET DE CORROSION DES INSTALLATIONS DE REFROIDISSEMENT DANS LA WILAYA DE TEBESSA (CIMENTRIE D'ELMA LABIOD).
- **Chery, L. (2006).** Qualité Naturelle des Eaux Souterraines : Méthodes de Caractérisation des Etats de Référence des Aquifères Français. Edition BRGM, Orléans, France.
- **Collin, J.J. (2004).** Les eaux souterraines. *Connaissance et gestion*. Paris: Hermann.
- **Christieans, S. (2015).** Nouvelles technologies alternatives à la désinfection chimique: Intérêts, limites, avenir. In *Workshop EcoSec", Clermont-Ferrand (France)*.

« D »

- **Degrement, (2005).** Mémento technique de l'eau. Ed. Lavoisier-Tec et Doc, Paris, 785p.
- **Dellarras, C. (2003).** Surveillance Sanitaire et Microbiologique des Eaux : Réglementation, Prélèvement, Analyse P 103, 215, 97, 98.
- **Derrien, F., Geannot, F., & Roby, J. (2009).** Techniques du traitement de l'eau dans les bâtiments. 3^{ème} édition de Paris.

- **Desjardins, R. (1997).** Le traitement des eaux .2^{ème} Ed. Ecole polytechnique de Montréal, Canada, 304p.
- **Dovonou, E. F. (2008).** La pollution des plans d'eau au Benin. *Mémoire de DEA/Centre Inter-facultaire pour la Formation et la Recherche en Environnement et Développement (CIFRED)*, 67.
- **Durin, S. (1986).** L'eau Minérale de Volvic. Thèse de Doctorat en pharmacie Clérmont Ferrand.
- **Duguet, J. P., Bernazeau, F., Cleret, D., Gaid, A., Helmer, C., & Laplanche, A. (2006).** La réglementation et les traitements des eaux destinées à la consommation humaine. 1^{ère} Ed *Astee, Paris*.

« E »

- **ECCP. Environnement Canada, Conservation et Protection (1990).** Fiche d'information. N°1. L'eau-cette magicienne de la nature.
- **Emoto, M. (2001).** *Le message de l'eau*. Hado Kyoikusha.

« F »

- **FAO. (2004).** L'eau, l'agriculture l'alimentation. Une contribution au Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau.
- **Fartas, T., Boutaoutaou, D., & Zeggane, H. (2011).** Etude de l'évolution de l'entartrage dans les conduites de distribution d'eau de la vallée de l'oued R'HIR.
- **Fondation Nationale de la Santé, 2013.** MANUEL PRATIQUE D'ANALYSE DE L'EAU. 4^{ème} édition Brasilia.

« G »

- **Gani, F. (2001).** Analyse et traitement des eaux de Taksebt (T.O), mémoire de fin d'étude, diplôme d'ingénieure d'état en Agronomie.
- **Grosclaude, G. (1999).** L'eau, Tome I : milieu naturel et maitrise. Edition INRA, Paris.

« H »

- **Harrat, N. & Achour, S., (2010).** Pollution physico-chimique des eaux de barrage d'EL Tarf. Impact sur la chloration, Ed. Larhyss Journal, n°8, 47-54, 2010.

- **Haslay, C. & Leclerc, H., (1993).** Microbiologie des eaux d'alimentation. Ed. Tec et Doc .Lavoisier, Paris, 132p.
- **Hermia, J. (1982).** Constant pressure blocking filtration laws: application to power-law non-Newtonian fluids.
- **Hospitalier-Rivillon, J. & Poirier, R. (2008).** L'eau destinée à la consommation humaine. Ed. Elsevier Masson. Volume 69, Issue 3, Juillet 2008, P. 496-505.

« J »

- **Jaffrin, MY, Ding, LH, Couvreur, C., & Khari, P. (1997).** Effet de l'éthanol sur l'ultrafiltration de solutions d'albumine bovine avec des membranes organiques. *Journal of Membrane Science*, 124 (2), 233-241.
- **Jestin, E. (2006).** La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires. *AESN Rivières de Basse-Normandie-Agence de l'Eau Seine-Normandie Direction Territoriale et Maritime des Rivières de Basse-Normandie-Hérouville saint Clair*.
- **JORA (2011).** Décret exécutif n° 11-219, fixant les objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau des populations.
- **Jouzdani, BE & Reisi, M. (2020).** Effet des caractéristiques de l'eau magnétisée sur les propriétés fraîches et durcies du béton auto-compactant. *Construction and Building Materials*, 242, 118196.

« K »

- **Kahoul, M. & Touhami, M. (2014).** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba (Algérie). *Larhyss Journal*. ISSN 1112-3680, N°19, pp. 129-138.
- **Kettab, A. (1992).** Traitement des eaux : Les eaux potable. Ed. Office des Publications Universitaires.
- **Kettab, A. (2001).** Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision. *Desalination*, 136(1-3), 25-33.
- **Kobe, S., Dražić, G., McGuinness, PJ & Stražičar, J. (2001).** L'influence du champ magnétique sur la forme de cristallisation du carbonate de calcium et le test d'un dispositif de traitement magnétique de l'eau. *Journal du magnétisme et des matériaux magnétiques*, 236 (1-2), 71-76.

- **Kumar, MP.A. (2012).** A review of permissible limits of drinking water. *Indian Journal of occupation and environnemental mediaine* 16:40-44.

« L »

- **LEChevallier, M. W., & Au, K. K. (2004).** *Water treatment and pathogen control.* Iwa Publishing.
- **Lin, IJ., & Yotvat, J. (1990).** Exposition de l'eau d'irrigation et de l'eau potable à un champ magnétique avec une puissance et une direction contrôlées. *Journal du magnétisme et des matériaux magnétiques*, 83 (1-3), 525-526.
- **Lounnas, A. (2009).** Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-Kroma de Skikda, thèse de Magister, Université de Skikda.

« M »

- **Mabillot, A. (1986).** Le forage de l'eau : Guide pratique. Ed. Johnson. Filtration systémis. P 220, 225, 335, 340.
- **Maiga, A.S. (2005).** Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako : Evaluation saisonnière. Thèse de doctorat, Université de Bamako, Mali.
- **Maheshwari, BL & Grewal, HS (2009).** Traitement magnétique de l'eau d'irrigation: ses effets sur le rendement des cultures maraîchères et la productivité de l'eau. *Gestion de l'eau agricole* , 96 (8), 1229-1236.
- **Mallevalle, J., Odendaal, PE & Wiesner, MR (1996).** L'émergence des membranes dans le traitement des eaux et des eaux usées. *Traitement de l'eau Processus membranaires*, 1-1.
- **Marcil, É. (2003).** Étude pilote de nanofiltration de l'eau de la rivière Saint-Charles.
- **Marweni, H. (2015).** Effet de l'irrigation par l'eau magnétisée sur la tomate. Mémoire de fin d'étude.
- **Metahri, M. S. (2012).** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes : cas de la STEP Est de la ville TO, Thèse de doctorat, option génie des procédés, département d'agronomie, UMMTO, Algérie.
- **Metahri, M.S. (2013).** Cours traitement des eaux superficielles. Maitre assistant et charge de cours à UMMTO.

- **McCreery, A. (2003).** L'eau magnétique augmentant vos sources de pH-vie. *Inc. Info @ sources-vie. com.*
- **McGuire, MJ & Gaston, JM (1988).** Vue d'ensemble de la technologie de contrôle des arômes indésirables dans l'eau potable. *Science et technologie de l'eau*, 20 (8-9), 215-228.

« N »

- **Norme NF T90-415 (1986).** Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices et de *Clostridium sulfito-réducteurs*. Méthode générale par incorporation en gélose en tubes profonds.
- **NORMES EUROPEENNES. (1998).** Directives du conseil 98/ 83 / EC sur la qualité de l'eau.OMS, (1994).Directives de qualité pour l'eau de boisson,1, 9- 187.

« O »

- **Organisation Mondiale de la Santé (2008).** Directives de Qualité pour l'Eau de Boisson.
- **Oudahmane, T & Hamdi, F. (2003).** Elimination de la pollution azotée et phosphatée par un procédé mixte (Lit bactérien et bous activées) et traitement mixte (biologiques et physicochimiques).

« P »

- **Parsons, S.A & Jefferson, B. (2006).** *Introduction aux procédés de traitement de l'eau potable.* Édition Blackwell.
- **Project, H. (1999).** Major ions in water. New Delhi, India: World Bank & government of the Netherlands funded, 41 p.

« R »

- **Ramade, F. (1998).** Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau–Biogéochimie et écologie des eaux continentales et littorales. *French; "Encyclopedia of water sciences—Biogeochemistry and ecology of continental and litoral waters"*), Edisciences International, Paris.
- **Rejsek, F. (2002).** *Analyse des eaux: aspects réglementaires et techniques.* Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine.

- **Rodier, J. (2005).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mers 8ème édition. Editeur Dunod, Paris.
- **Rodier J., Legube B., & Merlet N., (2009).** L'analyse de l'eau .9ème Ed. Dunod, Paris ,1579p.
- **Riske, D. I. J., & Giesen, A. W. (2007).** AQUABION.

« S »

- **Salghi, R. (1997).** Différents filières de traitement des eaux. Edition ENSA, Agadir.
- **Samake, H. (2002).** 'Analyse physico-chimique et bactériologique au LNS des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001. *Mémoire de thèse de la faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie de l'Université de Bamako, Mali.*
- **Selim, MM (2008).** Application de technologies magnétiques à la correction des eaux souterraines saumâtres pour l'irrigation dans les écosystèmes arides et semi-arides. Dans *la 3e Conférence internationale sur les ressources en eau et les environnements arides* (pp. 1-11).
- **Si Abderrahmane, O. (2016).** *Contribution à l'évaluation du système management qualité et des paramètres physicochimiques, bactériologiques et organoleptiques des eaux des stations de traitement Taksebt et Boudouaou* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- **Suchitra, K., & Babu, E. A. (2011).** A pilot study on silt magnetized and non-magnetized water in the on-farm water use efficiency management. *Centre for Water Resources, Anna University, Chennai, India.*

« T »

- **Takatshinko, Y. (1997).** Hydromagnetic systems and their role in creating micro climate .International symposium on Sustainable Management of Salt Affected Soils, Cairo, Egupt,22-28.sept.
- **Tardat-Henry, M. (1984).** Chimie des eaux, 1ère Editions Le Griffon d'argile Inc.
- **Tardat-Henry, M., & Beaudry, J.P. (1992).** *Chimie des eaux.* Éditions Le Griffon d'argile.
- **Tuthill, RW., & Calabrese, EJ. (1979).** Niveaux élevés de sodium dans l'eau potable publique contribuant à une pression artérielle élevée dans la communauté. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 34 (4), 197-203.

« V »

- **Valentin, N. (2000).** Construction d'un capteur logiciel pour le contrôle automatique du procédé de coagulation en traitement d'eau potable. Thèse de doctorat, UTC/Lyonnaise des Eaux/CNRS, 2000.
- **Vilagines, R. (2003).** Eau, environnement et santé publique : introduction à l'hydrologie. 2^{ème} édition médical international, Paris.
- **Vilagines, R. (2010).** Eau, environnement et santé publique : introduction à l'hydrologie. 2^{ème} édition médical international, Paris.

« W »

- **Witgen, J. (2009).** Ressources en eau, Résumé du deuxième Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau, GreenFacts, rue des Palais 44, 1030 Bruxelles, Belgique.

Webographie

- **ANONYME 1 : Molécule de l'eau.**
<http://vaucanson.org/php5/Accueil/index.php/les-micro-ondes-contre-la-merule/559-quel-est-l-effet-des-micro-ondes-sur-l-eau> consulté le 29/01/2021.
- **ANONYME 2 : Cycle de l'eau.** <https://www.stgs.fr/cycle-eau/> consulté le 28/03/2020.
- **ANONYME 3 : Anses.fr :** Agence national de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, <https://www.anses.fr/fr> consulté le 06/12/2020.
- **ANONYME 4 :** Les procédés membranaires les plus couramment utilisés pour éliminer les microbes de l'eau potable.
- **ANONYME 5 : cwt-vulcan.com** <https://www.cwt-vulcan.com/fr/> consulté le 18/08/2020.
- **ANONYME 6 : Weatherford.com/clearwell**
<https://www.weatherford.com/clearwell> consulté le 02/01/2020 consulté le 18/08/2020.
- **ANONYME 7 : deltawater.net** <https://deltawater.net/> consulté le 22/08/2020.
- **ANONYME 8 : merus.fr** <https://www.merus.fr> consulté le 22/08/2020.

Résumé

Le présent travail a pour objet de faire via une recherche bibliographique un état des connaissances acquises à ce jour sur le traitement de l'eau destinée à différents usages, particulièrement l'eau potable destinée à la consommation humaine. La littérature scientifique montre que l'eau étant exposée à diverses pollutions nécessite un traitement afin de la rendre potable, voire de meilleure qualité. Les anciens procédés de traitements de l'eau présentent pour la plupart des inconvénients générant des coûts pour l'industriel. En revanche, les nouvelles technologies de traitement de l'eau, notamment le traitement par magnétisation apportent de nombreux avantages démontrés par de nombreuses recherches scientifiques. Dans cette recherche bibliographique, nous nous sommes focalisées sur la technologie de magnétisation de l'eau en discutant de son application dans les secteurs économiques. Nous avons examiné les travaux de recherche rapportés sur l'effet de la magnétisation sur l'eau potable et les réseaux de distribution, l'eau d'irrigation et l'eau destinée à la consommation animale. Les études consultées ont démontré que la magnétisation prévient l'entartrage des conduites de distribution d'eau potable et des canalisations industrielles, permet un bon développement des plantes, résout les problèmes liés à la salinité des sols et permet le développement des performances zootechniques des animaux d'élevage. Nous pouvons conclure que l'application de la magnétisation serait une bonne solution pour un meilleur développement économique.

Mots clés : eau potable, traitement, nouvelles technologies, magnétisation.

Abstract

The purpose of this work is to conduct a bibliographical search to determine the state of knowledge acquired to date on the treatment of water intended for different uses, particularly drinking water for human consumption. The scientific literature shows that water exposed to various types of pollution requires treatment in order to make it drinkable, or even of better quality. Most of the old water treatment processes have disadvantages that generate costs for industry. On the other hand, new water treatment technologies, particularly magnetization treatment, bring many advantages that have been demonstrated by numerous scientific research studies. In this literature review, we have focused on water magnetization technology by discussing its application in economic sectors. We reviewed the research reported on the effect of magnetization on drinking water and distribution networks, irrigation water and water for animal consumption. The studies consulted showed that magnetization prevents scaling of drinking water distribution pipes and industrial pipelines, allows good plant development, solves problems related to soil salinity and allows the development of zootechnical performance of livestock. We can conclude that the application of magnetization would be a good solution for a better economic development.

Key words: drinking water, treatment, new technologies, magnetization.

ملخص

الغرض من هذا العمل هو مراجعة المعرفة المكتسبة حتى الآن حول معالجة المياه المعدة للاستخدامات المختلفة ، لا سيما مياه الشرب المخصصة للاستهلاك البشري ، من خلال البحث الببليوغرافي. تشير الأدبيات العلمية إلى أن المياه ، عند تعرضها لأنواع مختلفة من التلوث ، تتطلب معالجة من أجل جعلها صالحة للشرب ، أو حتى بجودة أفضل. عمليات معالجة المياه القديمة لها في معظمها عيوب تولد تكاليف للشركة المصنعة. من ناحية أخرى ، توفر التقنيات الجديدة لمعالجة المياه ، ولا سيما المعالجة بالمغنطة ، العديد من المزايا التي أظهرتها العديد من الأبحاث العلمية. في هذا البحث الأدبي ، ركزنا على تقنية مغنطة المياه من خلال مناقشة تطبيقها في القطاعات الاقتصادية. راجعنا البحوث التي تم الإبلاغ عنها حول تأثير المغنطة على مياه الشرب وأنظمة التوزيع ومياه الري والمياه المخصصة للاستهلاك الحيواني. أظهرت الدراسات التي تم الرجوع إليها أن المغنطة تمنع انسداد أنابيب توزيع مياه الشرب والأنابيب الصناعية اثر تراكم كربونات الكالسيوم فيها ، وتسمح بالتنمية الجيدة للنباتات ، وتحل المشكلات المتعلقة بملوحة التربة ، وتسمح بتنمية أداء تربية الحيوانات في تربية الحيوانات. يمكننا أن نستنتج أن تطبيق المغنطة سيكون حلاً جيداً لتنمية اقتصادية أفضل.

الكلمات المفتاحية : مياه الشرب، المعالجة، التقنيات الجديدة، المغنطة.

Agzul

Iswi n ukheddim agi d ase3ed n tmussniwin I nes3a ar assa ghef tiddi n waman I nessexdam deg watas n yehrichen yemgaraden di toudert nnegh n yal ass,ladgha aman n tissit n wemdan.Tassekla tussnant tesken –d d akken asafar n waman I yetthaz atas useldegh ilaq -as tiddi akkan ad youghal yesleh I tissit n wemdan.

Tiddiyin tiqdimin n waman s3ant ddeqs n yi3ewwiqen I yessentarrayen tadamsa.Tiddiyin timaynutin n waman am tiddi tasedkert s3ant atas n ibaghuren id sseknen ddeqs n inadiyen ussnanen deg wehrich agi.Deg unadi agi nerra-d lwelha gher tusnamka tasedkert n waman ,s usqerdech n usexdem –ines deg yehrichen n tdamsa.Nwala inadiyen id-yewwin ghef ussemdu n usedker ghef waman n tissit n wemdan d iteyyouten I deg yett3eddi,ghef waman n tissit n yimghan di tfellaht d waman n tissit n yighersiwen n ttrevga.

Inadiyen I neghra vegnen-d d akken asedker yettekk-d mgal abuchi n iteyyouten yettawin aman n tissit,yett3awan di tgemmi n yemghan akken iwata,iferrou uguren ichudden gher temregh n wakal ,yerna yettmouddou sehha d tgemmi igerzen I tfekka n ighersiwen n ttrevga. Nezmer ad-d nini gher taggara d akken asexdem n usedker yezmer ad yili d tifat igerzen I tgemmi n tdamsa.

Awalen n ousentel: tiddi, aman n tissit, tiddiyin timaynutin, asedker.