

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU



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



mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER
En sciences biologiques

Spécialité : Protection de l'Environnement

Thème :

Effet de l'irradiation gamma sur la charge
polluante de l'effluent urbain
« STEP EST de TIZI-OUZOU »

Rédigé par :

M^{elle} HASSAINE Imene

AMOUCHAS Karima

Soutenu devant le jury d'examen composé de :

Président:	M ^{me} SADOUDI	professeur à l'U.M.M.T.O
Promoteur interne :	Mr METAHRI. Med-S	Maitre de conférences à l'U.M.M.T.O
Promoteur externe :	M ^{me} KEBBI Malika	Chercheur assistant au CRNA
Examineurs:	Mr ASLA	Maitre assistant à l'U.M.M.T.O
	Mr YAKOUB	Maitre de conférences à l'U.M.M.T.O

Promotion : 2014/2015

Remerciements

Ce travail a été réalisé au Centre de Recherche Nucléaire d'Alger

Notre gratitude s'adresse à :

Mr LOUELHI Smaïl pour son encadrement, son orientation, ses conseils et la disponibilité qu'il nous a témoignée pour nous permettre de mener à bien ce travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements à :

Mr METAHTRI Mohammed Saïd, de nous avoir assisté le long de la réalisation de ce travail, qu'il trouve ici nos sincères gratitudes et nos profondes reconnaissances pour tous les efforts qu'il a déployés dans ce sujet.

Nous tenons aussi à adresser nos Remerciements à :

Notre dévouée Co-promotrice M^{me} KEBBI Malika qui nous a assisté tout au long de ce parcours ça sera pas suffisant pour lui exprimer toute notre grande reconnaissance pour le grand soutien et disponibilité qu'elle nous a accordés pour faire avancer ce travail, soit au niveau scientifique ou matériel.

Ne nous pourrions oublier de remercier chaleureusement:

M^{me} YAKOUBI de nous avoir assisté lors de la réalisation des analyses microbiologiques et Mr YESFSAH responsable de la partie irradiation, ils ont fait preuve à la fois d'une grande patience, gentillesse, et d'un esprit responsable, critique et rigoureux.

Sans oublier aussi toute l'équipe du département des Application Industrielles au CRNA.

Nous adressons nos sincères remerciements à M^{me} Sadoudi d'avoir accepté de faire l'honneur de présider le jury de notre soutenance ainsi qu'à Mr ASLA et Mr YAKOUB, d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

On tient aussi à remercier toute l'équipe de la station d'épuration de TIZI-OUZOU.

Nous remercions également le Laboratoire SEAL d'Alger et l'ONA de BOUMERDES de nous avoir ouvert leurs portes.

En fin un grand merci à l'ensemble de nos enseignants, tout le personnel de la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'université de Mouloud Mammeri de nous avoir permis d'acquérir notre savoir et nos expériences .

Dédicaces

À mes très chers parents

À mes frères

À Toute ma famille

*La réalisation de ce travail n'aurait pas été possible sans votre
soutien, moral, et affectif*

Je vous dédie cette thèse en guise de reconnaissance.

*Je remercie mes amies Karima, Lynda et Hassina pour toutes
années passées ensemble, pour votre amitié, votre soutien vous
aurez toujours une place dans mon cœur.*

*En fin, à toute la promotion de Protection de L'Environnement
2014-2015*

Imene, H



Je dédie ce travail à ...

A ma très chère mère Ouiza .Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi lesymbole de la bonté par excellence, la source de tendresse. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secoursPour mener à bien mes études. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour ses enfants .Puisse Dieu, le tout puissant, te préserve et t'accorde santé, longue vie et bonheur.

A mon très cher Père Abdenour .Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour,l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eupour vous.Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour etnuit pour mon éducation et mon bien être.Ce travail est le fruit de vos sacrificesconsentis pour mon éducation et ma formation.

À ma très chère sœur Katiaen témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pourtoi ,à mes frères Hamid, Yacine, Karim, Lyes , mes oncles Merzek, Farid,Rachid mes tentes Fazia , Aldjia et leurs enfants .

Mes grands mère Aldjia et Fetta.

A la mémoire de mon grand Père Said.

A CINO, HASSAINE Imene, KHIRECHE Lynda et LOUAHCHI Hassina . En témoignage de l'amitié et de l'amour qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et debonheur.

*A tous les membres de ma famille, petits et grands
Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon
Affection.*

En fin, à toute la promotion de protection de l'environnement 2014-2015

Karima. A

Liste des tableaux

Tableau I.2.1. Les différents ouvrages de traitement.....	30
Tableau I.2.2. Caractéristique technique de la station d'épuration.....	33
Tableau II.2.1. Récapitulatif des résultats des analyses microbiologiques des eaux usées de la STEP de Tizi-Ouzou avant et après irradiation.....	61
Tableau A.1. Volume nécessaire pour la préparation des dilutions.....	ANNEXE
Tableau A.2. Résultats de la lecture de l'absorbance en fonction de la concentration de l'acide humique synthétique.....	ANNEXE
Tableau A.3. Résultats de lecture de l'absorbance en fonction de la dose d'irradiation.....	ANNEXE
Tableau A.4. Volumes à utiliser pour la détermination de la DBO ₅	ANNEXE
Tableau A.5. Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau brute, eau sortie digesteur et l'eau épurée.....	ANNEXE
Tableau A.6. Doses d'irradiation en fonction du débit dose et du temps d'irradiation.....	ANNEXE
Tableau A.7. Les valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (Journal Officiel de la République Algérienne,2006).....	ANNEXE
Tableau A.8. Normes physico-chimiques de rejets de l'OMS (1989).....	ANNEXE
Tableau A.9. Normes extrêmes limitées aux eaux d'irrigation.....	ANNEXE
Tableau A.10. Table de Mac-Grady.....	ANNEXE
Tableau A.11. Normes bactériologiques appliquées dans certains pays et préconisées par des organisations.....	ANNEXE

Liste des Figures

Figure II.1.1. Schéma de désintégration du Cobalt 60.....	20
Figure II.1.2. Formation d'espèces radicalaires libres dans l'eau au moyen du rayonnement ionisant gamma.....	22
Figure I.2.1. Vue satellitaire de la STEP EST deTIZI-Ouzou.....	29
Figure I.2.2. Schéma synoptique de la STEP Est.....	32
Figure I.2.3. Dégrilleur.....	33
Figure I.2.4. Dessableur-Dégraisseur.....	34
Figure I.2.5. Bassin d'aération.....	34
Figure I.2.6. Clarificateur.	35
Figure I.2.7. Schéma d'une coupe transversale de l'Irradiateur pilote du CRNA.....	36
Figure I.2.8. Courbe de balayage des longueurs d'onde de l'absorption de l'acide humique synthétique.....	38
Figure I.2.9. Courbe d'étalonnage de l'acide humique.....	39
Figure I.2.10. L'influence de l'irradiation gamma sur la concentration de l'acide humique synthétique.....	40
Figure II.2.1. Variation du pH de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.....	45
Figure II.2.2. Variation de la Température de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.....	46
Figure II.2.3. Variation de la conductivité électrique de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.....	47
Figure II.2.4. Variations des Matières En Suspension de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.....	49
Figure II.2.5. Variations de la turbidité de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.....	50
Figure II.2.6. Variations de la DBO ₅ de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.....	51
Figure II.2.7. Variations de la DCO de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.....	53
Figure II.2.8. Variations du NH ₄ ⁺ de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.....	54
Figure II.2.9. Variations du NO ₂ ⁻ de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.....	55

Figure II.2.10. Variations du NO_3^- de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.....	56
Figure II.2.11. Variations du PO_4^{3-} de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.....	58
Figure II.2.10. Evaluation de la concentration du Fer avant et après irradiation de l'eau brute, eau sortie digesteur et l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU.....	62
Figure II.2.11. Evaluation de la concentration du Zinc avant et après irradiation de l'eau brute, eau sortie digesteur et l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU.....	63
Figure II.2.12. Evaluation de la concentration du Manganèse avant et après irradiation de l'eau brute, eau sortie digesteur et l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU.....	63
Figure A.1. Préparation des dilutions de 10^{-1} à 10^{-4}	ANNEXE
Figure A.2. Identification des coliformes thermo-tolérants et des <i>Escherichia coli</i>	ANNEXE
Figure A.3. Shéma de l'irradiateur pilote du CRNA.....	ANNEXE

Liste des abréviations

γ	: Gamma
CE	: Conductivité Electrique
CF	: Coliforme Fécaux
Ci	: Curie
CT	: Coliforme Totaux
DBO ₅	: Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours
DCO	: Demande Chimique en Oxygène
EH	: Equivalent Habitant
EB	: Eau brute
EE	: Eau épurée
ESD	: Eau sortie digesteur
ERI	: Eau résiduaire industrielle
ETM	: Elément Traces Métalliques
FAO	: Food and agriculture Organization
ISO	: Norme international
kGy	: Kilo Gray
MES	: Matières En Suspension
MEV	: Méga électron volte
MVS	: Matières volatiles en suspension
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
NTK	: Azote Total Kjeldahl
ONA	: Office National d'Assainissement
pH	: potentiel Hydrogène
REUE	: Réutilisation des eaux usées épurées
STEP	: Station d'Epuration
UV	: Ultra Violet
$\mu\text{S}/\text{cm}$	: Micro siemens/centimètre

Introduction générale et problématique

Introduction générale :

L'eau douce renouvelable est une ressource indispensable à la vie. Elle mérite une attention toute particulière, Nous aimerions croire que l'eau est infiniment abondante sur cette planète. Ce n'est pas le cas, grâce aux données publiées par l'UNESCO, près de 70 % de sa surface est recouverte d'eau. Or, seule une infime partie de cette eau peut servir à la consommation, puisque 97 % des réserves d'eau de la planète sont salines et donc impropres à la consommation. On ne compte donc que 3 % d'eau douce, répartie dans les calottes glaciaires, les nappes phréatiques, les bassins souterrains, les marais, les lacs et les rivières. Encore là, la très forte majorité de celle-ci est difficilement accessible pour la consommation (Anctil,2008).

La pénurie de l'eau dans le monde, et la gestion des ressources en eau constituent l'un des problèmes les plus cruciaux du 21ème siècle. Les changements climatiques et la sécheresse qui sévissent depuis plusieurs décennies dans différentes régions du monde, ont touché particulièrement les pays d'Afrique du Nord, d'Afrique Subsaharienne, et ont eu un Impact négatif sur les ressources en eau de ces pays. Cette sécheresse, qui risque de s'accroître durant les siècles à venir, pourrait entraîner dans ces pays une véritable crise de L'eau.

L'Algérie est située dans une zone à climat semi-aride. Elle dispose d'un potentiel hydrique limité ne pouvant faire face à la demande d'eau de bonne qualité. L'accroissement de la population et de son urbanisation ainsi que le développement des activités économiques, lié à l'augmentation du niveau de vie, exercent une pression de plus en plus importante sur les ressources en eau. D'un autre côté, les eaux consommées dans les zones urbaines et par les différentes activités économiques sont rejetées sous forme d'eaux usées qui contribuent à la Dégradation de la qualité des eaux naturelles (Taibi, 2011).

L'épuration des eaux usées s'est donc imposée pour préserver la qualité des milieux naturels et notamment les eaux de surface et souterraines. L'eau épurée est actuellement en majorité rejetée. La généralisation de la réutilisation de ces eaux peut donc contribuer à combler en partie le déficit d'eau.

Ainsi, pour satisfaire les besoins globaux en eau de la population et afin de préserver les eaux de bonne qualité pour les vocations nobles à savoir l'alimentation en eau potable dans ce contexte, le recours aux eaux non conventionnelles épurées et traitées devient une

Introduction générale et problématique

alternative incontournable et fait partie intégrante de la stratégie actuelle de mobilisation de toutes les ressources disponibles.

L'eau usée traitée récoltée à l'aval des stations d'épurations représente une eau renouvelable de bonne qualité physico-chimique souvent conforme à une réutilisation agricole mais il n'en est pas de même pour la qualité microbiologique.

L'introduction d'une étape de désinfection préalablement à la réutilisation des eaux usées épurées s'impose (Shaib, 1998).

La désinfection des effluents est considérée comme le principal mécanisme pour l'inactivation / destruction des micro-organismes pathogènes pour prévenir la propagation de maladies d'origines hydriques ; un grand nombre de technologies de désinfection des effluents existent actuellement (EPA, 1999) quatre techniques se distinguent ; la chloration, l'irradiation par lampes UV, l'ozonation et la filtration (Clifford *et al.* , 2012).

Alors que le succès de la désinfection au chlore au cours du dernier siècle ne peut être nié, il est à craindre que la détection de chlore cancérigène comme sous-produits de désinfection a stimulé une enquête de technologies alternatives (Dieterich, 1997).

Bien que l'ozone est plus efficace que le chlore comme désinfectant en éliminant plus de micro-organismes nuisibles dans l'effluent, l'ozone peut être un peu plus difficile à travailler en raison de sa nature corrosive et sa nécessité en équipement spécial.

Par ailleurs l'efficacité de la technique de l'irradiation par lampes UV est conditionnée non seulement par une très faible turbidité et matières en suspensions mais également par une précision de dosage afin d'éviter la réactivation des micro-organismes (EPA ,1999).

En outre les technologies membranaires sont applicables, mais il reste encore beaucoup de recherches qui doivent être réalisées de façon à traiter les problèmes d'entretien et de nettoyage des membranes, en raison que certains systèmes ne peuvent pas utiliser un processus de lavage, nécessitant un remplacement plus fréquent des membranes (Clifford *et al.* , 2012).

Dans le souci de la protection de l'environnement et de la santé publique, le pays ne cesse d'accroître ses efforts et s'engage dans le développement d'autres technologies plus récentes et prometteuses qui sont actuellement dans différentes phases de recherche comprennent la technique de l'irradiation par rayonnements gamma.

Introduction générale et problématique

Le présent travail a pour objectif principal la réduction de la charge polluante organique véhiculée par les eaux usées de la STEP de Tizi-Ouzou par la mise en œuvre d'une technique nucléaire comme traitement complémentaire aux traitements conventionnels appliqués dans la station.

En effet, le rayonnement gamma s'avère être une technique efficace pour la dégradation de la matière organique, l'inactivation des micro-organismes pathogène, ainsi que la réduction des métaux lourds.

Ce travail comporte deux parties distinctes ;

Une partie bibliographique est scindée essentiellement en deux chapitres, le premier traite des généralités sur les eaux usées ainsi que les différents procédés d'épuration, le deuxième porte sur la problématique du thème ; il s'agit d'une synthèse de connaissances sur la technique d'irradiation utilisant le rayonnement gamma.

La partie expérimentale comporte trois chapitres : Le premier chapitre porte sur la présentation générale de la STEP de Tizi-Ouzou et du procédé d'épuration adopté. Le second chapitre comporte une étude préliminaire à l'échelle de laboratoire sur l'influence de l'irradiation gamma sur les eaux chargées par la matière organique synthétique (acide humique). Le dernier chapitre vise la caractérisation et la quantification de la charge polluante de l'effluent de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation au niveau de trois points de prélèvement : eau brute, sortie bassin biologique et l'eau épurée.

Et enfin, nous terminons par une conclusion générale qui rassemble les principaux résultats obtenus et une perspective des travaux futurs.

L'Algérie compte un volume annuel de près de 1, 2 milliards de m³ d'eaux usées rejetées, par les populations sur les terrains vagues ou tout simplement dans les milieux aquatiques (lacs, rivières, mers, ect...) utilisés comme exutoires naturels (Ait Amara, 2013). Mis en contact direct avec le milieu récepteur, les eaux usées brutes engendrent des effets néfastes notamment : une nuisance liée à la stagnation de ces eaux (aspect esthétique) et au dégagement d'odeurs nauséabondes ; une perturbation de l'équilibre écologique du milieu naturel, surtout par la pollution des eaux de surface et des nappes phréatiques et un risque sanitaire par contamination microbiologique ou parasitaire.

Pour atténuer ces impacts négatifs des eaux usées brutes sur l'environnement et sur la santé publique, il est nécessaire de mettre en place des techniques d'épuration des eaux résiduaires avant leur rejet.

I.1. Caractéristiques des eaux usées :

I.1.1. Définition d'une eau usée :

Ramande en l'an 2000 a défini les eaux usées comme étant des eaux ayant été utilisées pour des usages domestiques, industriels ou même agricole, constituant donc un effluent pollué et qui est rejeté dans un émissaire d'égout. Les eaux usées sont chargées de matières polluantes, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine (Rejsek , 2002) . Du fait de cette charge polluante, il est donc important d'épurer ces eaux, au niveau des stations d'épuration, avant de les rejeter dans l'environnement. Car le rejet peut avoir des conséquences néfastes sur le milieu récepteur, sur les organismes vivants qu'il héberge, mais également sur l'homme.

I.1.2. Origines des eaux usées :

Les eaux usées, appelées aussi eaux résiduaires qui arrivent à la station d'épuration sont un mélange de plusieurs types d'eaux (Resjek, 2002).

I.1.2.1.Eaux usées domestiques :

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau ,elles se composent d'une part des rejets provenant des salles de bain et des cuisines chargés en détergents, graisses, solvants et débris organiques et d'autre part des eaux issues des toilettes et chargées de matières organiques azotées et de germes fécaux. On les appelle respectivement eaux grises et eaux brunes ou de vannes (Lagardette, 2004).

I.1.2.2.Eaux usées industrielles :

Les eaux résiduaires industrielles ou professionnelles sont les déchets liquides obtenus lors de l'extraction et de la transformation de matières premières en produits industriels, ainsi que lors de l'utilisation de ces produits pour la fabrication d'articles de consommation (Meinck,1977) , elles sont extrêmement variées selon le genre d'industrie d'où elles proviennent, elles contiennent les substances les plus diverses pouvant être acides ou alcalines corrosives, à température élevée, souvent odorantes et colorées (Gomelia,1978).

I.1.2.3.Eaux de ruissèlement :

Elles comprennent les eaux de pluie, les eaux de lavage urbaines et les eaux de drainage et constituent une base de pollution importante. En effet l'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles) puis en ruisselant de résidus déposés sur les toits et les chaussées de villes (huiles de vidanges, carburant, résidus de pneus, métaux lourds (Desjardins, 1997).

I.1.3.Définition de l'équivalent habitant :

Pour quantifier globalement les matières polluantes contenues dans les eaux usées domestiques, on utilise comme unité de mesure l'équivalent-habitant (EH) (Lagardette, 2004). L'équivalent habitant (EH) correspond à la quantité de pollution rejetée par habitant par jour (Gaïd ,1993).

I.1.4.Paramètres de pollution de l'eau :

La composition des eaux résiduaires urbaines brutes est variable et dépend essentiellement de l'activité humaine (eaux ménagères et eaux de vannes), de la composition des eaux d'alimentation en eau potable et accessoirement de la nature des matériaux entrant dans la constitution des canalisations d'eau. Pour les composés chimiques éventuels, elle dépend aussi de la nature et de la quantité des effluents industriels rejetés dans le réseau urbain (Faby ,1997).

Les eaux usées urbaines contiennent des matières solides, des substances dissoutes et des microorganismes : bactéries, protozoaires, virus et helminthes. Ce sont des milieux extrêmement complexes, aussi se réfère-t-on à quelques paramètres pour les caractériser. Ils sont généralement exprimés en mg/l.

I.1.4.1. Paramètres physiques :

I.1.4.1.1. Température (T) :

La température des eaux est fortement influencée par les conditions environnementales liées à la position géographique de la localité, à la géologie des terrains traversés, à l'hydrologie et surtout au climat. 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 pour la détermination du pH (Rodier *et al.*, 2005).

La température agit aussi comme facteur physiologique sur le métabolisme de croissance de microorganismes vivants dans l'eau (Mekhalif, 2009).

I.1.4.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH (potentiel hydrogène) est une des caractéristiques fondamentale de l'eau. Le pH donne une indication de l'acidité d'une substance. Il est déterminé à partir de la concentration d'ions d'hydrogène hydronium H^+ ou d'ions hydroxyde OH^- contenus dans la substance. Quand les concentrations de ces deux ions sont égales, l'eau (ou la substance) est considérée comme neutre et le pH a une valeur aux alentours de 7. Le pH d'une substance varie entre 0 et 14. Au-dessus de 7 la substance est considérée comme basique et la quantité d'ions OH^- est supérieure à celle d'ions H^+ . Au-dessous de 7 la substance est acide ; les ions H^+ sont en quantités supérieures (OMS, 2007).

Dans le cas d'une station d'épuration des eaux usées, une eau acide aura tendance à corroder ou à user l'équipement alors qu'une eau alcaline occasionnera des dépôts de tartre dans les conduites (Tamrabet, 2011).

I.1.4.1.3. Couleur :

La couleur de l'eau peut être causée par la présence de minéraux naturels comme le fer et manganèse mais aussi à la présence de plancton, d'herbage et de composés organiques comme les substances humiques et les poly-phénols (lignines). Les effluents industriels et des eaux de ruissellement des terres agricoles peuvent aussi teinter l'eau. L'eau usée domestique est de couleur grisâtre, elle peut être dans certains cas noire, à cause de la décomposition

partielle. Par contre l'eau usée industrielle peut être incolore, comme elle peut avoir plusieurs couleurs à cause du déversement de colorants industriels.

I.1.4.1.4.Odeur :

Les eaux usées chargées en matières organiques particulières et dissoutes, en composés azotés et phosphorés, peuvent dégager des odeurs désagréables, les principaux composés odorants rencontrés dans les stations d'épuration font partie essentiellement des familles des produits soufrés et azotés, ainsi que des composés organiques tels les acides gras volatils (Gaid, 1993).

I.1.4.1.5 .Conductivité Electrique (CE) :

La conductivité (CE) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs par contre les composés organiques sont de mauvais conducteurs (Villers,2005).Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau).

La conductivité s'exprime en micro siemens par centimètre, la mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (Rejsek, 2002).

I.1.4.1.6.Turbidité :

Une eau turbide est une eau trouble. Cette caractéristique vient de la teneur de l'eau en particules en suspension, associées au transport de l'eau. Au cours de ce parcours, l'eau se charge de quantités énormes de particules qui troublent l'eau. Les matières mêlées à l'eau sont de natures très diverses : matières d'origine minérale (argile, limon, sable...), micro particules, micro organismes.

La turbidité joue un rôle très important dans les traitements d'eau elle indique une probabilité plus importante de la présence d'éléments pathogènes. La matière organique associée à la turbidité favorise la formation de biofilms dans le réseau d'assainissement (OMS, 2007). En général la turbidité des effluents résiduels et des eaux polluées est très élevée (Rodier *et al* ., 2009).

I.1.4.1.7. Matières En Suspension (MES):

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau et qui ne sont pas à l'état colloïdal. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension et les micro-organismes de l'eau.

Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière dans les écosystèmes aquatiques et par suite, la photosynthèse. Elles peuvent également gêner la respiration des poissons. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...). Les matières en suspensions sont exprimées en mg/l par la relation suivante (Villers, 2005):

$$\text{MES} = 30(\%) \text{ MMS} + 70(\%) \text{ MVS (Duguet et al ., 2006).}$$

MMS : Matière minérale sèche.

MVS : Matière volatile sèche.

I.1.4.2. Paramètres chimiques :

I.1.4.2.1. Demande chimique en oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour dégrader la matière organique contenue dans les eaux biodégradables ou non biodégradables, ainsi que toutes les matières oxydables existantes dans l'eau dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure de la DCO correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quelque soit leur origine organique ou minérale (Rodier *et al .*, 2005).

La DCO permet donc d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale. Ainsi, par la mesure de la DCO, on pourra évaluer la charge polluante d'une eau usée en matières organiques avant et après un traitement physique, chimique ou biologique afin de contrôler le fonctionnement d'une STEP et l'activité des micro-organismes (OMS, 2007).

I.1.4.2.2.Demande biologique en oxygène (DBO₅) :

La Demande biologique en oxygène (DBO) est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour assimiler la pollution biodégradable sur une période définie.

En effet, Il a été déterminé qu'une période de 5 jours correspondait à l'assimilation de la pollution biodégradable carbonée (oxydation), et qu'ensuite les micro-organismes assimilaient la pollution biodégradable azotée (nitrification) (OIE, 2005) ; la DBO est mesurée à 20°C au bout de Cinq jours, en abrégé DBO₅ elle est exprimée en gramme d'oxygène consommé par mètre cube d'eau (Valiron, 1984).

La détermination de la demande biologique en oxygène est une façon indirecte d'évaluer la quantité de matières biodégradables essentiellement organiques contenues dans l'eau. Ces substances biodégradables ont les mêmes sources que les matières organiques : métabolisme des organismes vivants, activité humaine, lessivage des sols, ... L'effet principal des matières biodégradables sur le milieu récepteur est l'appauvrissement en oxygène dissous de ce milieu qui résulte de leur dégradation (OIE, 2005).

I.1.4.2.3.Notion de biodégradabilité :

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux (Metahri, 2012).

Le rapport entre la DBO₅ et la DCO peut donner une idée sur la biodégradabilité de l'effluent .La DBO₅ représente la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon et qui se sont dégradées en 5 jours. Si l'on poursuit la biodégradation pendant une période plus longue (une vingtaine de jours pour une eau résiduaire urbaine), on aboutit à un palier, qui correspond à la DBO ultime.

Si toutes les matières organiques de l'échantillon étaient biodégradables on devrait avoir :DBO ultime = DCO c'est par exemple ce qui est constaté sur une molécule simple facilement biodégradable(le glucose) dont la DBO ultime équivaut à la valeur mesurée de la DCO.

De nombreuses molécules organiques présentes dans les eaux résiduaires ne sont pas biodégradables ou le sont difficilement on observe dans ce cas :

DCO > DBO ultime Sachant que la DBO mesurée au bout de 5 jours (DBO₅) ne représente qu'une partie de la DBO totale (ou DBO ultime), l'utilisation du rapport DCO/DBO ou plus exactement du rapport DCO/DBO₅ (pour rester sur les paramètres mesurés) permet donc de se faire une idée réaliste sur la biodégradabilité d'un effluent.

Dans le cas d'une eau résiduaire urbaine qui contient une majorité de composés organiques biodégradables, on considère que la DBO ultime représente environ 80 à 90 % de la DCO et le rapport DCO/DBO₅ est généralement compris entre 1,5 et 2,5.

Pour les effluents industriels, qui peuvent contenir une fraction notable de composés non biodégradables, on pourra considérer selon le rapport DCO/DBO₅ que l'aptitude à la biodégradation est plus ou moins favorable à un traitement biologique, les règles suivantes étant généralement retenues:

- DCO/DBO₅ < 3, effluent facilement biodégradable.
- 3 < DCO/DBO₅ < 5, effluent moyennement biodégradable.
- DCO/DBO₅ > 5, effluent difficilement biodégradable, voire non biodégradable Cet indice de biodégradabilité (DCO/DBO₅) s'avère également très utile pour le suivi de l'efficacité de traitements biologiques, le rapport augmentant d'autant plus que le traitement biologique est plus poussé (Rodier *et al.*, 2009).

I.1.4.2.4.Nutriments :

A- L'azote :

L'azote présent dans les eaux résiduaires provient principalement des d'éjections humaines. Les urines contribuant largement à cet apport essentiellement sous forme d'urée, d'acides uriques et ammoniacs. Par ailleurs les eaux de cuisine véhiculent des protéines comportant des acides aminés, et certains agents de surface (assouplissant,...) qui incluent dans leur molécules des radicaux azotés (Deronzier, 2001).

➤ Les formes de l'azote :

L'azote présent dans l'eau se trouve sous deux formes : minérale et organique.

- L'azote minéral est principalement sous forme d'azote moléculaire (N₂), d'ions ammonium (NH₄⁺), d'ions nitrite (NO₂⁻), et d'ions nitrate (NO₃⁻).

- Nitrites (NO_2^-) :

Les ions nitrites (NO_2^-) sont un stade intermédiaire entre l'ammonium (NH_4^+) et les ions nitrates (NO_3^-). Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites. Cette opération, qui nécessite une forte consommation d'oxygène, est la nitratation. Les nitrites proviennent de la réduction bactérienne des nitrates, appelée dénitrification. Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations.

- Nitrates (NO_3^-) :

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitratâtes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates (Rodier *et al.*, 2009).

- Azote total :

Comprend l'azote organique, l'ammoniaque, les nitrites et nitrates. Ces deux dernières représentent les formes les plus oxygénées de l'azote, elles sont le résultat de la nitrification. On l'appelle aussi azote global.

B - Le phosphore :

Comme l'azote le phosphore se présente sous deux formes : minérale et organique. Le phosphore minéral est présent principalement sous formes d'ortho phosphate (PO_4^{3-}), de phosphores, de diverses combinaisons minérales comme le triphosphate de sodium, le pyrophosphate tétrasodique et l'héxametaphosphate de sodium (Gaid, 1984).

Soit sous forme organique de groupements phosphate liés aux molécules organiques (phospholipides, phosphoprotéines, nucléotides et dérivés...) ; Le rejet de phosphore dans le milieu récepteur est une cause essentielle de son eutrophisation car ce phosphore est un facteur limitant de la croissance végétale responsable de ce phénomène (Resjek, 2002).

I.1.4.2.5.Métaux lourds :

Les métaux lourds ou éléments à traces sont des éléments ayant une densité supérieure à $4,6 \text{ g/m}^3$ ils sont en concentration dans les êtres vivants à moins de 1‰, certains sont essentiels à la vie, ce sont les oligo-éléments (Le Clech, 1998).

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus abondants (de l'ordre de quelques $\mu\text{g/l}$) sont le fer, le zinc, le cuivre et le

plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces (Djeddi, 2006).

Ils proviennent de différentes sources qui contribuent plus ou moins à enrichir les eaux en micropolluants. Les différentes sources par ordre croissant de contribution sont : la sédimentation dans les tuyaux qui conduisent les eaux usées et les eaux de pluie, les dépôts atmosphériques, les eaux de ruissellement, la circulation routière, les produits chimiques introduits dans les stations de traitement, les bâtiments, les eaux domestiques, les eaux industrielles et en fin le reste est inconnu (Jalby, 2007).

I.1.4.3. Paramètres biologiques :

Les eaux résiduaires urbaines transportent de nombreux micro-organismes dont certains sont pathogènes qui sont par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Ils ont des effets divers sur la santé (Vandermeersch, 2006).

I.1.4.3.1. Virus :

Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte. Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries.

Ils sont présents soit intentionnellement (après une vaccination contre la poliomyélite, par exemple), soit chez un individu infecté accidentellement. L'infection se produit par l'ingestion dans la majorité des cas, sauf pour le Coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation (CSHPF, 1995).

On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous estimation de leur nombre réel (Asano, 1998).

I.1.4.3.2. Bactéries :

Les bactéries sont couramment recherchées dans l'eau, principalement comme témoins de contamination fécale ; L'OMS (1979) a choisi plusieurs témoins répondant à certaines exigences ; il s'agit des *coliformes*, des *streptocoques fécaux du groupe D de LANCFIELD*, et parfois les *Clostridium perfringens*.

- Les coliformes totaux (CT) :

Les coliformes sont des bâtonnets, anaérobies facultatifs, gram (-) non sporulants permettant l'hydrolyse du lactose à 35°C (OMS, 1979). Les coliformes regroupent les genres *Escherichia*, *Citrobacter*, *Entérobacter*, *Klébsiella*, *Yersinia*, *Serratia* ; La recherche et le dénombrement de l'ensemble des coliformes (coliformes totaux), sans préjuger de leur appartenance taxonomique et de leur origine, est capital pour la vérification de l'efficacité d'un traitement désinfectant et d'un intérêt nuancé pour déceler une contamination d'origine fécale (Rodier *et al.*, 1996).

- Les coliformes fécaux (CF) :

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermotolérants, sont un sous groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44°C. Ce sont des bâtonnets Gram (-), aérobies et facultativement anaérobies ; non sporulants, on les désigne souvent sous le nom d'*Escherichia Coli* bien que le groupe comporte plusieurs souches différentes (*Citrobacter freundii*, *Entérobacter aérogènes*, *Klebsiella pneumoniae* ...etc) (OMS, 1979).

I.1.4.3.3. Protozoaires :

Les protozoaires constituent un groupe très hétérogène d'organisme eucaryote. Ils ne sont pas photosynthétiques, ce sont des organismes unicellulaires et mobiles, la plupart des pathogènes sont des organismes parasites. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance appelée kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées (Baumont *et al.*, 2004).

I.1.4.3.4. Helminthes :

Les helminthes sont des vers multicellulaires plats (plathelminthes) ou ronds (némathelminthes). Ce sont majoritairement des organismes parasites. Ce sont, pour la plupart des vers intestinaux, souvent rejetés avec les matières fécales sous forme d'œufs très résistants . la contamination se fait par ingestion ou par voie transcutanée (par fixation puis pénétration des larves à travers la peau (Vandermeersch, 2006).

I.2. procédés d'épuration :

I.2.1. Notion d'épuration :

L'épuration des eaux usées consiste à décanter les éléments polluants particuliers et à extraire les éléments dissous qui sont transformés en matières sédimentables suite à un traitement approprié. Ainsi, à la sortie de la station il en résulte d'une part une eau épurée destinée à la réutilisation dans différents domaines ou rejetée dans le milieu naturel, et d'autre part, il reste des sous-produits désignés sous le terme des boues résiduelles (Amir, 2005).

I.2.2. Procédés d'épuration :

Les eaux usées sont acheminées vers la station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement. L'objectif est de diminuer suffisamment la quantité de substances polluantes qu'elles contiennent pour que l'eau finalement rejetée dans le milieu naturel ne le dégrade pas. Le nettoyage des eaux usées obéit à une logique de préservation des ressources en eau et de protection de l'environnement. Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, trois niveaux de traitement sont définis (Lagardette, 2004).

I.2.2.1. Prétraitement :

Tout traitement de dépollution doit comporter ce qu'il est convenu d'appeler un « prétraitement » qui consiste à extraire des effluents, la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs. Il s'agit d'un ensemble d'opérations physiques ou mécaniques qui s'avèrent toujours indispensables. Le prétraitement est constitué par les opérations ci-après: le dégrillage, le dessablage et le déshuilage.

I.2.2.1.1. Dégrillage :

Premier poste de traitement qui consiste à faire passer les eaux usées à travers des barreaux métalliques d'une grille qui retiennent les déchets volumineux (papier, feuilles, matières plastiques, objets divers ...) cela permet de protéger les ouvrages aval contre l'arrivée de ces gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les tuyauteries.

L'opération est plus ou moins efficace, en fonction de l'écartement des barreaux des grilles (Laurent, 1994).

I.2.2.1.2.Dessablage :

Les eaux usées contiennent des particules minérales dont la densité est bien supérieure à celle de l'eau et des matières organiques. Ce sont des débris de verre ou de métaux mais surtout des graviers et des sables. Cette étape consiste à faire passer l'eau dans des bassins où la réduction de vitesse d'écoulement fait déposer les sables et sont ensuite récupérés par pompage, essorés et lavés avant d'être soit envoyés en décharge soit réutilisés selon la qualité du lavage. On enlève ainsi de l'eau les éléments grossiers et les sables de dimension supérieure à 200 microns .

I.2.2.1.3.Dégraissages- Déshuilage :

L'objectif du déshuilage et dégraissages est de retenir les graisses et les huiles qui en principe flottent car leurs densités sont inférieures à celle de l'eau. En effet ces deux opérations sont réalisées ensemble bien que correspondant à deux phénomènes physiques différents. Le déshuilage correspond à une opération de séparation liquide-liquide, Le dégraissage correspond à une opération de séparation solide-liquide (à condition que la température de l'eau soit suffisamment basse pour permettre le figeage des graisses). (Laurent,1994).

On utilise souvent une aération sous forme de bulles d'air qui augmentent la vitesse de montée des particules grasses dont la récupération s'effectue dans une zone de tranquillisation. Ce traitement est utilisé en vue d'éviter la perturbation de l'aération à cause de fine couche qui se forme en surface et qui réduit les échanges gazeux eau-atmosphère).

I.2.2.2.Traitement primaire (facultatif) :

Le traitement primaire permet d'éliminer 70% environ des matières minérales et organiques en suspensions et constitue une pré-épuration non négligeable.

Les matières en suspension se déposent au fond par différence en raison d'une densité supérieure à celle de l'eau. La décantation est possible lorsque les eaux prétraitées séjournent en eaux calmes dans le bassin de décantation primaire. Les matières en suspension, organiques ou non, se déposent dans le fond du bassin simplement par gravité. Elles y sont raclées et évacuées formant ainsi les boues primaires. Mais elle ne suffit malheureusement pas. En effet si le temps de décantation d'un gravier dans un mètre d'eau est de 1 seconde par la seule influence de son poids, on passe à 2 minutes pour le sable fin, à 2 heures pour l'argile, à 8 jours pour une bactérie, de 2 à 200 ans pour un colloïde. Les matières sont donc

particulièrement stables en suspension et impossible à décanner naturellement. Pour déstabiliser la suspension, il faut favoriser l'agglomération des colloïdes. Lorsque ces particules s'agglomèrent, il y a floculation ou coagulation.

- **Coagulation :**

S'obtient par addition dans l'eau d'un réactif chimique le sel d'aluminium ou de fer qui neutralise les charges électriques superficielles répulsives, et permet ainsi leur agglomération. Celle-ci est accélérée par l'ajout d'un polymère, sorte de macromolécule à longue chaîne qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées en flocons volumineux qui se déposent par gravité. C'est le floc.

- **Floculation :**

La floculation a pour objectif de favoriser le contacts des particules déstabilisées, qui s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par les procédés de décantation.

I.2.2.3.Traitement secondaire:

Les traitements secondaires recouvrent les techniques d'élimination des matières polluantes solubles : carbone, azote, et phosphore. Ils constituent un premier niveau de traitement biologique.

Après décantation, l'effluent est introduit dans des bassins équipés de dispositifs d'aération où des micro-organismes naturellement présents dans l'effluent dégradent les matières organiques dissoutes, l'air insufflé leur fournit l'oxygène nécessaire pour respirer et ils se développent et se nourrissent de la pollution organique, ces micro-organisme exercent également un effet physique de rétention de la pollution par leur propension à se rassembler en film ou floc. Parmi les traitements biologiques principalement rencontrés, on peut citer :

- **Traitement par boues activées :**

Très largement utilisé. Il s'agit d'un réacteur qui contient les eaux à traiter, dans lequel est injectée une boue chargée de bactéries. Les bactéries consomment la matière organique et contribuent à l'élimination de l'azote et du phosphate. A la sortie du réacteur, l'effluent passe dans un clarificateur. La boue décantée est séparée en deux flux : l'un rejoint le réacteur et

l'autre est évacué vers la filière des boues. L'action des bactéries dans le réacteur nécessite de l'oxygène (Boutin, 2009).

I.2.2.4.Traitement tertiaire :

Les traitements tertiaires que l'on dénomme aussi épuration complémentaire ou épuration avancée ou épuration de finissage, constituent un complément d'épuration des eaux usées en vue d'améliorer les caractéristiques de cette eau usée domestique ayant subi une épuration biologique ou un traitement physico-chimique préalable, pour régénérer ces eaux et adopter leurs nouvelles qualités à l'usage qu'on veut faire (Laurant,.1994).

Ils constituent une chaîne d'épuration "hautes performances" qui peut être décidée pour des raisons et applications diverses :

- amélioration générale des critères de rejet de manière à parfaire l'équilibre biotique du milieu récepteur (rivière, lac... etc.) et lutte contre l'eutrophisation des milieux aquatiques.
- faciliter le traitement des eaux souterraines destinées à l'alimentation.

Pour répondre à ces objectifs il peut être nécessaire d'effectuer des traitements complémentaires de type : l'élimination de l'azote, élimination du phosphore et la désinfection.

I.2.2.4.1.Désinfection :

La désinfection des eaux est l'étape finale d'un traitement de l'eau destinée à l'irrigation, son objectif étant de détruire les micro-organismes pathogènes, c'est-à dire susceptibles de porter atteinte à la santé des consommateurs. Deux grands types de désinfection sont à considérer :

La désinfection physico-chimique : Elle met en jeu des réactifs chimiques tels que le chlore, le dioxyde de chlore, l'ozone et le peroxyde d'hydrogène qui sont souvent couplés avec un traitement biologique.

La désinfection physique : essentiellement par rayons ultraviolets et rayonnement gamma : l'eau est irradiée avec un rayonnement de haute intensité qui permet de cliver et d'ioniser les composés organiques pouvant ensuite être éliminés. Cela provoque en outre l'apparition de composés oxydants capables de détruire les micro-organismes.

Les procédés utilisant les produits à base de chlore peuvent générer des sous produits toxiques (composés organiques chlorés). La désinfection physique se contente de tuer ou

d'inactiver les germes sans générer d'effluents chimiques gênants pour la consommation de l'eau d'où son avantage incontestable (Tafer, 2007).

I.3. Valorisation des eaux usées :

Il s'agit des techniques de récupération des eaux usées, le plus souvent après différents traitements destinés à les débarrasser de leurs impuretés dangereuses ou toxiques afin de utiliser l'eau de nouveau. Dans le langage courant, le terme "réutilisation" couvre habituellement l'emploi de l'eau récupérée vers des usages nouveaux ou différents. Le terme "recyclage" considéré souvent comme équivalent signifie plutôt un usage de l'eau épurée dans le même processus. Un industriel "recycle" son eau pour la réinjecter dans un cycle de production identique. Un agriculteur "réutilise" une eau usée domestique traitée ou non à des fins d'irrigation.

La REUE a pour objectif de fournir des quantités supplémentaires d'eau dont la qualité convient à un usage déterminé, sans avoir à utiliser une eau épurée par un passage dans son cycle naturel. Dans ce sens, non seulement elle économise l'eau mais en plus, si elle est bien menée, elle protège le milieu et les écosystèmes environnants.

La REUE permet en effet de supprimer ou de différer les rejets des stations d'épuration dans les milieux vulnérables (objectif rejet zéro dans les eaux littorales). Elle contribue ainsi à la réhabilitation de cours d'eau et des rivages menacés d'eutrophisation.

Or les problèmes d'eutrophisation se posent surtout en période estivale au moment où les besoins d'eau d'irrigation sont les plus grands (Dunglas, 2014).

I.4.Conclusion :

En raison de la présence de molécules de plus en plus, réfractaire aux micro-organismes dans les flux d'eaux usées, les procédés biologiques classiques ne peuvent pas être utilisés pour le traitement complet de l'effluent et par conséquent, l'introduction de nouvelles technologies complémentaires sont actuellement disponibles pour dégrader ces molécules réfractaires en molécules plus petites, qui peuvent être oxydées en outre par des méthodes biologiques.

La nécessité d'une nouvelle technologie dans le traitement des eaux usées municipales se développe continuellement, l'une des techniques complémentaires mise en œuvre récemment dans plusieurs pays est l'utilisation de rayonnements ionisants comme traitement complémentaire.

En effet la technique d'irradiation permet une réutilisation sans risque des eaux usées épurées pour l'irrigation ,mais également de résoudre les problèmes environnementaux de manière très efficace, en particulier dans la dégradation de nombreux polluant de l'eau et l'inactivation des micros organismes pathogènes grâce à la production d'espèce hautement réactive (Sumartono,2008).

II.1. Processus de l'irradiation :

II.1.1. Rayonnements ionisant :

Le traitement des eaux usées par irradiation se réfère à l'utilisation de rayonnement ionisant comme une source d'énergie (Sampa *et al.* , 2005).

Un rayonnement est dit ionisant lorsque son énergie est suffisante pour lui permettre d'arracher un électron de la matière : c'est le phénomène d'ionisation avec formation d'une paire d'ions:

- l'ion positif constitué par l'atome privé d'un électron
- l'ion négatif est formé par l'électron éjecté (Dannoux 2007 ; Caoui 2009).

Il existe de nombreux types de rayonnements tels que les rayons gamma, beta, alpha, les rayons X et UV ; Cependant, le type le plus utilisé dans le traitement des eaux usées est le rayonnement gamma.

II.1.1.1.Rayonnement gamma :

Le rayonnement gamma est un rayonnement de type électromagnétique, issu de transitions nucléaires. Il possède comme caractéristiques d'être moins ionisant que les particules alpha ou les électrons ; mais par contre, il est beaucoup plus pénétrant que ces derniers (Prouillac ,2006).

II.1.1.2.Source de rayonnement gamma :

Pour éviter la radioactivité induite qui peut apparaître dans l'eau si l'énergie des rayons gamma est supérieure à 10 MeV, il est souhaitable d'utiliser pour la désinfection des eaux usées des rayonnements caractérisés par des énergies inférieures à cette valeur.

Chapitre II Effet de l'irradiation gamma sur les eaux usées

D'autre part, l'application de rayonnement d'énergie inférieure à 0,2 MeV n'est pas admise. Cependant parmi les milliers éléments radioactifs, le ^{137}Cs et le ^{60}Co sont les seuls indiqués à être utilisés efficacement pour générer les rayons gamma (Aquino ,2012).

L'isotope cobalt-60 (^{60}Co) est réalisé par irradiation de l'isotope stable cobalt ^{59}Co en exposant ce dernier à un flux de neutrons dans un réacteur nucléaire, avec une demi-vie de 5,2714 ans (Wang JI et Wang Jh ,2007).

Le Césium-137 a une énergie inférieure (photons gamma ayant une énergie de 0,662MeV), mais présente l'avantage d'une plus longue demi-vie (Samy et Hanna, 2008).

Co-60 est exclusivement le plus utilisé en tant que source de rayonnement gamma pour usage industriel en raison qu'il émet deux rayons gamma de l'énergie de 1,17 et 1,33 MeV ; jusqu'à atteindre sa forme stable ^{60}Ni (Aquino,2012) comme le montre la figure II.1.1

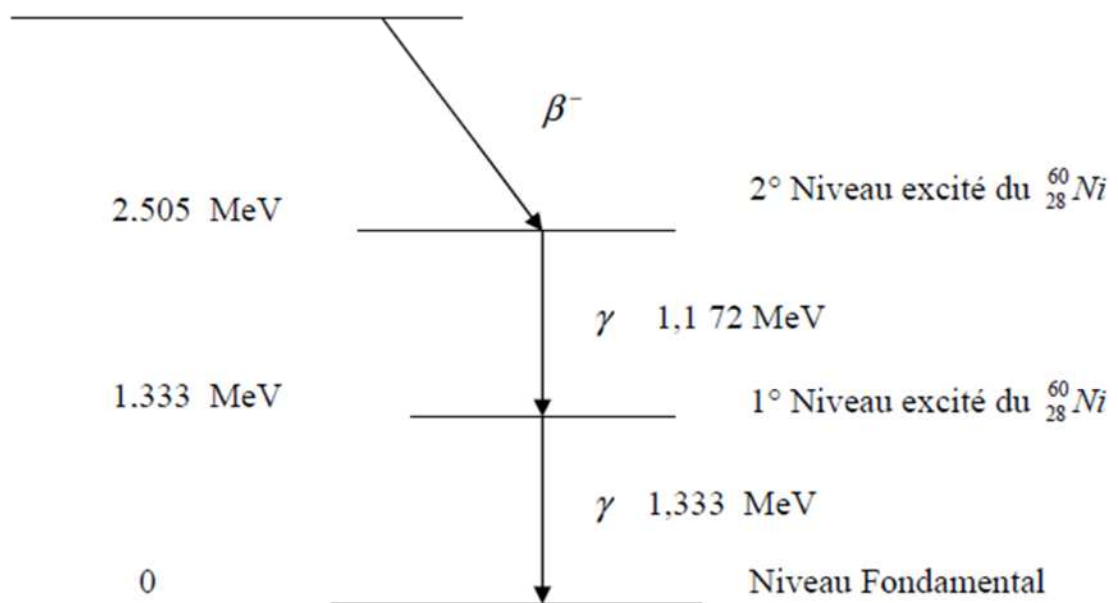


Figure II.1.1.Schéma de désintégration du cobalt 60 (Vasseur, 1991).

II.2.La dose d'irradiation :

La dose absorbée peut être définie comme la quantité d'énergie absorbée par la masse du matériau irradié. L'unité de mesure utilisée pour décrire la dose absorbée est le Gray (Wang JI et Wang Jh ,2007). Exprimée par la relation suivant :

$$\text{Dose} = I.t$$

(I) Débit de dose: nombre de rayonnement délivrés par unité de temps ; cette valeur est déterminée par la dosimétrie de frick .

(t) Temps.

II.3. Justification de l'utilisation de rayonnement gamma :

La raison de l'utilisation des rayonnements gamma dans le traitement des eaux usées repose sur de nombreux faits notamment pour :

- le rayonnement détruit la vie microbienne et cette propriété est considérée comme particulièrement bénéfique, car elle se traduira par l'inactivation de la micro flore pathogène.
- Le rayonnement est capable de modifier la structure des molécules organiques, ce qui conduit à une diminution de la demande biologique en oxygène (DBO₅) et la demande chimique en oxygène (DCO) (Mohammed *et al.* , 2006).

II.4. Effets de l'irradiation gamma :

II.4.1. La radiolyse de l'eau :

Le principal effet de rayonnement de haute énergie est l'ionisation, et dans une certaine mesure l'excitation des atomes et des molécules, donnant lieu à une série d'espèces réactives (ions, molécules excitées, radicaux, électrons) dont les réactions sont responsables de transformation chimique irréversibles (Moawia et Ali Musaado, 2008).

Le résultat principal de la radiolyse consiste en la rupture de liaison covalente de la molécule d'eau et la production de radicaux libres ; Une liaison de covalence (:) est constituée par une paire d'électrons appariés dont les spins sont opposés. Lors de la rupture d'une telle liaison, chaque fragment emporte avec lui un électron non couplé, appelé électron célibataire

Un fragment moléculaire comportant un électron célibataire est appelé radical libre. La présence de cet électron non couplé confère au radical une grande réactivité chimique; l'existence du radical est très éphémère (10⁻⁹ sec). Les phénomènes d'interaction initiaux sont l'ionisation et l'excitation de la molécule d'eau (Francis, 2007).

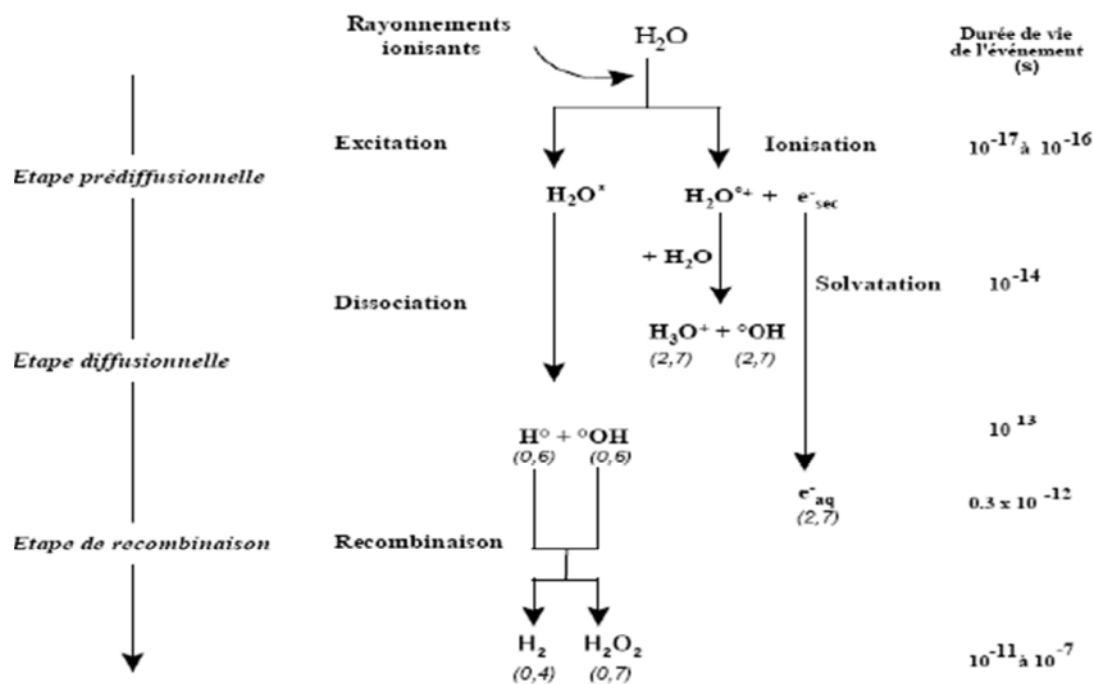
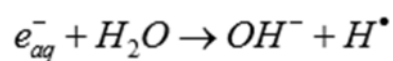
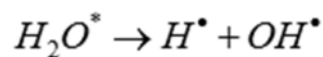


Figure II.1.2. Formation d'espèces radicalaires libres dans l'eau au moyen d'un rayonnement ionisant (Moawia et Ali Musaado, 2008).

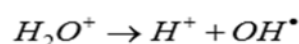
L'électron éjecté lors de l'ionisation forme ce qu'on appelle un électron hydraté. Sa durée de vie est de l'ordre de quelques microsecondes. Il contribue à la formation des radicaux d'hydrogène par la réaction suivante:



En un temps de l'ordre de 10^{-12} secondes, les molécules excitées donnent lieu à des réactions de désintégration:



L'eau ionisée H_2O^+ se désintègre en un ion d'hydrogène et un radical libre très actif, le $OH^\bullet$.



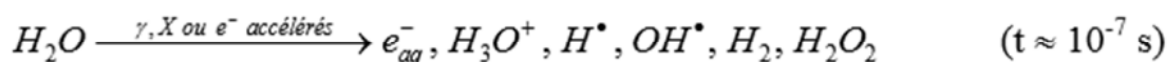
En résumé, les réactions précédentes donnent naissance à la formation de radicaux hautement réactifs qui sont de deux types différents:

- oxydants: $OH^\bullet$
- réducteurs: e^-_{aq} et $H^\bullet$

Chapitre II Effet de l'irradiation gamma sur les eaux usées

Ces constituants vont provoquer des réactions qui conduisent à la création de nouvelles molécules ou radicaux. Ainsi environ 10^{-7} secondes après le passage de la particule dans le milieu, on trouve des radicaux ou nouvelles molécules dispersés autour de la trajectoire de la particule ionisant comme par exemple la formation du peroxyde d'hydrogène, hautement réactif (Francis,2007).

Une centaine de nanosecondes environ après le passage du rayonnement ionisant, la décomposition de l'eau conduit donc à la formation d'une solution homogène en espèces radicalaires et moléculaires qui se résume par :



(Souici ,2009).

II.4.2.Effets sur les micro-organismes :

La forte concentration d'agents pathogènes présente un obstacle majeur dans l'application des eaux usées épurées en agriculture. Donc, l'effet du rayonnement sur les agents pathogènes est une préoccupation majeure (Wang Jl et Wang Jh ,2007).

Le rayonnement gamma a été reconnu comme une nouvelle méthode pour éliminer les pathogènes dans les eaux usées (Lessel 1988 ;Ward *et al.*, 1984; EPA 1993 ; Moawia et Ali Musaado 2008).

L'effet létal des rayonnements ionisants sur les micro-organismes, a fait l'objet d'une étude détaillée. Beaucoup de progrès ont été accomplis en vue de l'identification du mécanisme d'inactivation, mais il reste encore un doute considérable quant à la nature des lésions importantes impliquées, mais il semble pour certains que la létalité est principalement la conséquence de dommages génétiques (Aquino ,2012).

Le rayonnement interagit alors à la fois directement et indirectement.

- **L'interaction directe** à lieu quand le rayonnement interagit avec les molécules essentielles comme l'ADN et autres composants cellulaires essentiels à la survie de la cellule comme les protéines, qui finira par affecter la capacité de la cellule à se reproduire et à survivre (Wang Jl et Wang Jh ,2007).

- **L'interaction indirecte** : La formation des produits de la radiolyse de l'eau et leurs interactions ultérieures avec les particules de l'eau à traiter sont décrites comme effet

indirect ; ces éléments intermédiaires OH^* et H^* très réactifs réagissent ensuite avec les biomolécules cibles, causant ainsi la mort de la cellule. Ces effets indirects sont rapides et se produisent généralement dans environ 7 à 10 secondes après exposition aux rayons gamma (Samy et Hanna, 2008).

Les effets d'ionisation indirects sont généralement considérés comme plus important que les effets directs dans l'application d'un rayonnement ionisants pour le traitement des eaux usées. Les deux effets directs et indirects causés par rayonnements peuvent entraîner l'endommagement du matériel génétique c'est-à-dire ADN et l'ARN, ainsi la cellule est tuée et le but de désinfection est atteint (Wang JI et Wang Jh ,2007).

II.4.3. Effets sur les polluants organiques :

Les eaux usées sont généralement caractérisées par une teneur élevée en matière organique quelle soit biodégradable ou non.

L'irradiation par rayonnement gamma a été démontrée comme un moyen efficace permettant d'oxyder les polluants organiques et les convertir en d'autres plus biodégradables et donc plus facilement à réduire.

II.5. Avantages et inconvénients de l'irradiation gamma:

II.5.1. Avantages:

Le traitement par irradiation offre des avantages uniques par rapport aux techniques de traitements classiques (exemple de la chloration) (Moawia et Ali Musaado, 2008).

Par sa nature, le traitement par rayonnement gamma s'opère dans le respect de l'environnement. On peut définir simplement cette prestation comme le transfert d'une quantité d'énergie depuis une source de cobalt 60 vers la matière. Contrairement aux techniques qui utilisent des produits chimiques.

- Aucun résidu chimique n'est laissé dans la matière exposée et dans son environnement puisque, par définition, on ne dépose pas de matière sur ou au sein du produit traité.
- De plus, la très faible quantité d'énergie transférée par le rayonnement gamma (quelques kilojoules par kilogramme de produit exposé) participe à l'économie des énergies non renouvelables.
- Le fait qu'une installation de traitement gamma génère très peu de déchets fait d'elle une technique peu polluante (pas de produits contaminés par irradiation) (Neyssen, 2000).

- C'est un processus fiable et facile à contrôler.
- Le rayonnement inactive efficacement les bactéries pathogènes et parasites dans l'eau, induits la décomposition de divers composés organiques, ainsi l'eau traitée par l'irradiation pourrait être réutilisée sans danger pour l'irrigation (Moawia et Ali Musaado, 2008).

II.5.2. Inconvénients :

- La perception des coûts plus élevés comparant aux techniques classiques.
- Nécessite plus de formation et de sécurité pour les opérateurs (Moawia et Ali Musaado, 2008).

• II.6. Etudes ultérieures :

Plusieurs études sur la mise en œuvre de la technologie des rayonnements ionisants comme traitement complémentaire sur les eaux usées ont été réalisées dans différents pays :

➤ **Maroc :**

Une étude a été menée sur les effets de l'irradiation gamma sur les eaux usées urbaines de la ville de Tétouan en mesurant les différences dans les paramètres prescrit par la loi, visant à réutiliser les eaux usées, des échantillons ont été prélevés dans la station d'épuration des eaux usées urbaines de Tétouane et ont été irradiées à des différentes doses, allant de 0 à 14 à l'aide d'une source de gamma ^{60}Co . Les résultats ont montré que :

Jusqu'à 14 kGy, l'ionisation n'a pas d'effet sur la matière en suspension (MES), le Phosphore Total (PT), l'Azote Total (NT) et les Orthophosphates (OPT) ; les valeurs de pH tendent vers la neutralité après irradiation à 8 kGy pour tous les échantillons; pour la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biochimique en oxygène (DBO), des diminutions progressives et significatives ont été notées en fonction de la dose absorbée. Cette diminution est plus conséquente pour les échantillons d'eau usée brute.

L'irradiation permet une réduction d'environ 95% des coliformes fécaux et totaux à partir de 1 kGy et leur élimination totale à partir de 2 kGy pour tous les échantillons ; une réduction de 99,94 % est obtenue à partir de 2 kGy sur la flore mésophile pour tous les échantillons et l'élimination totale est assurée à 6 kGy.

Chapitre II Effet de l'irradiation gamma sur les eaux usées

Ainsi les résultats de cette étude ont indiqué que l'irradiation gamma pourrait être un bon choix pour la réutilisation des eaux usées pour les activités agricoles (Tahri, 2010).

➤ Chine :

L'étude des boues d'épuration exposés à une irradiation gamma de ^{60}Co à une dose de 0-25 kGy a été étudiée. Les résultats ont montré que l'activité microbienne dans la boue a progressivement diminué ; la respiration microbienne est inhibée d'environ 23% à une dose de 5 kGy et de 58% à 25 kGy, près de 91% des bactéries cultivables sont inactivées à une dose de 5 kGy (Libing *et al.*, 2012).

➤ Inde :

La première fois en Inde, une étude avait pour objectif de créer une ligne de base de données pour le faisceau d'électron pour déterminer la dose de rayonnement nécessaire pour désinfecter et aussi améliorer la qualité des eaux usées de la ville de Mumbai pour une éventuelle réutilisation en irrigation, industrie ainsi que quelques usages domestiques. Des eaux usées domestique de la ville de Mumbai ont été irradiées par un accélérateur de faisceau d'électrons à des doses de 0,45. 0,75. 1,5. 3. 4,5. 6. 7,5. 9 et 10,5 kGy. Ce traitement s'est avéré très efficace pour réduire la charge pathogène.

La dose de 1,5 kGy était suffisante pour éliminer complètement les Coliformes totaux considérant que le *Cryptococcus laurenti*, *Aspergillus fumigatus* et *Absidia sp*, ont été éliminés à 10 kGy et aucune larve d'helminthes (*Ascaris lumbricoides*) n'a été récupérée à la dose $\geq 1,5$ kGy.

Les résultats expérimentaux obtenus ont mis en évidence le potentiel de cette technologie pour la désinfection des eaux usées (Maruthi, 2013).

➤ Irak :

Des tests de laboratoire ont été effectués à l'aide de différentes doses d'irradiation pour traiter des échantillons d'eaux usées provenant de la station d'épuration des eaux usées de Alrustamia dans la ville de Bagdad.

Chapitre II Effet de l'irradiation gamma sur les eaux usées

Selon les résultats, l'irradiation par rayons gamma avec une dose allant de 100 à 500 kda a été efficace pour réduire certains contaminants physiques. Les contaminants organiques ont été dégradés et réduits à environ 12% de leur concentration initiale.

En règle générale, la technologie de l'irradiation pourrait modifier efficacement les caractéristiques des eaux usées à des niveaux compatibles avec les normes d'élimination irakienne. Les résultats de l'étude ont également montré qu'une étude expérimentale d'usine pilote est nécessaire pour optimiser le coût de traitement des eaux usées grâce à l'utilisation de cette technologie (Mohammed *et al.*, 2006).

II.7.Conclusion :

La technologie de traitement de rayonnement représente une solution viable au problème du traitement des eaux usées. Plusieurs pays ont déjà pris l'initiative de mettre en œuvre un faisceau d'électrons dans l'irradiation des eaux usées. Il est prévu que la propagation de l'usage de cette technologie donnera l'impulsion pour l'industrie de l'accélérateur pour produire les équipements spécialement conçus pour cette application. Il est à espérer que l'augmentation du nombre d'unités produites aiderait le coût d'une telle technologie à décliner à un niveau qui le rend abordable et économiquement intéressantes pour de nombreux pays.

I.1.Objectif du projet :

Notre étude expérimentale a pour but les essais de la réduction de la matière polluante des eaux usées urbaines de la STEP de Tizi-Ouzou par irradiation gamma dans les différents modules de la station à savoir : l'eau brute, l'eau sortie digesteur et l'eau épurée et proposer un traitement complémentaire à la station d'épuration de Tizi-Ouzou par l'irradiation gamma.

Pour se faire, en premier lieu, nous avons étudié la réduction de la matière organique en l'occurrence l'acide humique synthétique par l'irradiation gamma à l'échelle de laboratoire. Les principales étapes du déroulement de la première phase sont :

1. La préparation de la solution étalon de l'acide humique synthétique
2. Le tracé de la courbe d'étalonnage de l'acide humique.
3. Détermination de la dose optimale d'irradiation gamma.

En deuxième lieu, à partir de la dose d'irradiation optimisée, nous avons procédé aux essais d'irradiation des échantillons réels prélevés au niveau de la STEP de Tizi-Ouzou, les étapes constitutives de cette deuxième phase sont comme suit :

1. Prélever des échantillons des eaux usées de la STEP de Tizi-Ouzou dans différents points :
 - L'arrivée des eaux usées (eaux brutes)
 - Les eaux de sortie digesteur (après traitement biologique)
 - Les eaux de sortie clarificateur (eaux épurées)
2. Irradiation des différents échantillons avec la dose optimale
3. Mesure des différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques ainsi que quelques métaux lourds avant et après irradiation gamma.

I.2.Présentation du site d'étude

I.2.1.Description et situation géographique :

La station d'épuration Est de Tizi-Ouzou est un établissement classé certifié ISO 14001, située sur la rive gauche d'Oued Sebaou à 200 m en amont du Pont de Bougie sur le chemin de Wilaya n° 124 reliant Tizi-Ouzou à Béjaia. Elle s'étend sur une superficie de 35591 m², conçue au début des années 90 et a été mise en marche en l'an 2000, dans le but d'épurer les eaux usées urbaines afin de protéger le milieu récepteur naturel, en l'occurrence l'Oued Sebaou.



Figure I.2.1.Vue satellitaire de la STEP EST de TIZI-OUZOU (Google earth, 2010).

I.2.1.1.Nature de rejet :

Les effluents arrivent à la station par un réseau unitaire par voie gravitaire. Les eaux usées à traiter sont exclusivement domestiques. Le milieu récepteur d'eau épurée est l'oued Sebaou.

I.2.1.2.Composition de la station :

La station d'épuration Est de la ville de Tizi-Ouzou est composée de plusieurs ouvrages illustrées dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.2.1. Les différents ouvrages de traitement.

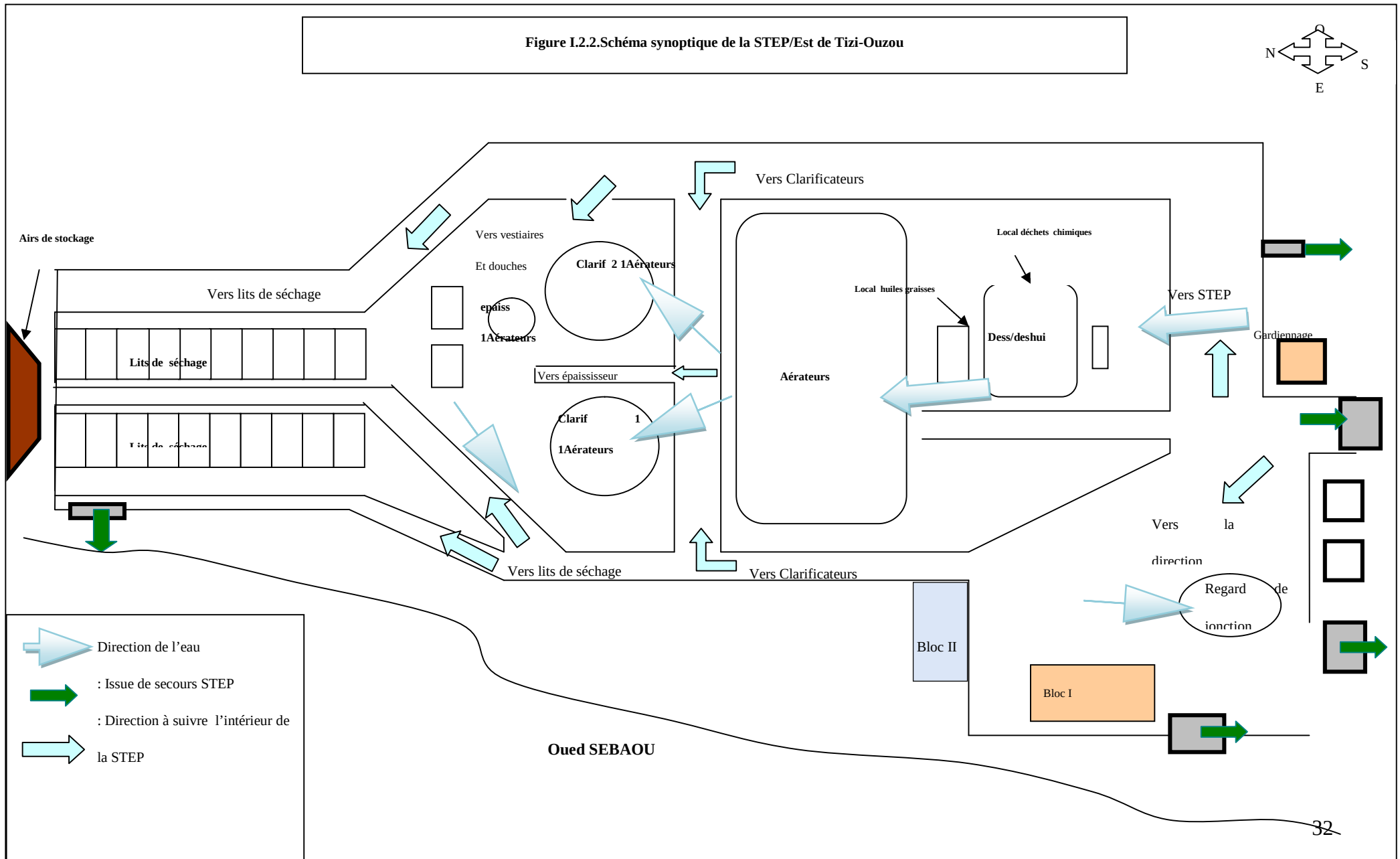
Les différents traitements	Nom de l'ouvrage	Nombre
Prétraitement	Dégrilleur - Dégrillage grossier (manuel) - Dégrillage fin (mécanisé et manuel)	1
	Dessaleur-déshuileur	2
Traitement secondaire	Bassin d'aération	2
Clarification	Décanteur racleur	2
Stabilisation	Bassin de stabilisation	2
Epaississement	Epaississeur	1
Déshydratation	Lit de séchage	20

I.2.1.3.Caractéristiques générales de la STEP :

Tableau I.2.2.Caractéristique technique de la station d'épuration.

Désignation	Valeurs
Charge hydraulique	
Débit journalier en temps sec	18 000 m ³ /j
Débit moyen journalier en temps sec	750 m ³ /h
Débit de pointe en temps sec	1620 m ³ /h
Débit de pointe en temps de pluie	2250 m ³ /h
Charge polluante DBO₅	
Flux journalier	6500 Kg/j
Concentration moyenne	360 mg/l
MES	
Flux journalier	8400 Kg/j
Concentration moyenne	446 mg/l
pH	6 à 8,5
Température	< à 25°C

Figure I.2.2. Schéma synoptique de la STEP/Est de Tizi-Ouzou



I.2.2.Fonctionnement de la station :

I.2.2.1.Arrivée et relevage des eaux brutes :

Les eaux brutes sont amenées à la station par un collecteur unique gravitaire vers un pré-dégrillage à nettoyage manuel, par l'intermédiaire d'une grille dont l'espacement entre barreau est de 80mm, il a pour but d'éviter l'arrivée des corps très volumineux.

Un by-pass contrôle l'entrée des eaux brutes.

I.2.2.2.Prétraitement :

I.2.2.2.1.Dégrillage :

L'eau est acheminée de manière gravitaire vers un dégrilleur automatique qui constitue le première poste de traitement, considéré comme dispositif de sécurité pour les appareillages situés à l'aval, dont l'espacement entre barreaux est de 25 mm, ce qui permet d'éliminer les éléments solides ou les grosses particules susceptibles de gêner les traitements ultérieurs.



Figure I.2.3. Dégrilleur.

I.2.2.2.2.Dessablage –dégraissage :

Ce procédé vise à éliminer les sables de dimensions supérieures à 150-200 μm ainsi que la plus grande partie des matières flottantes (graisses). La réduction de vitesse d'écoulement de l'eau fait déposer les sables au fond des bassins et sont ensuite aspirés à l'aide d'une vis à sable.

Les graisses par leurs densité inférieure à celle de l'eau flottent ce processus est accéléré par l'injection de micros bulles d'air qui sont ensuite raclées par un bras racleur vers une goulotte de récupération les transférant dans une fosse de stockage des graisses.



Figure I.2.4.Déssableur-Dégraisseur

I.2.2.3.Traitement biologique :

I.2.2.3.1.Bassin d'aération :

L'eau provenant du prétraitement coule par gravité dans les bassins biologiques. Au niveau de la STEP EST de TIZI-OUZOU on retrouve 2 bassins d'aération où il y'a présence naturelle de microorganisme dont le rôle est la dégradation de la matière organique dissoute. La présence d'aérateur de surface permet de brasser et de favoriser la diffusion de l'oxygène.



Figure I.2.5. Bassin d'aération .

I.2.2.3.2 .Clarificateur :

Les eaux sortantes des ouvrages d'aération sont dirigées vers 2 clarificateurs, destinés à séparer l'eau épurée des boues ; ces dernières sont recyclées dans le bassin d'aération (boue de recirculation) pour y maintenir une concentration suffisante en bactéries épuratrices. L'excédent (boue secondaire en excès) est extrait du système et évacué vers la stabilisation.



Figure I.2.6.Clarificateur.

I.2.3. L'objectif de la station :

L'objectif ciblé et requis en sortie de la station est le suivant :

- | | |
|--------------------|--------------------------|
| ➤ DBO ₅ | 30mg /l d'O ₂ |
| ➤ MES | 30mg/l |
| ➤ DCO | 90mg/l d'O ₂ |
| ➤ NTK | 40mg/l |

I.3.Matériels :

I.3.1.Irradiateur pilote gamma :

Au cours de ce travail, une source de rayonnement Gamma de ⁶⁰Co de l'irradiateur pilote du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA) est composé de trois sources cylindriques de ⁶⁰Co de type COP4 fabriquées par ORIS (France). Elle sont disposées verticalement dans un porte-source en acier inoxydable.

Les sources de dimension 384 mm de hauteur et de 26,6mm de diamètre ainsi disposées forment une hauteur active de 1152mm. Pour des raisons pratiques une cale de 85mm a été déposée sous la source du bas.

En position d'irradiation, la partie inférieure de cette source se trouve à 350mm au-dessus de la platine. L'activité initiale au 08.10.2002 date d'installation de la source, était de 13,32.10¹⁴Bq soit 35990 Ci. L'activité de la source était de 8500 Ci au mois de Mai 2013 il est stocké dans une piscine d'une profondeur de 5m qui permet d'escamoter la source et de ne laisser échapper aucune fuite de radioactivité (Figure I.2.7).

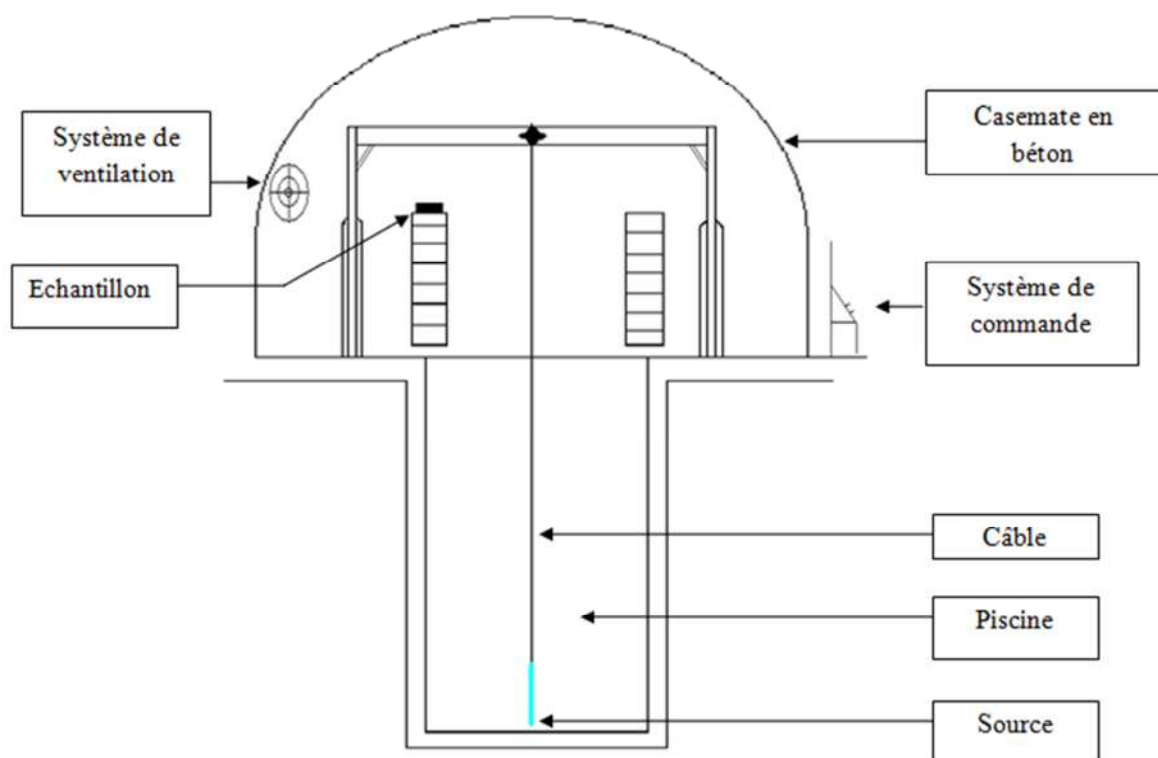


Figure I.2.7. Schéma d'une coupe transversale de l'Irradiateur pilote du CRNA.

I.3.2. Spectrophotomètre UV/visible :

Le spectrophotomètre que nous avons utilisé est un appareil qui permet de mesurer directement les densités optiques. Les analyses sont effectuées sur un spectrophotomètre piloté par le logiciel, informatisé pour la mémorisation et le traitement des spectres. Des cuves en quartz de 1 cm de trajet optique sont utilisées.

I.3.3. Thermo réacteur (DCO) :

La demande chimique en oxygène est déterminée par un chauffage dans un Thermoréacteur de type WTW modèle CR 2010 à une température maximum de 148°C. la DCO est mesurée en utilisant les kits de marque WTW.

I.3.4.Spectrophotomètre de marque HACH DR 2800 :

Le spectrophotomètre que nous avons utilisé est un appareil qui permet de mesurer directement les concentrations de la DCO et les MES.

I.3.5. DBO mètre :

La demande biochimique en oxygène est déterminée par un DBO-mètre de type WTW (Incubateur à une température de 20°C ; Un agitateur magnétique par bouteille ; Bouteille « oxitop ».

I.3.6.Spectromètre d'absorption atomique :

Le spectromètre d'absorption atomique utilisé pour l'analyse des métaux lourds est de marque **PERKIN ELMER, A.Analyst 400**.

I.3.7. Autres matériels :

- **Agitateur** : Modèle **BIOBLOCK SCIENTIFIC** Type **Cimarec 2**.
- **Balance** : Modèle **SARTORIUS** Type **1518**.
- **Distillateur** :Modèle **High Purity Water System** type **Pacific-UP/UPW**.
- **Etuve** Modèlememmert.
- **Verreries scientifiques** : (fioles, pipettes, entonnoirs etc...).
- **pH-mètre** de type WTW pH 330
- **Conductimètre** de type HANNA INSTRUMENT EC 214

I.3.1.8. Réactifs et produits chimiques utilisés :

- Acide humique synthétique **C₁₀H₁₂O₅N**de marque **Biochem.chemopharma**.
- Hydroxyde de sodium (NaOH) .
- Des kits (WTW) pour la mesure de la DCO d'une gamme de 150 et 1500 mg/l O₂.

I.4.Méthodes :

I.4.1.Détermination de la courbe d'étalonnage de l'acide humique synthétique :

I.4.1.1.Préparation de la solution étalon de l'acide humique :

une solution d'acide humique de formule $C_{10}H_{12}O_5N$ a été préparée en dissolvant 1g d'acide humique dans 62,5 ml de NaOH (2N); en effet ce volume (obtenu par titration) est considéré comme étant nécessaire pour dissoudre l'acide humique (Naceur *et al .*, 2003), cette solution est complétée jusqu'à 1l avec de l'eau distillée, puis agitée pendant 24h et conservée à 4°C à l'abri de la lumière, afin d'éviter la dégradation de l'acide humique par l'UV en couvrant la surface externe de la fiole avec du papier aluminium.

I.4.1.2.Balayage des longueurs d'ondes :

Afin de déterminer la longueur d'onde où l'absorption de l'acide humique est maximale, une solution d'acide humique à C=50 mg/l a été préparée.

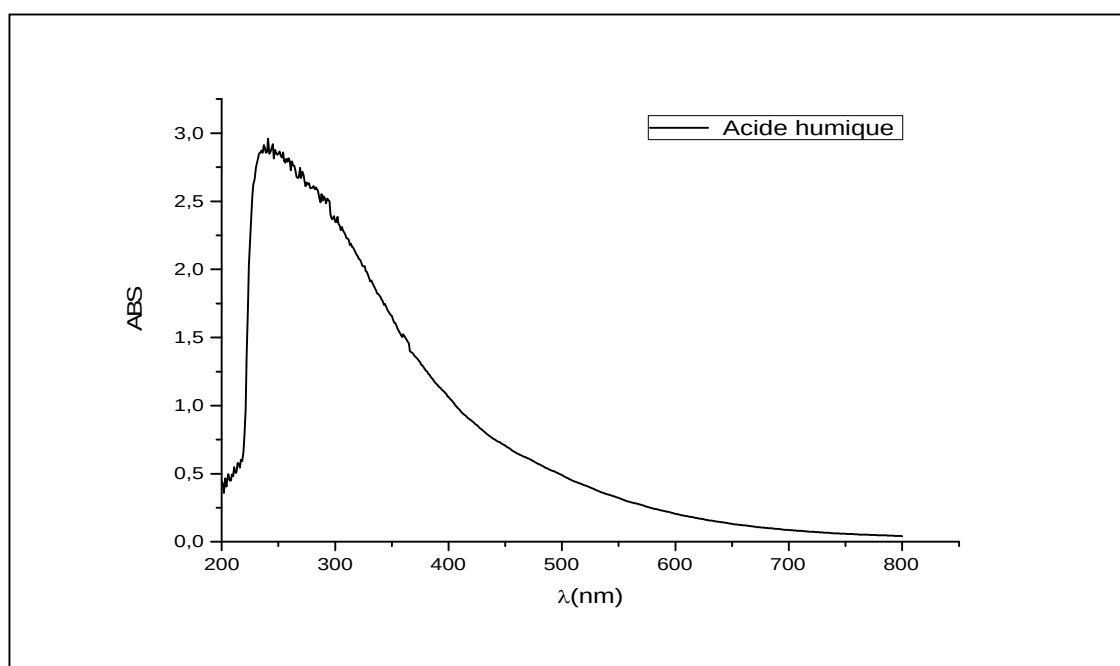


Figure I.2.8.Courbe de balayage des longueurs d'onde de l'absorption de l'acide humique synthétique

D'après la courbe on constate que le pique d'absorption maximale de l'acide humique est à la longueur d'onde 241 nm.

I.4.2.Etablissement de la courbe d'étalonnage :

A partir de la solution d'acide humique de concentration $C = 1\text{g/l}$ (solution mère), une série de dilutions allant de 5 à 50mg/l (avec un intervalle de 5) ont été préparées afin d'établir la courbe d'étalonnage.

Celle-ci ont été analysées par spectrophotométrie à la longueur d'onde déterminée précédemment qui est de 241 nm, les résultats obtenus sont présentés dans le tableau A.5 en annexe ont permis de tracer la courbe d'étalonnage : Abs en $f(C)$ qui obéit à la loi de Beer Lamber.

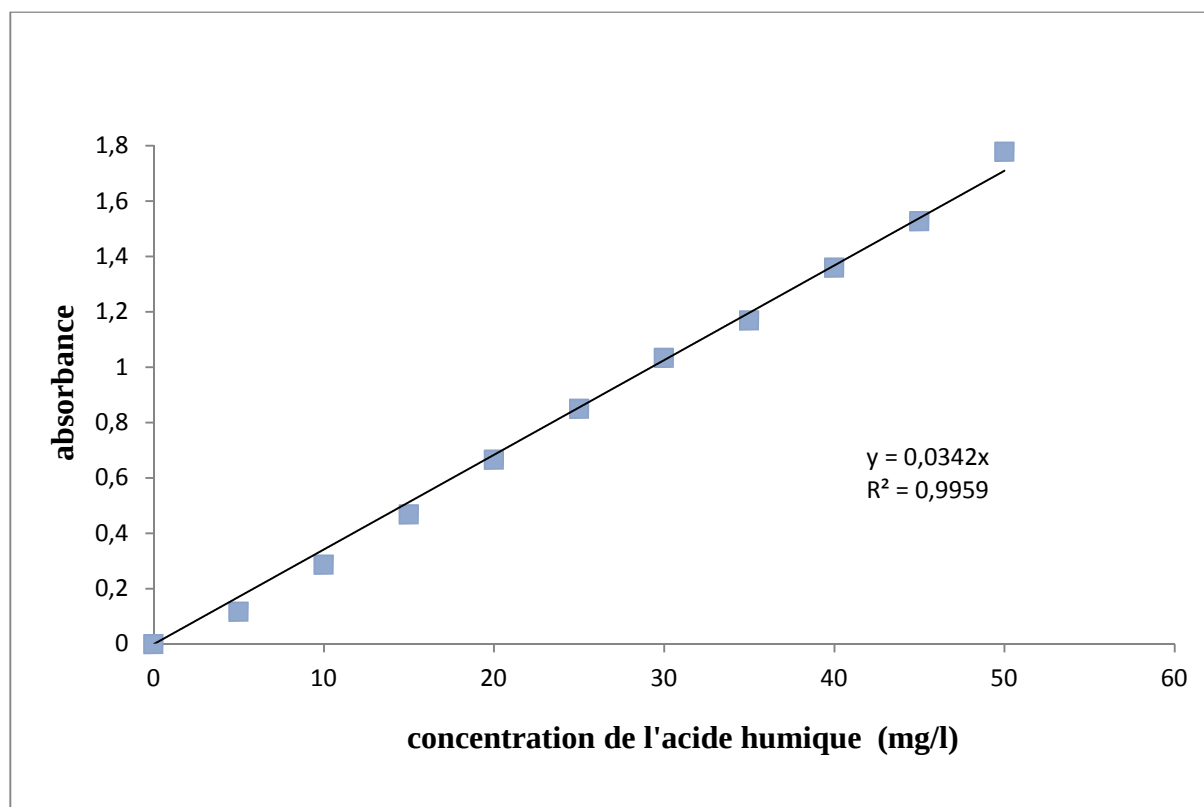


Figure I.2.9.Courbe d'étalonnage de l'acide humique

La variation de l'absorbance en fonction de la concentration est une droite qui passe par l'origine, d'équation : $\text{Abs}=0.034\ c$ avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,995$

I.4.3.Optimisation de la dose d'irradiation pour la dégradation de l'Acide Humique :

Afin de déterminer la dose optimale d'irradiation pour la dégradation de l'acide humique synthétique des volumes d'environ 10 ml ont été prélevés de la solution concentrée à 50 mg/l de l'acide humique et ont été soumis à différentes doses d'irradiation : 2,4,8,10,12,14,16,20,25,30 et 35 kGy.

Les résultats de l'absorbance de l'acide humique synthétique en fonction des doses d'irradiation ont permis de tracer la courbe suivante :

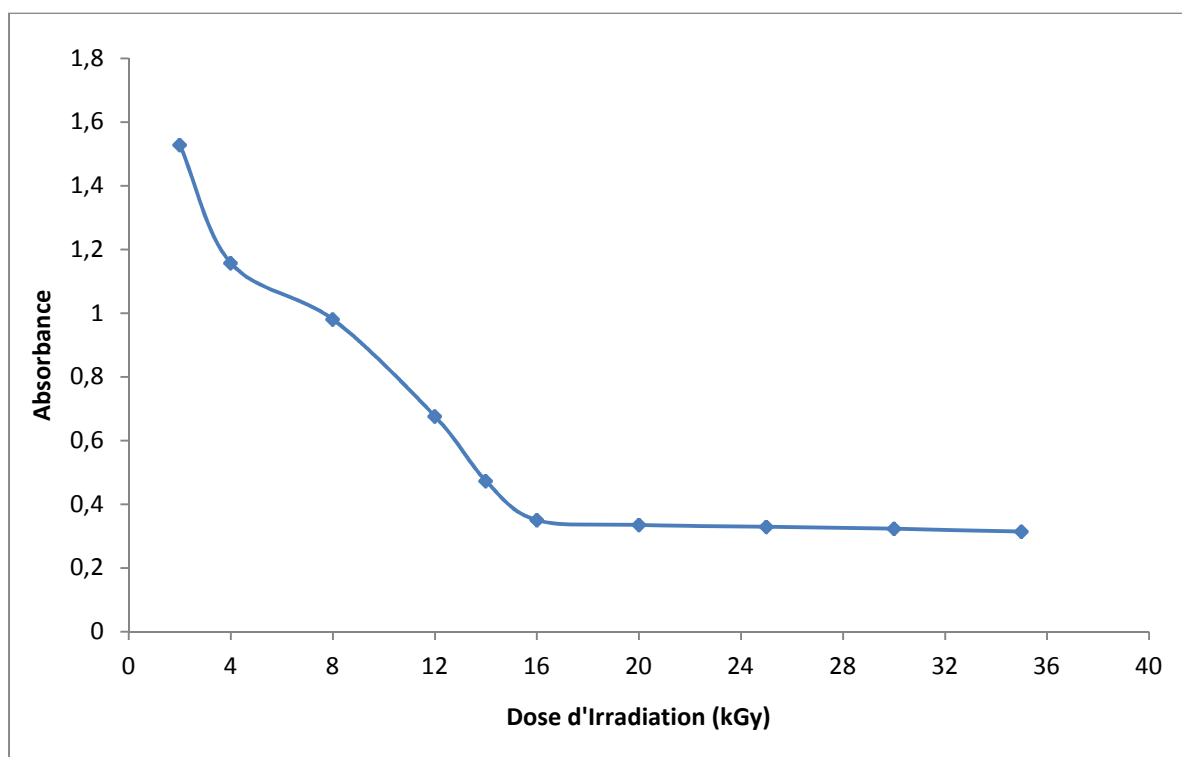


Figure I.2.10. L'influence de l'irradiation gamma sur la concentration de l'acide humique synthétique.

D'après la courbe on constate que l'augmentation de la dose d'irradiation est accompagnée par une diminution de l'absorbance de l'acide humique ce qui traduit sa dégradation.

L'allure générale de la courbe reflète deux phases principales :

La première phase (0-16 kGy) :

La dégradation de l'acide humique est très rapide l'absorbance passe de 1,528 à 0.35, avec un taux d'abattement de 77.09%.

La seconde phase (16-35 kGy) :

Caractérisée par un palier constant, on remarque que le maximum d'absorption de l'acide humique est atteint à 16 kGy, malgré l'augmentation des doses d'irradiation la concentration de l'acide humique est restée constante.

Ainsi on déduit que la dose optimale d'irradiation à appliquer pour les essais de la réduction de la charge polluante est de **16kGy**.

I.4.4.Détermination de la concentration de l'acide humique dans les eaux usées de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation :

Au moyen de la courbe d'étalonnage de l'acide humique synthétique Figure I.2.9 on détermine la concentration de l'acide humique dans les trois points de prélèvement étudiés avant et après irradiation à 16KGy :

- Concentration de l'acide humique avant irradiation :
 - **67,47mg/l** à l'entrée de la station (eau brute).
 - **103,02mg/l** à la sortie digesteur (sortie bassin d'aération).
 - **34,32 mg/l** à la sortie de la station (eau épurée).

- Concentration de l'acide humique après irradiation à 16kGy :
 - **29,05mg/l** à l'entrée de la station (eau brute).
 - **56,23mg/l** à la sortie digesteur (sortie bassin d'aération).
 - **9,08mg/l** à la sortie de la station (eau épurée).

I.5.Echantillonnage des eaux usées:

I.5.1. Prélèvements :

La méthode appliquée dans la station est celle de l'échantillon composite qui suit la norme de l'échantillonnage NF EN25667-1 et 2; elle consiste à prélever chaque heure un volume déterminé au minimum 200 ml ; cet échantillon sera conservé au réfrigérateur. Chaque volume prélevé sera bien mélangé avec tous les prélèvements précédents pour constituer l'échantillon moyen sur lequel les analyses seront effectuées. Cette méthode permet donc de récolter une fraction de l'ensemble des matières polluantes qui s'écoulent durant la journée.

L'échantillonnage a été effectué dans trois points de prélèvements bien déterminés qui sont les suivants :

- A l'entrée de la station : Eau Brute (EB).
- A la Sortie du Digesteur : Sortie du bassin d'aération. (ESD)
- A la sortie de la station : Eau Epurée (EE)

I.5.2. Transport et conservation :

Les échantillons sont transportés à une température de +4°C dans une glacière jusqu'au laboratoire, où ils doivent subir des analyses physico-chimiques avant l'irradiation gamma.

Certains paramètres ont été effectués in situ tel que le pH et la conductivité.

En ce qui concerne les autres analyses, celles-ci ont été réalisées au laboratoire quelques heures après le prélèvement. Une partie des échantillons a été conservée pour effectuer l'irradiation et les différentes analyses après irradiation.

I.5.3. Procédure d'irradiation des échantillons :

Pour réaliser l'irradiation, nous avons procédé comme suit : un volume de 500 ml est prélevé de chaque échantillon est exposé au rayonnement ionisant, les débits doses et les doses sont cités en annexe (Tableau A.6).

Nous avons effectué les analyses de paramètres physico-chimiques avant et après le traitement biologique ces mêmes paramètres ont été mesurés avant et après irradiation gamma.

I.5.4. Analyses physico-chimiques :**I.5.4.1. Le pH et la conductivité électrique :**

Le pH et la conductivité électrique des eaux usées ont été déterminés selon les protocoles de l'AFNOR (NF T 90- 008 et NF EN 2788).

I.5.4.2. Détermination des Matières En Suspension(MES) :

La méthode utilisée pour la détermination des matières en suspension est photométrique (Spectrophotomètre DR2800 -Méthode 8006, 2010).

I.5.4.3. La demande chimique on oxygène (DCO) :

Les mesures de la demande chimique en oxygène (DCO) sont réalisées sur l'eau usée brute et l'eau épurée, selon le protocole expérimental de méthode normalisée Méthode 8000. (HACH, 2010 ; Jirka& Carter, 1975).

I.5.4.4. La demande biologique en oxygène (DBO₅) :

La DBO₅ est la masse d'oxygène consommée (mg d'O₂/l) pendant une incubation de 5 jours à 20°C et à l'obscurité, au moyen d'un DBO-mètre par la méthode manométrique. Cette méthode est basée sur la technique respirométrique qui consiste à suivre l'évolution d'une culture en batch en atmosphère clos. Les microorganismes présents dans l'eau consomment l'oxygène dissous qui est remplacé en permanence par de l'oxygène en provenance du volume d'air situé au-dessus de l'échantillon. L'anhydride carbonique formé est piégé par l'hydroxyde de potassium additionné. (Rodier ; 2005).

➤ Le Taux d'élimination :

L'efficacité de traitement par l'irradiation gamma a été calculée selon l'équation suivante (Tahri *et al.*, 2010) :

$$\text{Le Taux d'élimination (R\%)} = [(X_0 - X_d) / X_0] \times 100$$

Où : X₀ : concentration initiale de paramètre (échantillon non irradié)

X_d : concentration de paramètre après l'irradiation

I.5.5. Les analyses bactériologiques :

Le dénombrement des Coliformes consiste à ensemercer de nombreuses prises d'essais d'un même échantillon et/ou de dilutions décimales de celui-ci dans des tubes de milieu de culture liquide. Les prises d'essai de l'échantillon ou des dilutions, sont donc incorporées dans une première série de tubes de milieu non sélectif : c'est le test présomptif.

L'ensemencement de la deuxième série de tubes de milieu plus sélectif par repiquage des tubes ayant donné un résultat positif dans la première série : c'est le test de confirmation.

A partir des résultats, l'estimation ou la numération de la quantité de microorganismes est basée sur un calcul statistique établissant une corrélation entre le nombre de tubes positifs pour différentes dilutions décimales et le nombre de bactéries par 100 ml d'échantillon (le nombre le plus probable NPP) (AFNOR, NF T 90-413, 1985).

I.5.6. La détermination des métaux lourds :

La spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (SAA) est utilisée dans le but de quantifier la teneur en éléments métalliques dans les échantillons des eaux ainsi que dans la boue. Les métaux lourds choisis dans cette étude sont le Fer, le Plomb, le Cadmium, le Cuivre, le Manganèse, le Zinc et l'Argent Selon FDT 90-112.

I.5.6.1. Principe :

La nébulisation par la flamme du spectromètre d'adsorption atomique d'une prise d'essai de l'échantillon (ou de l'échantillon dilué).

Détermination direct de la concentration de chaque élément à l'aide d'une courbe d'étalonnage, soit à partir de l'absorbance spécifique de chacun des éléments à l'aide d'un spectromètre équipé d'un système de correction de fond continu, en l'absence d'un tel système, après avoir effectué une correction pour l'absorbance non spécifique .

Notre étude a concerné l'effluent de la STEP EST de Tizi-Ouzou, les analyses effectuées sur un seul prélèvement d'eau dans trois points différents à savoir : l'entrée de la station, sortie du digesteur et sortie de la station suivant la méthode d'échantillonnage citée précédemment. L'interprétation des résultats mettra en évidence non seulement l'effet de l'irradiation gamma mais également l'efficacité du traitement biologique.

Ainsi nous nous intéresserons à la qualité de l'eau épurée produite par la station après traitement biologique et irradiation aux rayonnements gamma à 16 kGy, qui sera ensuite comparée avec les normes algériennes et internationales de rejet. À partir des résultats obtenus, nous tenterons de classer cette eau en vue de sa réutilisation agricole.

II-1.Paramètres physico-chimiques :

II-1-1.Potentiel Hydrogène (pH):

Les résultats obtenus dans le « Tableau A.5» (voir annexe), ont permis de tracer l'histogramme ci-dessous :

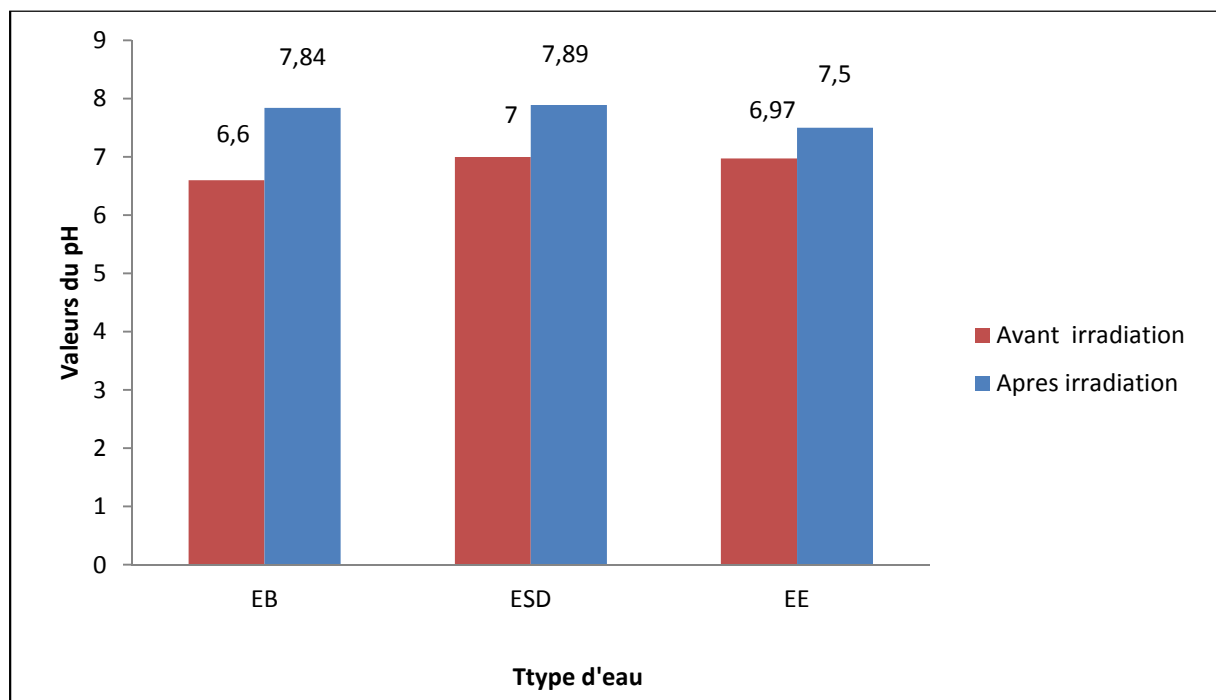


Figure II.2.1.Variation du pH de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.

L'évolution du pH de l'effluent étudié avant irradiation est relativement stable au voisinage de la neutralité, cela peut être expliqué par l'origine de l'eau qui arrive à la station

d'épuration qui est purement domestique avec l'absence systématique de déversements fortement acide ou alcalins.

On remarque une légère diminution du pH à la sortie de la station, ce qui serait probablement due à la minéralisation de la matière organique.

D'après les résultats obtenus après irradiation, à la dose d'irradiation de 16 kGy de l'effluent de la STEP au niveau des trois points de prélèvements étudiés, on remarque que les valeurs du pH, ont connu une légère augmentation due à l'irradiation gamma sous l'effet de la radiolyse de l'eau.

En effet, le rayonnement ionisant induit la décomposition de l'eau ce qui conduit à la formation de radicaux hydroxydes OH^- et donc augmentation du pH.

le pH de l'effluent de la STEP de TIZI-OUZOU rentre dans la gamme des normes de l'OMS qui limite le pH de 6,5 à 8,5 ce qui ne présente aucun effet défavorable ou limitant sur le milieu récepteur.

II-1-2.Température (T°C) :

Les résultats expérimentaux sont représentés dans le « tableau A.5 » (voir annexe) et la figure II.2.2 ci-dessous :

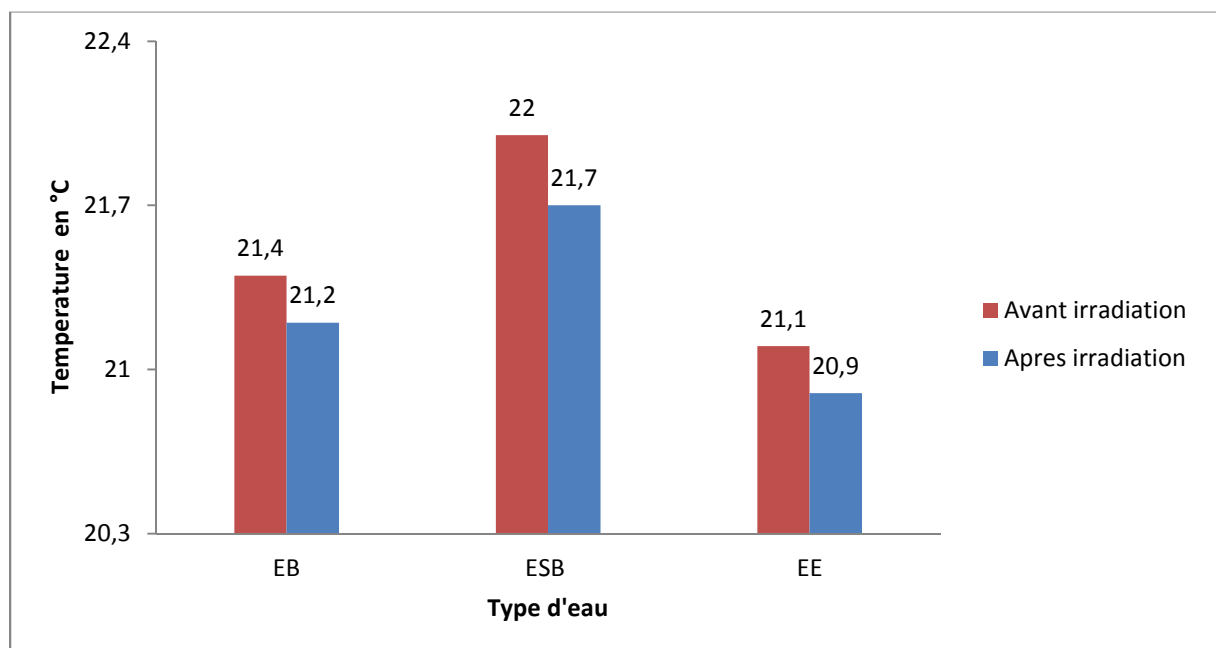


Figure II.2.2.Variation de la Température de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.

Les valeurs de la température d'effluent de la station d'épuration avant irradiation sont de 21,4°C pour l'eau brute, 22 °C et 21,1°C pour l'eau sortie digesteur et l'eau épurée respectivement, cette légère variation est conditionnée essentiellement par la température des rejets domestiques d'une part et des conditions météorologiques d'autre part. La température de l'eau épurée suit celle de l'air ambiant (Rodier *et al.*, 2009).

Après irradiation à 16 kGy on remarque légère diminution de la température ce qui nous permet de dire que le rayonnement gamma n'est en aucun cas une source de chaleur et donc ne chauffe pas l'eau, ce qui est en accord avec les travaux antérieurs d'Al-Ani *et al.*, 2006).

La température est restée pour les trois points étudiés $\leq 30^{\circ}\text{C}$ norme internationale

(OMS, 1989) représentant la gamme favorable à l'activité biologique et ne présente aucune limite pour le milieu récepteur.

II.1.3. La Conductivité électrique (CE) :

Les résultats obtenus dans le « tableau A.5 » en annexe ont permis de tracer l'histogramme ci dessous.

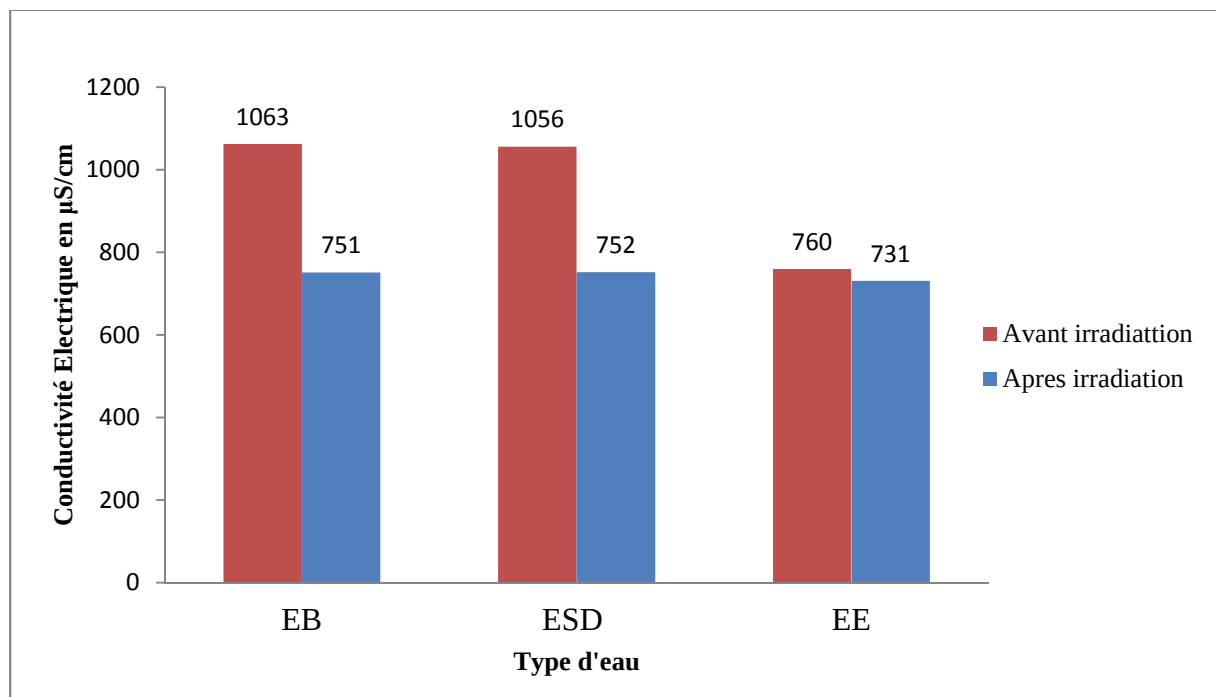


Figure II.2.3. Variation de la conductivité électrique de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.

A la lumière de ces résultats on remarque que les valeurs de la conductivité de l'effluent de la STEP de Tizi-Ouzou avant irradiation sont élevées ; soit 1063 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1056 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour l'eau brute et l'eau sortie digesteur respectivement, ce qui est tout à fait compressible en raison de la présence des sels minéraux non décanter qui sont de très bon conducteur.

A la sortie de la station on remarque une diminution de ce paramètre qui atteint 760 $\mu\text{S}/\text{cm}$ soit un taux d'abattement de 28,50% ce qui attribué à la sédimentation des sels minéraux dans le décanteur qui se sont concentrés dans les boues.

Après irradiation de l'eau à 16 kGy, on remarque une diminution de la conductivité avec un taux d'élimination de 29, 35% ; 28,78 % ; 3,81% pour l'eau brute, eau sortie digesteur et eau épurée respectivement.

Il est connu que les sels organiques ne sont pas des matériaux conducteurs, par contre les sels minéraux tels ; le calcium, le magnésium, le sodium, les chlorures, les sulfates, et les bicarbonates sont des matériaux très conducteurs lorsqu'ils sont dissous dans l'eau. En outre, le rayonnement dégradent partiellement les matériaux inorganiques, par conséquent, la valeur de la conductivité diminue légèrement après irradiation (Al-Ani *et al.*, 2006).

Les valeurs de la conductivité de l'eau épurée restent inférieures à 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, norme exigée à la fois pour les eaux destinées à l'irrigation que pour leurs rejets directs dans le milieu récepteur.

II.1.4. Les matières en suspensions (MES) :

Les résultats obtenus dans le « tableau A.5 » en annexe ont permis de tracer l'histogramme ci dessous.

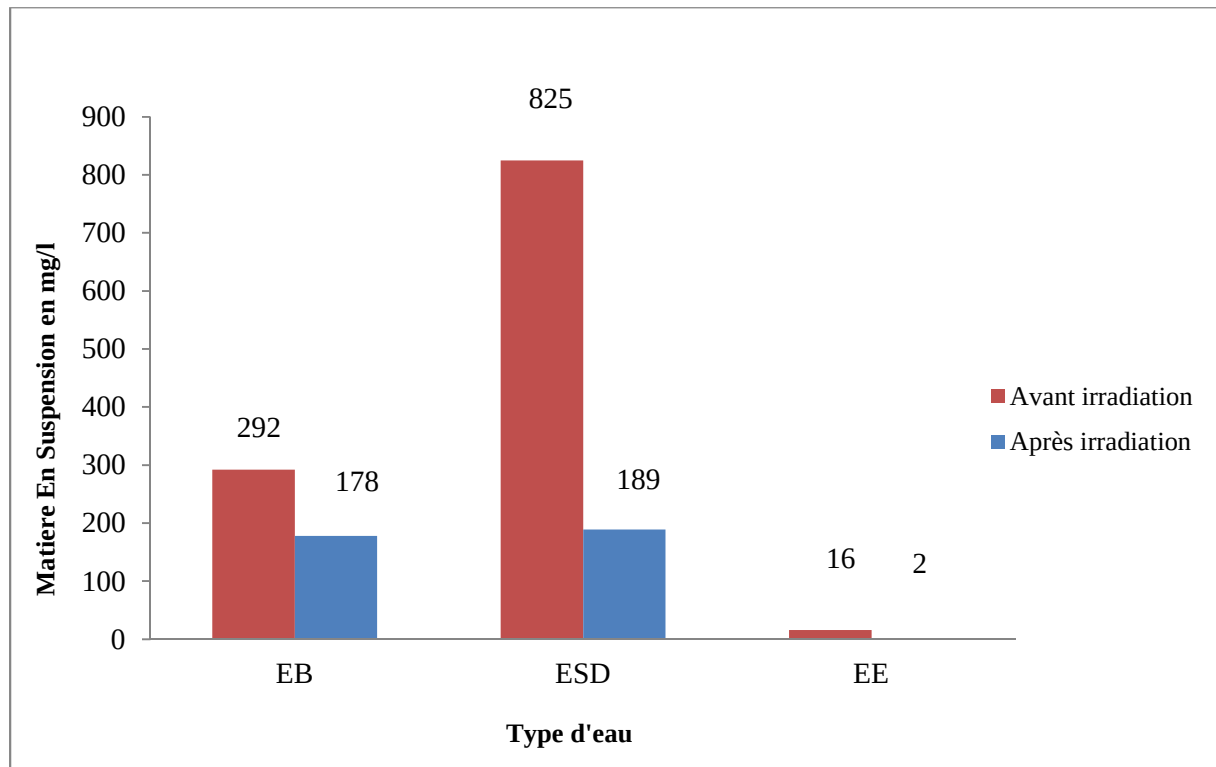


Figure II.2.4. Variations des Matières En Suspension de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.

L'analyse des eaux usées de la ville de Tizi-Ouzou avant irradiation montre que les concentrations en (MES) sont très élevées soit 292 mg /l ceci est dû à la charge importante en matières organiques et minérales engendrée par les rejets de la population. La concentration en MES augmente ou elle atteint 825mg/l en raison de la richesse du bassin biologique en MES.

Le résultat enregistré à la sortie est faible de 16 mg/l, cette diminution est dû au traitement de décantation qu'a subi l'eau usée, avec un rendement important de 94,52%, ce qui donne une idée sur l'efficacité du traitement biologique.

Après irradiation les teneurs en MES ont montré une diminution par rapport aux valeurs initiales, le pourcentage d'élimination a atteint 95,12 % pour l'eau épurée et 39,4% et 77,09% pour brute et sortie digesteur respectivement.

Les MES ont diminué, car ils ont été convertis en précipités sous forme d'agrégats qui se sédimentent au fond du bassin résultant de la dégradation des substances organiques dans les eaux usées. Ces résultats sont en accord avec les travaux antérieurs d'Al-Ani et Al-Khalidy en 2006. Les rayonnements ionisants ont aussi la capacité de neutraliser les charges sur les particules colloïdales ou en suspension et provoquent leur décantation. Ce processus n'est pas complètement expliqué, mais il semble dépendre de la dose absorbée et le pH de l'eau (IAEA, 2007).

La concentration des MES dans l'eau épurée avant et après irradiation reste inférieure à la norme de rejet de l'OMS qui de 30 mg/l et à celle du journal officiel algérien limitée à 40 mg/l (JORA.2006)

La présence de matière en suspension dans les eaux usées ne constitue pas, sauf cas très particulier, un obstacle à la réutilisation de ces eaux. Bien au contraire, elle contribue à la fertilité des sols. Cependant, l'expérience montre que le maintien d'une concentration importante en matière en suspension dans les eaux usées gêne considérablement l'efficacité des traitements destinés à éliminer les germes pathogènes (FAO, 2003).

II.1.5. La Turbidité :

Les résultats expérimentaux obtenus sont représentés dans le « tableau A.5 » en annexe et la Figure II.2.5.

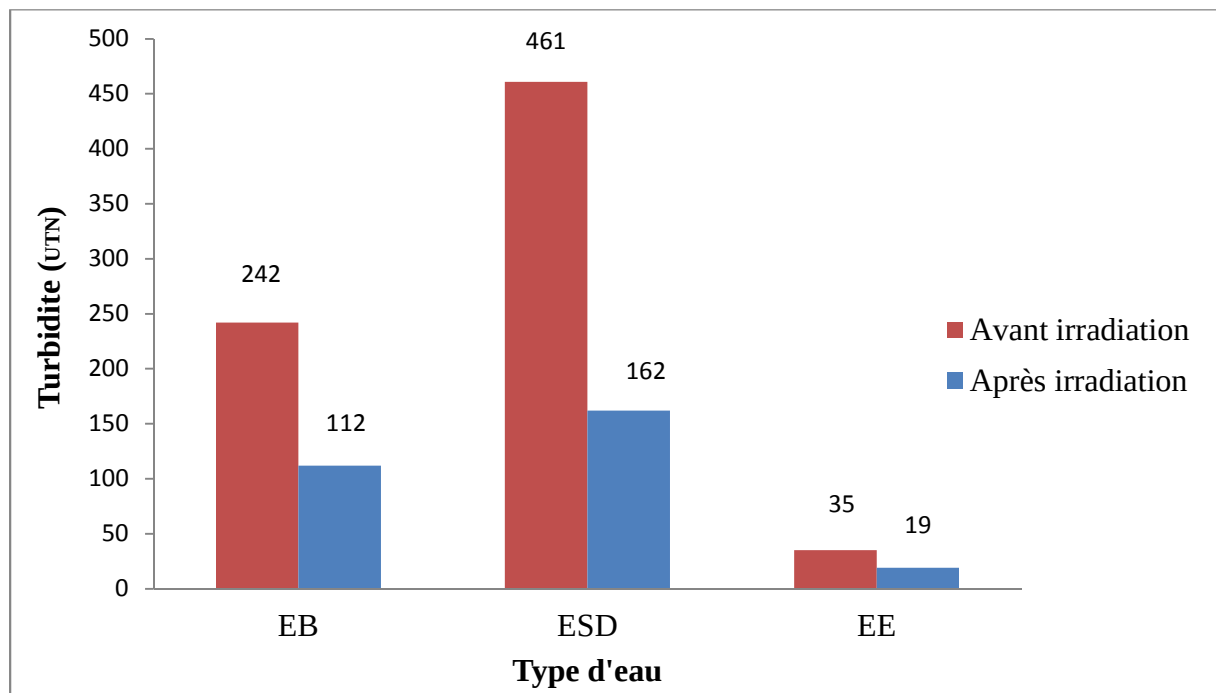


Figure II.2.5. Variations de la turbidité de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.

Les valeurs de la turbidité enregistrées dans les eaux usées avant irradiation sont de 242 UTN pour l'eau brute puis augmente dans le bassin biologique à 461 UTN à la sortie de la station la turbidité diminue avec un rendement de 85,53%.

Après irradiation nous avons enregistré une chute de la turbidité à des taux d'éliminations de 53,71%, 64,85% et 45,71% pour l'eau brute, eau sortie digesteur et eau épurée respectivement.

En effet, ceci souligne le rôle du rayonnement gamma qui détruit les particules colloïdales, mais aussi les microorganismes pathogène puisque il à été établit une relation entre la turbidité de l'eau et la présence de microorganismes pathogènes. La turbidité représente un indicateur de présence de matières particulaires, renseigne donc indirectement sur la présence de microorganismes, plus la teneur en particules de l'eau est élevée, plus il est probable de trouver des microorganismes (Santé Canada, 1995).

II.1.6.La demande biologique en oxygène (DBO₅) :

Les résultats expérimentaux obtenus lors de notre étude sont illustrés par le « tableau A.5 » en annexe et la figure II.2.6 ci-dessous.

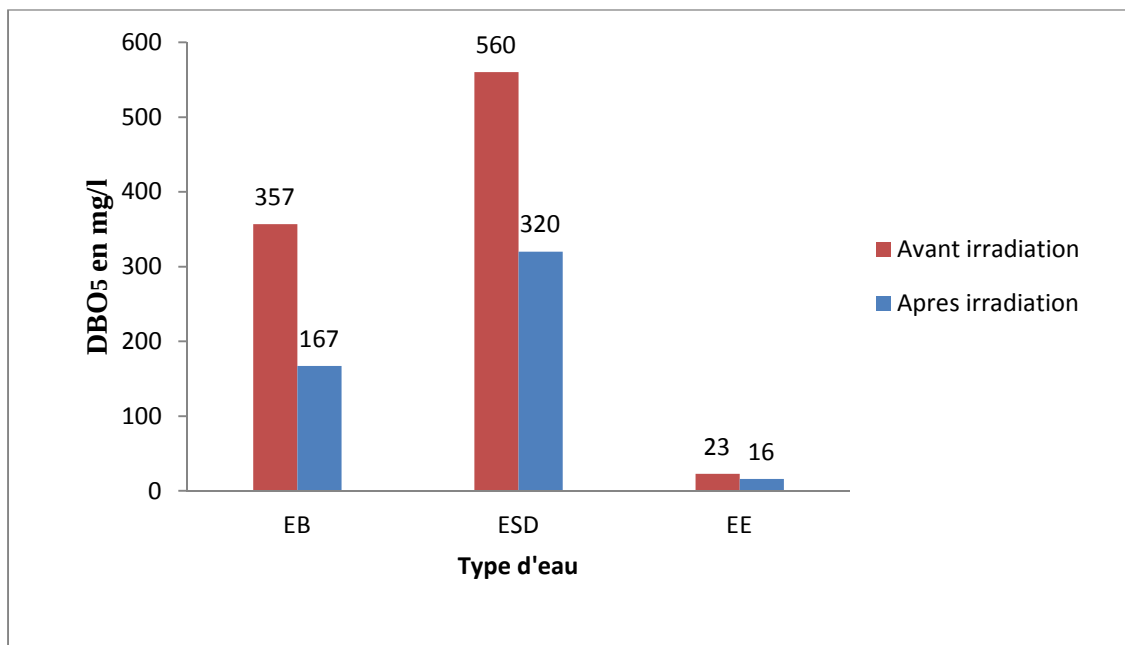


Figure II.2.6. Variations de la DBO₅ de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation

Les valeurs de la DBO_5 enregistrées au sein de la STEP de TIZI-OUZOU avant irradiation sont relativement élevées pour l'eau brute (357 mg/l) , ce qui est tout à fait compréhensible, car les eaux usées domestiques sont chargées en matières organiques biodégradables.

La valeur de la DBO_5 enregistrée au niveau de la sortie de la station d'épuration est de 16 mg /l .soit une diminution de 95,51 %

Cette réduction de la DBO_5 selon CARDOT souligne le rôle des bactéries aérobies et micro-organismes épurateurs qui assurent la dégradation et la transformation de la matière organique en utilisant l'oxygène permettant donc l'élimination de la pollution organique, ainsi que le bon Fonctionnement du clarificateur.

Les valeurs enregistrées après irradiation dans l'EB, ESD, EE sont 167 mg/l, 320 mg/l 16 mg/l respectivement, on remarque une diminution de la DBO_5 avec un taux d'élimination de l'ordre de 30,43% pour l'eau épurée 53,22 % Pour l'eau brute 42,85 % pour sorti digesteur.

Cette réduction est due essentiellement à la destruction des micro-organismes responsables de la consommation d'oxygène. Il est connu que les micro-organismes sont très sensibles à des impulsions de rayonnement.

En plus de l'élimination des microorganismes responsables de la consommation d'oxygène, les études menées par Cooper *et al.*, 2001montrent que la réduction de la DBO_5 pourrait être due à l'effet direct et / ou indirect du rayonnement sur la destruction de la matière organique ;l'effet direct à cause de la forte activité de l'énergie des rayonnements gamma qui modifie les caractéristiques des polluants dans les eaux usées (IAEA, 2002).L'effet indirect est dû aux radicaux libres produits par radiolyse de l'eau.

II.1.7.La demande chimique en oxygène (DCO):

L'effet de l'irradiation gamma sur l'oxydation des polluants organiques dans les eaux usées a été déterminé par la mesure de la valeur de la DCO.

Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau A.5 en annexe et la Figure II.2.7 ci-dessous.

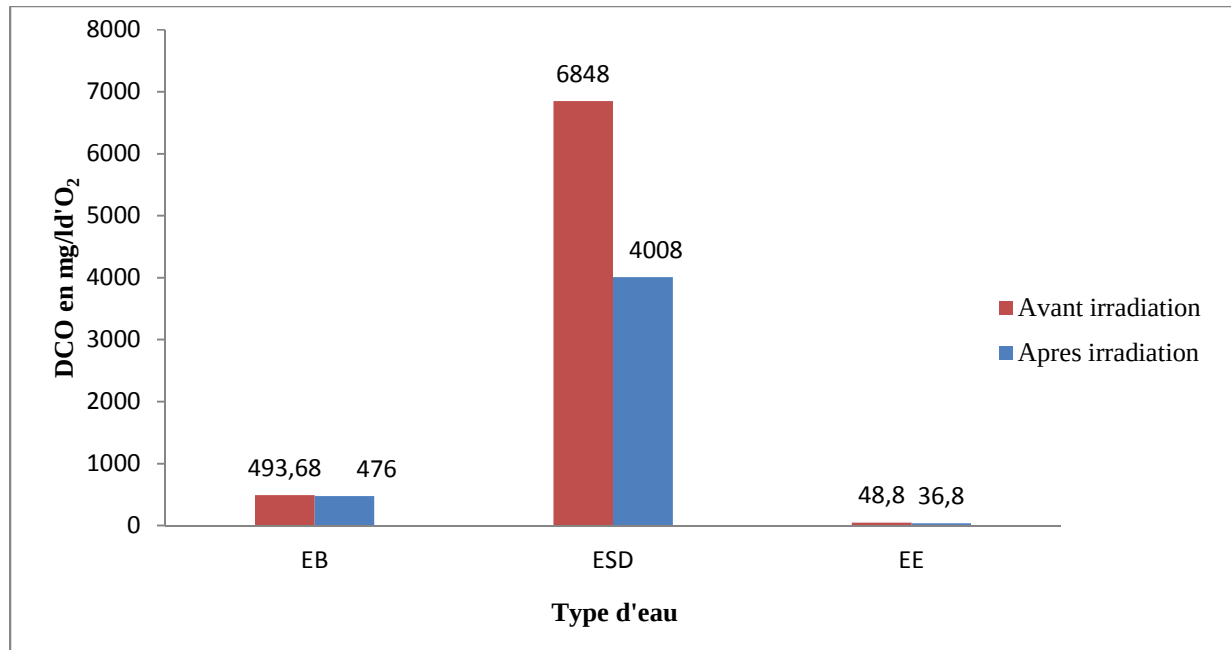


Figure II.2.7. Variations de la DCO de l'eau brute, eau sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation

La valeur de la DCO enregistrée avant irradiation à l'entrée de la STEP est de 493,68 mg/l ; tandis que celle de la sortie de la station est de 48,8 mg/l soit un taux d'abattement de 90,11 % cette réduction est due à la dégradation de la matière organique et à l'oxydation des matières minérales lors du traitement biologique.

Cependant, après irradiation gamma à 16 kGy, nous avons remarqué une légère diminution de la DCO pour l'eau brute qui passe de 493,68 à 476 mg/l, de 6848 à 4008 mg/l pour sortie digesteur et de 48,8 à 36,8 pour l'eau épurée.

Cette réduction peut être expliquée par l'importante oxydation et la destruction des composés organiques dans les eaux usées (Duarte *et al.*, 2000, Basfer *et al.*, 2002) et ceci est un objectif très important à atteindre lors du traitement des eaux usées urbaines, qui sont très riches en matières organiques (Tahri *et al.*, 2010).

Melo *et al* en 2008, ont expliqué dans leurs études la diminution de la DCO après irradiation, par le fait que la dégradation des polluants complexes est liée à leur transformation en substances à petit poids moléculaire, qui sont des molécules facilement dégradables.

Toutefois ces valeurs restent dans les normes fixées par le journal officiel de la République Algérienne en 2006.

II.1.8. Les matières azotées :

L'azote est présent dans les effluents sous différentes formes : azote organique, azote ammoniacal (ion ammonium NH_4^+), nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-) ; (Koller, 2004).

L'évolution des NH_4^+ , NO_3^- et NO_2^- de l'eau brute de l'eau sortie digesteur et de l'effluent traité avant et après irradiation est portée dans le « tableau A.5 » en annexe.

II.1.8.1. Ammonium (NH_4^+) :

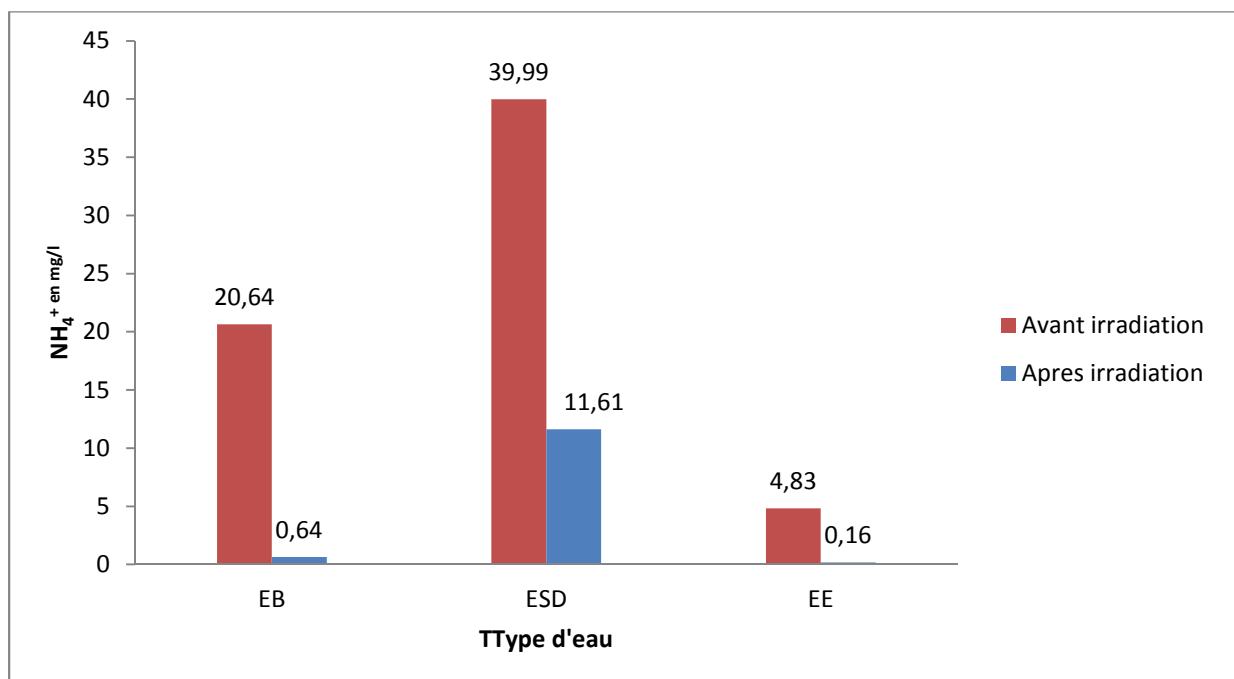


Figure II.2.8. Variations du NH_4^+ de l'eau brute, sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.

La teneur en ammonium enregistrée au niveau des eaux usées brutes de la STEP de TIZI-OUZOU est élevée, elle est de l'ordre de 20,63 mg/l. La présence d'ions NH_4^+ dans les eaux usées a comme origine les urines, elle traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique lorsque la teneur en oxygène est insuffisante pour assurer sa transformation. Cela explique l'élévation des teneurs en NH_4^+ de l'eau usée avant le traitement.

On constate une baisse de la teneur en ammonium de l'entrée (25,14) vers la sortie (4,83 mg/l) de la station avec un taux d'élimination qui est de 76,60%, cette diminution de la

teneur en azote ammoniacal au niveau de la station d'épuration vers la sortie est le fait du processus d'épuration biologique par boues activées qui permet de diminuer la charge polluante en NH_4^+ .

Après irradiation à la dose de 16 kGy on remarque une baisse des ions NH_4^+ au niveau des différentes eaux à savoir l'eau brute, l'eau sortie digesteur et l'eau épurée avec des taux d'abattement très élevés : 97,77% dans les eaux brutes, 76,96% dans le bassin biologique et enfin 96,68% dans les eaux épurées.

Cette baisse est mise en œuvre par une réaction chimique dite nitrification autotrophique qui fait appel à des bactéries nitrifiantes (ex : *Nitrosomonas europaea*; *Nitrobacter*), cette nitrification présente un grand intérêt en raison de la moindre toxicité de la forme nitrique par rapport aux formes ammoniacales et nitreuses.

II.1.8.2. Les nitrites (NO_2^-) :

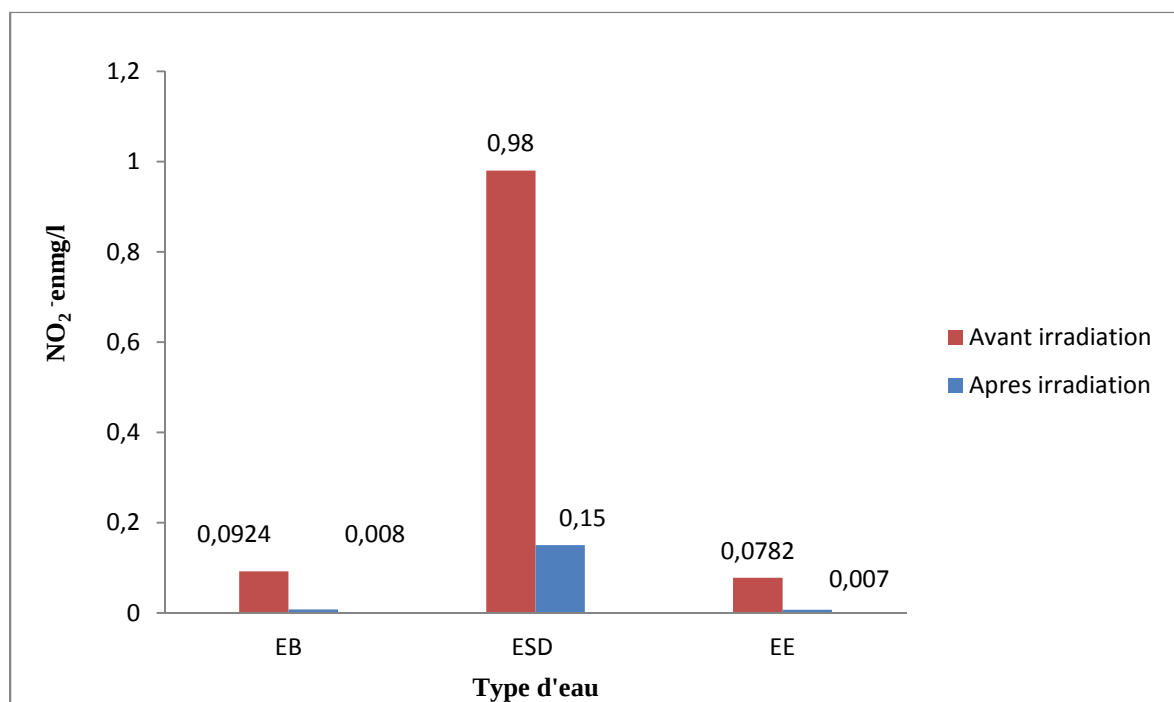


Figure II.2.9. Variations du NO_2^- de l'eau brute, sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.

D'après les résultats obtenus, au cours de la campagne d'étude, on remarque que la teneur en nitrites des eaux, à savoir brutes et traitées est très faible. Ainsi, la différence de ces

valeurs entre l'entrée et la sortie nous renseigne sur une légère variation, dont les valeurs se situent entre 0.092 mg/l au niveau des eaux brutes 0,98 mg/l dans les eaux sortie digesteur et 0,078 dans les eaux épurée. Ceci est fonction de la qualité d'eau usée.

Les valeurs signalées après traitement à l'irradiation diminuent de l'entrée vers la sortie de la STEP avec un taux d'élimination qui atteint 91,39 % dans les eaux brutes, 84,69%% dans les eaux sortie digesteur et 91,04% dans les eaux épurées.

Les faibles concentrations en nitrites rencontrées au niveau des eaux usées de l'effluent étudié, pourraient être expliquer par le fait que l'ion nitrite (NO_2^-) est un composé intermédiaire, instable en présence de l'oxygène, dont la concentration est généralement très inférieure à celle des deux formes qui lui sont liées, les ions nitrates et ammonium.

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque où la nitrification n'était pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant à des températures élevées, cette dernière joue un rôle important pour le fonctionnement du système de traitement (Choubert, 2002).

Cependant, la concentration des nitrites au cours du suivi (0,0078 mg/l) est inférieure aux normes internationales des eaux de rejet selon l'OMS (1989)($<1\text{mg/l}$) .

II.1.8.3.les Nitrates (NO_3^-) :

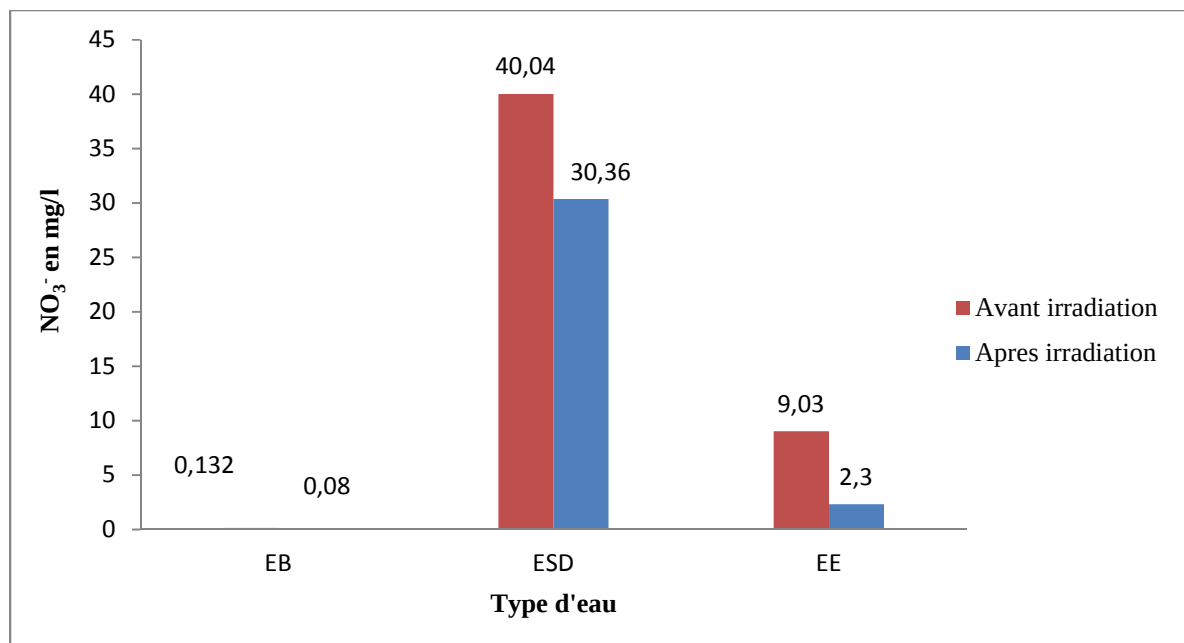


Figure II.2.10. Variations du NO_3^- de l'eau brute, sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation

D'après les résultats obtenues avant irradiation, on constate que le taux des nitrates a augmenté considérablement au niveau des eaux traitées biologiquement par rapport aux eaux brutes qui va de 0,132 mg/l à 9,03 mg/l.

Après irradiation on note une diminution considérable au niveau des différentes eaux avec un rendement qui est égal à 93,93% pour l'eau brute, 40,04% pour l'eau de sortie digesteur et 75% pour l'eau épurée.

Les faibles teneurs en nitrates au niveau des eaux brutes sont probablement dues au fait que l'azote contenu dans les eaux résiduaires domestiques a essentiellement une origine humaine. On estime environ 13g/jour d'azote rejeté par un être humain adulte, sous forme essentiellement organique, présent dans l'urine (Chocat, 1997). C'est donc sous les formes organiques et ammoniacales que l'azote est présent dans les eaux usées que devront traiter les stations d'épuration.

Ainsi, le transfert dans l'égout, véritable réacteur biologique, entraîne la réduction de ces nitrates, essentiellement en azote gazeux (Choubert, 2002).

L'élimination biologique de l'azote s'organise selon deux phases successives que sont la nitrification et la dénitrification, antagonistes du point de vue de l'oxygène.

La présence des microorganismes autotrophes vis-à-vis de l'azote, dégradent les protéines en azote ammoniacal. Les bactéries autotrophes telles que *Nitrosomonas* et *Nitrobacter*, transforment l'azote ammoniacal (NH_4^+) en présence d'oxygène pour produire des nitrites (NO_2^-) puis des nitrates (NO_3^-) ; ces deux étapes mettent en œuvre l'oxydation de ces différents substrats par des bactéries aérobies qui en tirent l'énergie nécessaire à leur chimiosynthèse (Faurie *et al.*, 2005).

La capacité d'aération est en effet souvent suffisante pour assurer une nitrification poussée. Le plus souvent, au niveau des petites stations d'épuration, les aérateurs étant généralement surdimensionnés par rapport à la charge polluante reçue (Chachuat *et al.*, 2007), Ce qui explique le taux élevé des nitrates dans l'effluent traité. Les eaux épurées sont très chargées en nitrates mais en moyenne restent inférieurs aux normes de eaux de rejet selon l'OMS (1989) (<50mg/l).

II.1.9. Les ortho phosphates (PO_4^{3-}):

Le phosphore des eaux usées est constitué : de phosphore inorganique essentiellement des polyphosphates et des orthophosphates dont une part provient de l'hydrolyse des polyphosphates, de phosphore organique : phospholipides, esters, polynucléotides, ATP, ADP, (Deronzier et Choubert, 2004).

L'évolution de la concentration en PO_4^{3-} des différents points de prélèvement avant et après irradiation est portée dans le « tableau A.5 » en annexe.

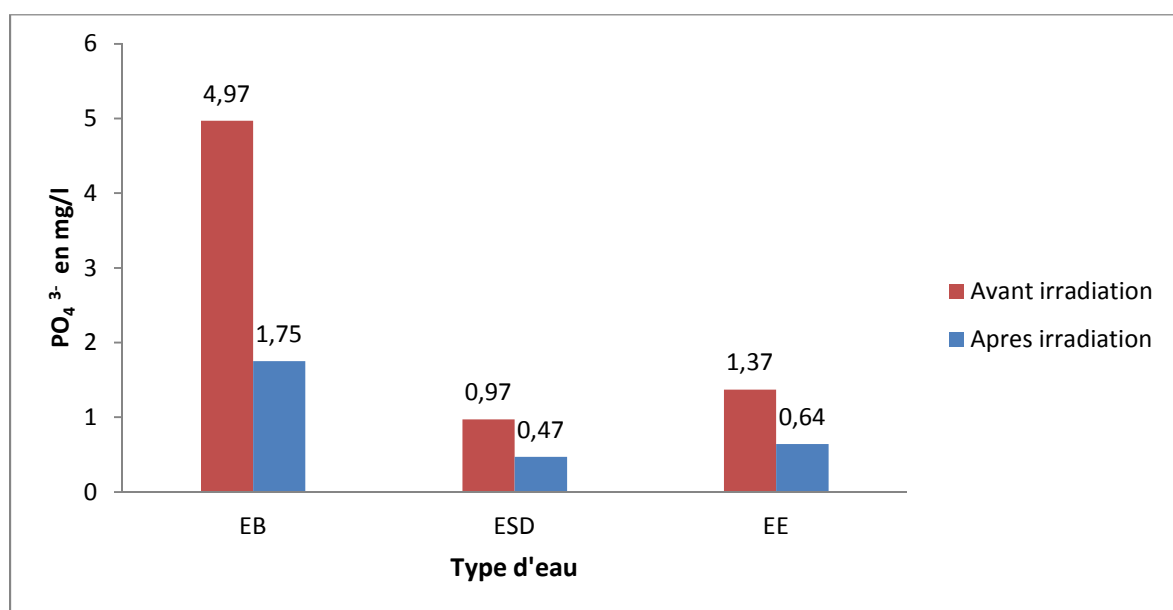


Figure II.2.11. Variations du PO_4^{3-} de l'eau brute, sortie digesteur et de l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU avant et après irradiation.

L'origine du phosphore dans les eaux usées domestiques provient du métabolisme humain ; un homme excrète entre 1 et 2 grammes de phosphore par jour ce qui représente 30 à 50% du phosphore total (Dernat *et al.*, 1994); et les rejets de détergents qui sont à l'origine de 50 à 70% du phosphore. Ces détergents et en particulier, les lessives contiennent des polyphosphates. Ces polyphosphates sont ensuite rejetés au cours du rinçage et ont tendance à s'hydrolyser en phosphates dans les eaux usées (Franck, 2002).

Les micro-organismes assurant la dégradation du carbone et de l'azote intègrent du phosphore à leur matériel cellulaire (structure membranaire, ATP et ARN). La part de phosphore éliminée, simplement par cette voie, représente environ 25 % de la quantité journalière à dégrader (Deronzier et Choubert, 2004).

De ce fait, les phosphates échappent en majeure partie (80%) au traitement des stations d'épuration biologique classique (boues activées). Ainsi ils se retrouvent dans les rejets essentiellement sous forme d'ortho phosphates (PO_4^{3-} , H_2PO_4 , HPO_4^{2-}) (Rodier *et al.*, 2005).

Dans le bassin d'aération : on note une diminution des orthophosphates la concentration est passée de 4,49 mg/l à 0,97 mg/l soit un taux d'abattement de l'ordre de 78,39 % en effet il ya une assimilation du phosphore par les micro-organismes et production de biomasse avec reconstitution de réserves.

Dans des conditions optimales, la respiration (oxygène) produit l'énergie nécessaire aux bactéries qui régénèrent leurs stocks de polyphosphates et croissent.

En absence d'oxygène ; les bactéries dephosphatantes synthétisent un produit de réserves les poly- β - alcanoates (PHA) à partir de substrat facilement biodégradable des eaux usées et de l'énergie libérée par l'hydrolyse de polyphosphate, il en résulte un relargage de phosphate dans le milieu externe ce qui expliquerait l'augmentation des orthophosphates dans les eaux épurées la concentration est passée de 0,97 à 1,37 mg/l

Après irradiation on constate que cette concentration est passée de 4,97 à 1,75 mg/l pour les eaux brutes, de 0,97 à 0,47 mg/l dans le bassin biologique et de 1,37 à 0,64 mg/l dans les eaux épurées avec un rendement qui est de 64,78 % dans les eaux brutes, 51,54 % et 53,28% dans les eaux su sortie digesteur et eau épurée respectivement.

Toutefois la valeur enregistrée à la sortie de la station reste conforme aux valeurs limites des paramètres de rejet dans le milieu récepteur selon le Journal Officiel de la République Algérienne 2006 (< à 2 mg/l).

➤ Effet de l'irradiation gamma sur les paramètres de pollution de l'environnement :

Les résultats expérimentaux de cette partie montrent que l'abattement simultané de l'azote et du phosphore est plus important après irradiation :

Dans le bassin d'activation on a mis en évidence une nitrification importante qui se traduit par un rendement qui est de l'ordre de 98, 79%

Une assimilation du phosphore par les micro-organismes est également observée avec un taux de 73,14 % ainsi qu'une oxydation de l' NH_4^+ qui est de l'ordre de 96,03 %.

Phase d'aérobie :

- Nitrification 98,79%.
- Oxydation et transformation de l' NH_4^+ 96,03 %.
- Assimilation de phosphore 73,14 %.

Phase d'anoxie :

- Dénitrification 92,42 % .
- Relargage de phosphore 21,66 %.

II.2.Paramètres microbiologiques :

La nature de la population microbienne est très variée dans les eaux usées (Rodier,2005). Les bactéries sont couramment recherchées dans l'eau, principalement comme témoins de contamination fécale (Gaujous, 1995).

L'OMS (1989) a choisi plusieurs témoins répondant à certaines exigences ; il s'agit des coliformes, des streptocoques fécaux, et parfois les *Clostridium perfringens* ; la raison de ce choix réside dans le fait que la numération de ces bactéries est beaucoup plus simple et rapide (entre 24 et 48h), que celle des germes pathogènes nécessitant; généralement plusieurs jours d'identification sérologique (Gauthier et Pietri, 1998).

Dans notre étude on s'est intéressé essentiellement aux *coliformes fécaux* et *Escherichia coli* pour les raisons suivantes :

Les coliformes sont ubiquitaires et peuvent se trouver dans les eaux naturelles. la détermination du nombre total des coliformes n'est pas considérée en général comme un bon indicateur pour déterminer la présence ou non des microorganismes pathogènes, seulement *Escherichia coli* reste l'indicateur le plus fiable pour déterminer la présence ou l'absence d'une pollution indiquant une contamination fécale.

Ainsi, *Escherichia coli* qui est un excellent témoin de contamination fécale est beaucoup moins résistant dans l'environnement ou à des traitements de désinfection que de nombreux germes pathogènes et même que d'autres indicateurs de pollution fécale (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, 1995).

Les résultats des analyses bactériologiques sont représentés dans le tableau II.2.1

Tableau II.2.1. Récapitulatif des résultats des analyses microbiologiques des eaux usées de la STEP de Tizi-Ouzou avant et après irradiation.

Type d'eau \ Germes	Avant irradiation		Après irradiation	
	CF (germes/100ml)	<i>E.Coli</i>	CF (germes/100ml)	<i>E.Coli</i>
Eau brute	45.10 ⁴	36. 10 ⁴	0	0
Eau sortie digesteur	20.10 ⁴	16.10 ⁴	0	0
Eau épurée	15.10 ³	12.10 ³	0	0

D'après les résultats obtenus avant irradiation on remarque la présence de coliformes fécaux et d'*Escherichia coli* dans les eaux des différents points de prélèvement, le nombre de coliformes fécaux et d'*E.Coli* dans l'eau brute est de 45. 10⁴ et 36.10⁴ germes/100 ml comparant à l'eau épurée qui est de 15.10³ et 12.10³ germes/100ml, l'équivalent d'un rendement de 66,66%. Ce résultat est en accord avec ceux obtenus par (Emer *et al.*, 2011) et (Block en 1982) qui ont conclu que l'épuration par boues activées lorsqu'elle est correctement conduite, permet une élimination des bactéries Coliformes au environ de 61,99 %.

D'après l'origine de ces eaux, étant trop chargée en germes issus de la flore intestinale de l'être humain, la réduction de leur nombre après épuration biologique résulte selon (Block, 1982), d'un ensemble de facteurs : décantation, adsorption et prédation.

Après irradiation à une dose de 16 kGy on remarque une élimination totale de 100% de germes pathogène cela est induit par l'efficacité du rayon gamma à inactiver les microorganismes pathogènes qui interagissent soit par effet direct (Wang JI et Wang Jh ,2007) avec un site sensible à l'organisme, habituellement l'acide désoxyribonucléique (ADN) qui dirige la reproduction cellulaire et la synthèse des composants de la cellule ,qui finira par affecter la capacité de la cellule à se reproduire et de survivre et donc sa destruction. Ou d'une façon indirecte due à la formation des principaux produits de radiolyse de l'eau et leurs interactions avec les particules de la cellule (Emre *et al.*, 2011).

II.3. Résultats des métaux lourds :

On a étudié l'effet de l'irradiation gamma sur les teneurs de quelques métaux lourds présents dans les eaux usées à savoir le Cadmium (Cd), Argent (Ag), Plomb (Pb), Cuivre (Cu), Fer (Fe), Zinc (Zn) et le Manganèse (Mn).

Nous avons constaté que les teneurs en Cadmium (Cd), Argent (Ag) le Cuivre (Cu) et le Plomb (Pb) dans les différentes eaux prélevées sont inférieures à la limite de détection. Dans ce cas aucun changement n'a été observé pour ces éléments après irradiation.

Les résultats des autres éléments sont représentés dans les figures suivantes :

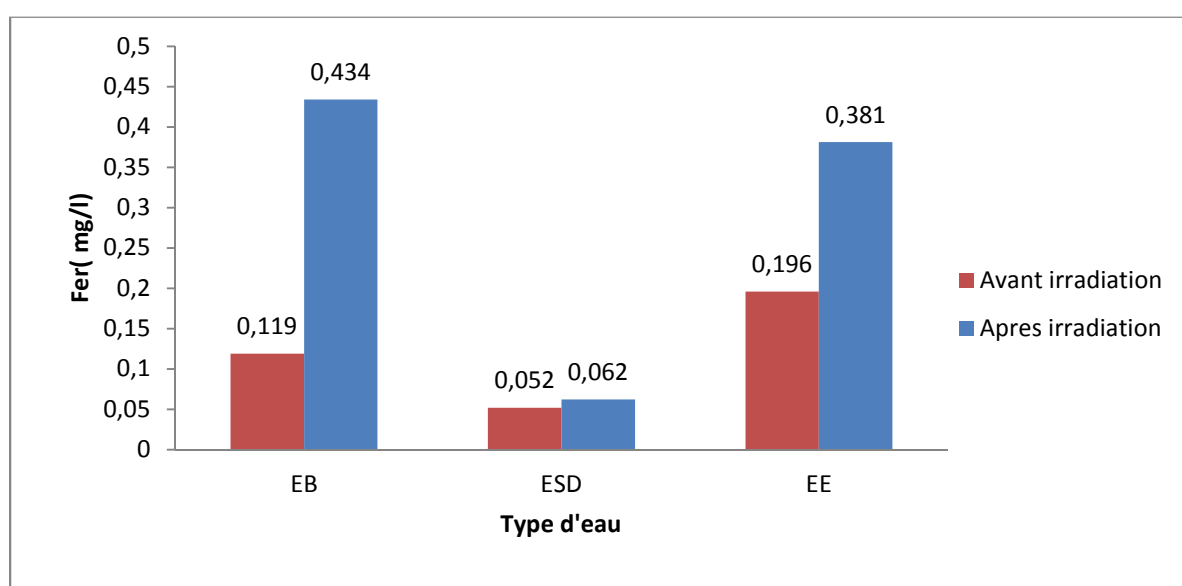


Figure II.2.10. Evaluation de la concentration du Fer avant et après irradiation de l'eau brute, eau sortie digesteur et l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU.

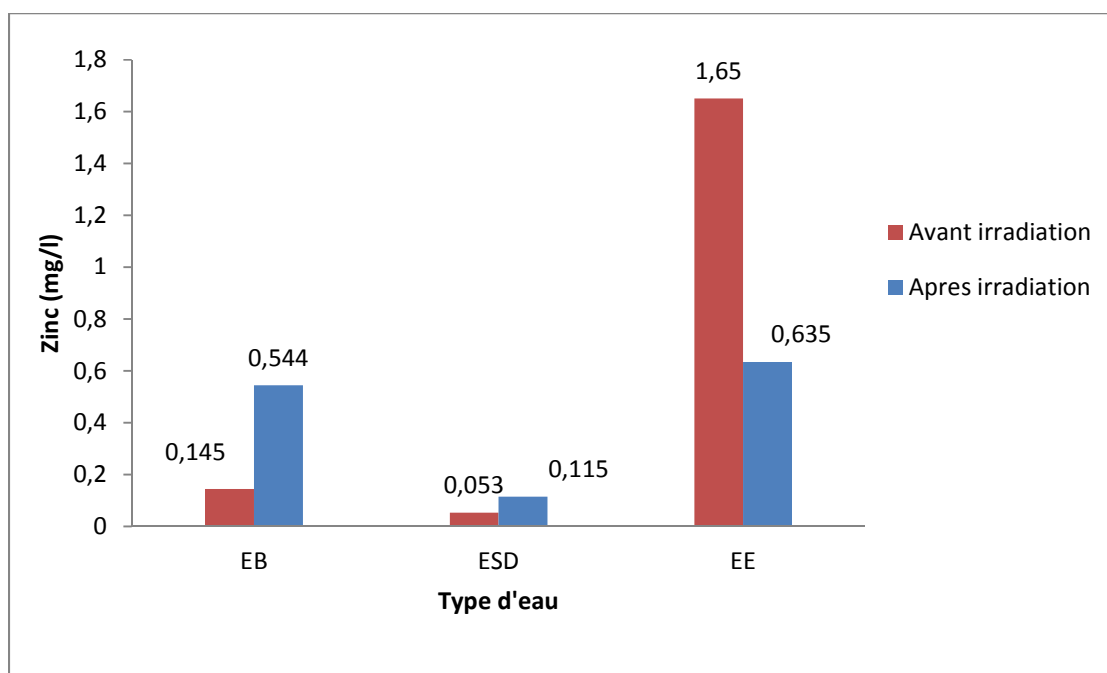


Figure II.2.11. Evaluation de la concentration du Zinc avant et après irradiation de l'eau brute, eau sortie digesteur et l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU.

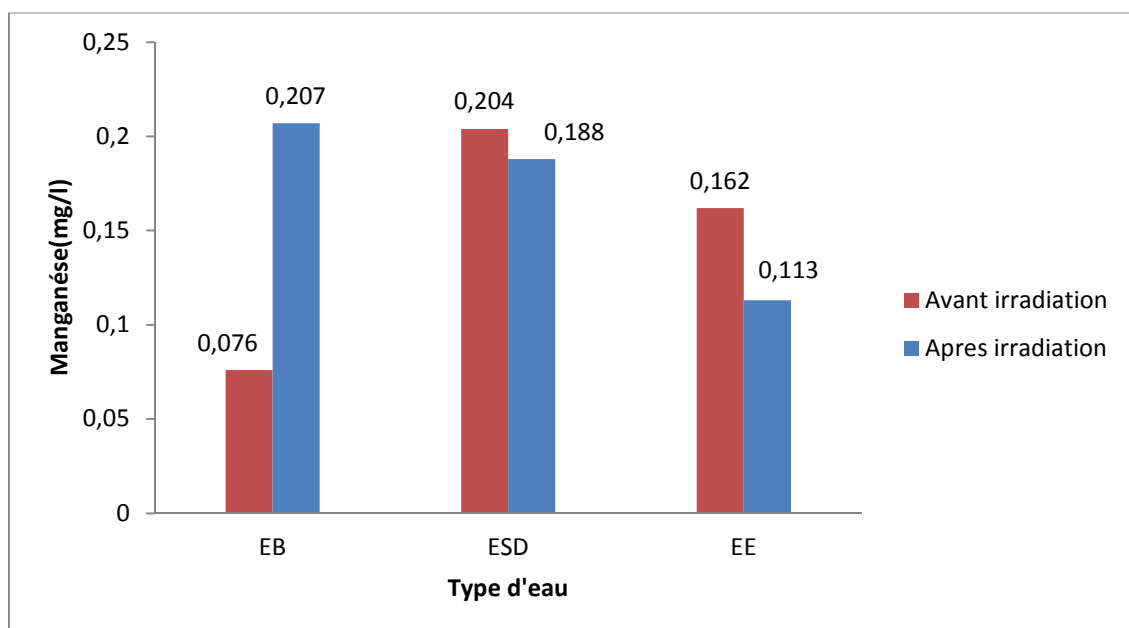


Figure II.2.12. Evaluation de la concentration du Manganèse avant et après irradiation de l'eau brute, eau sortie digesteur et l'eau épurée de la STEP de TIZI-OUZOU.

D'après les figures II.2.10, II.2.11, et II.2.12 on constate une légère augmentation de la concentration du zinc, du Fer et du Manganèse après irradiation à 16 kGy et cela dans les eaux brute, eau sortie bassin et dans l'eau épurée.

En effet, au cours de l'irradiation la décomposition de structures organiques conduit à une libération des métaux ce qui expliquerait leur augmentation après irradiation (Amir, 2005).

Par ailleurs, la concentration en métaux lourds après irradiation reste inférieure aux normes Algérienne.

Conclusion générale

Conclusion :

A travers ce travail de recherche nous avons étudié l'efficacité de l'irradiation gamma sur la charge polluante des eaux usées de la station d'épuration EST de TIZI-OUZOU.

Dans un premier temps nous avons effectué des analyses des eaux usées brutes, des eaux sortie digesteur et des eaux épurées avant et après irradiation à une dose qui est égale à 16 kGy

Les paramètres de pollution des eaux usées traitées déterminés, (matières en suspension(MES), demande chimique en oxygène (DCO), demande biologie en oxygène (DBO₅), le phosphore P-PO₄³⁻, les formes d'azote : (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻,) ont montrés une diminution de leur concentration après irradiation gamma dans les différentes eaux étudiées et les valeurs de ces paramètres sont dans les normes requises pour leur rejet direct dans le milieu aquatique et sont donc sans aucunes nuisances pour l'environnement.

Le coefficient de biodégradabilité DCO/DBO₅ trouvé est de 2 ,02 indique que les eaux usées rejetées sont de nature biodégradable.

Les rendements obtenues après le traitement biologique pour les différents paramètres DBO₅, DCO, MES; 96,92%, 90,11 % ; 95,51 %, respectivement ces résultats témoignent de la bonne efficacité du système de traitement mis en place (traitement à boues activées).

Les rendements obtenus après irradiation pour ces mêmes paramètres DBO₅, DCO, MES 53,22 %, 41,47%, 95,12 %.ces résultats témoignent de la bonne efficacité du traitement à l'irradiation gamma.

On constate que le rayonnement gamma a une meilleure efficacité sur les matières azotées et phosphorées ainsi on note des rendements de l'ordre de : 97,77% dans les eaux brutes, 76,96% dans le bassin biologique et enfin 96,68% dans les eaux épurées. Pour l'azote ammoniacal (NH₄⁺) ; 91,39 % dans les eaux brutes, 84,69%% dans les eaux sortie digesteur et 91,04% dans les eaux épurées pour les nitrites (NO₂⁻). ;39.39% pour l'eau brute, 40,04% pour l'eau de sortie digesteur et 75% pour l'eau épurée pour les nitrates (NO₃⁻). ;64,78 % dans les eaux brutes, 87,50% et 53,28% dans les eaux sortie digesteur et les eaux épurées respectivement pour les ortho phosphates (PO₄³⁻).

Les résultats des analyses des métaux lourds ont montré que les concentrations en Cadmium (Cd), Argent (Ag) le Cuivre (Cu) et le Plomb (Pb) dans les différents types d'eaux

Conclusion générale

prélevées sont inférieures à la limite de détection. Dans ce cas aucun changement n'a été observé pour ces éléments après irradiation.

Les concentration du zinc (Zn), Fer (Fe) et du Manganèse (Mn) sont inférieures aux normes requises et ne présentent aucune limite ou nuisances pour le milieu récepteur.

Quant aux analyses bactériologiques, les résultats après irradiation gamma montrent une élimination totale des coliformes fécaux (100%) cela montre l'efficacité du rayonnement gamma à inactiver les microorganismes pathogènes.

Au terme de cette évaluation de la charge polluante globale, on conclut que le traitement des eaux usées par l'irradiation gamma présente une bonne efficacité vu les résultats obtenus par les analyses physico-chimiques, bactériologiques, et les analyses des métaux lourds effectuées.

A la lumière de ces résultats, une combinaison de radiations ionisantes à un processus de traitement conventionnel pourrait conduire à de meilleurs résultats dans le traitement des eaux usées.

En conclusion nous pouvons dire que l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus montrent que les eaux usées traitées sont d'une qualité appréciable et qu'elles peuvent être recommandées pour plusieurs domaines d'usage en l'occurrence celui de l'agriculture.

Références bibliographiques

Ait Amara . 2013 : Epuration des eaux usées .Eco News.

Al-Ani Mohammed Y, Firas R , Al-Khalidy. 2006: Use of Ionizing Radiation Technology for Treating Municipal Wastewater. International Journal of Environmental Research and Public Health **3(4)**: 360-368.

Amir S. 2005 : Contribution à la valorisation de boue de station d'épuration par compostage. 341 pp . Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques à l'institut polytechnique Toulouse.

Anctil F. 2008 :l'eau et ses enjeux. 228 pp.

Aquino Silva , Kátia Aparecida .2012: Sterilization by Gamma Irradiation . 320 pp.

Asano T.1998 : Wastewater reclamation and reuse.Ed,Water quality management library ,1475 pp.

Basfar A, Abdel A, Rehim F. 2002 : Disinfection of wastewater from a Riyadh Wastewater Treatment Plant with ionizing radiation. Radiation Physics and Chemistry **65** : 527–53.

Baumont S, Camard J.P, Lefranc A, Franconi A . 2004 : Réutilisation des eaux usées épurées ; risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France ; Observatoire régional de santé d'Ile-de-France : 1-176 .

Block JC .1982 : Elimination des microorganismes au cours de traitement des eaux usées urbaines : points sur l'épuration et le traitement des effluents eau-air. Tome 1. Lavoisier . 217pp.

Boutin K, Alain H, Helmer J-M. 2009 : Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées.

Çaoui Malika . 2009 : Biophysique des rayonnements ionisants Service de Médecine Nucléaire CHU International Cheikh Zaid Faculté de Médecine et de Pharmacie - Laboratoire de Biophysique Université Mohamed V – Rabat.

CARDOT Claude. 1999 :Les traitements de l'eau – Procédés physico-chimiques et biologiques. Ellipses .Paris . 247pp.

Chachuat E, Roche N , Latifi M. A. 2007 :Nouvelle approche pour la gestion optimale de l'aération des petites stations d'épuration par boues activées, L'eau ,l'industrie, les nuisances : 24-30.

Choubert J-M. 2002 : Analyse et optimisation du traitement de l'azote par les boues activées à basse Température. 29-32 pp. Thèse Doctorat de l'Université Louis Pasteur- Strasbourg I.

Chocat B. 1997 : Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et assainissement. Edition Techniques et documentations. Paris. 1124pp.

Clifford B, Fedler , Richard Francis , Dhiradj Parekh Et Samir Blanchet .2012: review of potential on site wastewater disinfection technologies .

Cooper W.J, Nickelsen M.G, Tobien T, Mincher B.J. 2001 : The electron beam process for waste treatment. In: hazardous and radioactive waste treatment technologies . Handbook, Chang Ho Oh, Ed. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, :1-15.

CSHPF , Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France. 1995 : Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines Section des Eaux .

Dannoux A. 2007 : Extrapolation dans le temps des cinétiques de production des produits de dégradation radiolytique application à un polyuréthane . 298 pp .Thèse de Doctorat en Chimie de l'université de paris XI .

Deguet Jean-pierre , François Bernazeau. 2006 : réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine. édition 1 . 474 pp.

Deronzier Gaele, Schétrite sylvie, Raccault Yvan, Canler Jean-Pierre, Liénard Alain. 2001 : Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités ; Documentation technique FNDAE n°25. Edition Cemagref . 79pp.

Deronzier G, Choubert J-M. 2004 : Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées, Comparaisons techniques et économiques des voies de traitement biologique et physico-chimique. Edition Cemagre .

Desjardin R. 1997 : Traitement des eaux. 2ème édition de l'école polytechnique de montréal

Djeddi H. 2006 : Utilisation des eaux d'une station pour l'irrigation des essences forestières urbaines . thèse de magister.

Dieterich Robert .1997 : Distribution of Report: Alternative Wastewater Disinfection Methods .80 pp .

Duarte C-L, Sampa M-H-O , Rela P-R , Oikawa H, Cherbakian E-H, Sena H-C, Abe H, Sciani V. 2000 : Application of electron beam irradiation combined to conventional treatment to treat industrial effluents. Radiat. Phys. Chem **57** : 513–518.

Dunglas Jean .2014 : La réutilisation des eaux usées Académie de l'Agriculture de France . 10 pp .

EPA .1993 : Standards for the use and disposal of sewage sludge .40 CFR Part 503. Final rules. Federal Register **58**. 9248-9415.

EPA . 1999 : wastewater technology fact sheet ultraviolet disinfection Final rules. Federal Register **57**. 7268-8413 .

El-Motaium R-A. 2006 : Application of nuclear techniques in environmental studies and pollution control”; Plant Research Department, Nuclear Research Center, Atomic Energy Authority, Proceedings of the 2nd Environmental Physics Conference. Egypt : 18-22 pp .

Emer Z, Altay çapın G, Canpolat S , Merth H. 2011 : Inactivation of indicator bacteria in treated municipal wastewater and biosolids by gamma irradiation . Ankara University ,**58** :55-59.

Faby, J et Brissaud,F. 1997 : Utilisation des eaux usées en irrigation, office international de l’eau. 76 pp.

FAO. 2003 : L'irrigation avec des eaux usées traitées. Manuel d'utilisation. 73pp .

Faurie C, Ferra C, Medori P, Devaux , Hemoptinne J-L. 2005 : Ecologie approche scientifique et pratique. Edition 5 Tec et Doc. Paris, 215pp.

Franck R. 2002 : Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques. Edition Scérén CRDP AQUITAINE. Bordeaux. 239 pp.

Francis Z . 2007 : Simulations Monte-Carlo et étude microdosimétrique pour des irradiations cellulaires à faibles doses en neutrons de 14 MeV, Université Blaise Pascal (U.F.R. de Recherche Scientifique et Technique): Ecole Doctorale Des Sciences Fondamentales spécialité : physique corpusculaire.

Gomella C , Guerree H. 1978 : Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales.

Gaid A-E. 1993 : Traitement des eaux usées urbaines .Paris . Techniques de l’ingénieur.

Gaïd, A-E. 1984 : Epuration biologique des eaux usées urbaines .

Gaujous D. 1995 : La pollution des milieux aquatiques. aide-mémoire. Edition Technique et Documentation Lavoisier. 220pp.

Gauthier M et Pietri C. 1998 :Devenir des bactéries et virus entériques en mer. microorganismes dans les écosystèmes océaniques. Edition Masson. 447pp.

Hanna et Samy M. 2008: Examples of radiation waste water treatment implemented in various countries. Twelfth International Water Technology Conference. Alexandria, Egypt.

IAEA .2002: Neutron and gamma probes: their use in agronomy. Training Course Series 16. Vienna-Austria. 1018-5518 .

IAEA. 2007 : International Atomic Energy Agency . Radiation processing environmental Applications .1011-3021.

Jalby .2007: métaux lourds dans les eaux usées.

Journal Officiel De La Republique Algerienne .1993 : Annexe des valeurs limites maximales des paramètres de rejet des installations de déversement industrielles, n°46.

Koller E. 2004 : Traitement des pollutions industrielles. Eau ,air, déchets ,sols,boues. Prais, Dunod, 424 pp.

Lagardette J. 2004 : L'eau potable et l'assainissement. Edition Johanet.

Laurent J-L. 1994 : Agence de l'eau et du ministère de l'environnement

Le clech B. 1998 : Environnement et agriculture.

Lessel T. 1988 : Disinfection of sewage sludges by gamma irradiation and alternative methods. Yugoslavia : 179-188.

Libing Ch., Jianlong W, Wang Bo. 2011: Effect of gamma irradiation on activities and physicochemical characteristics of sewage sludge. Biochemical Engineering Journal N° 54. : 34-39 .

Makhoukh M , Sbaa M , Berrahou A , M Van , Clooster .2007 : contribution a l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued moulouya du maroc oriental.169 pp.

Maruthi Y. Avasn, N Lakshmana Das, Kaizar Hossain, K. P. Rawat , K. S. S. Sarma And S. Sabharwal .2013: Appliance of Electron Beam Technology for Disinfection of Sewage Water to Minimize Public Health Risks . Applied water science. 1, 49-56.

Meinck F , Stoof H , Kohlschutter H . 1977 : Les eaux résiduaires industrielles . edition 2 Masson . Paris .863 pp .

Mekhalif F. 2009 : Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement .

Metahri, M-S .2012 : Elimination de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par procédés mixte..thèse de doctorat.

Melo R , Cabo Verde S , Joaquim B, M. Botelho . 2008: Gamma radiation induced effects on slaughterhouse wastewater treatment “; Radiation Physics and Chemistry 77: 98-100 .

Moawia Rihab, Ali Musaado . 2008: Disinfection of Sewage Water and Sludge using Gamma Radiation .86 pp .

Mohammed c,Hossain D, Ali H .2006: Use of Ionizing Radiation Technology for Treating Municipal Wastewater .206-328.

Naceur W ,Ait Messaoudene N , Aggoun A . 2003 :Microfiltration reinforced adsorption of humic acids onto modified Algerian clay .desalination 158P : 27-276.

Neyssen P.2000 : Traitement par rayonnement gamma avantages dans le domaine de l'environnement . Isotron France S.A.S :1-5.

Norme NFT 90-413. 1985 : Recherche et dénombrement des coliformes et des coliformes thermotolérants. Méthode générale par ensemencement en milieu liquideNPP , AFNOR, Paris.

OIE.2005 : Office international de l'eau : Développer les compétences pour mieux gérer l'eau. conception et dimensionnement.

OMS.1979 : rapport final de commission mondiale pour la certification de l'éradication de la variole Geneve .135pp.

OMS.1989 : L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquiculture recommandations à visées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé. Genève : 17-60.

OMS .2007 :Rapport sur la sante dans le monde un avenir plus sure sur la sécurité sanitaire mondiale du XXI siecle .91pp

Prouillac C. 2006 : Synthèse et évaluation de nouveaux composés organiques et phosphorés contre les effets des rayonnements ionisants. Etude de leur mécanisme d'action in vitro. 293 pp .Thèse de Doctorat en Chimie - Biologie - Santé. l'Université Paul Sabatier de TOULOUSE III ,France .

Rejesk F. 2002 : analyse de l'eau. aspect réglementaire et technique. edition CRDP.Aquitaine. 358 pp .

Rodier J .1996 :L'analyse de l'eau ,eaux naturelles , eaux résiduaire ,eaux de mer ,Ed 8 Donud 8.Paris .

Rodier J. 2005 : L'analyse de l'eau: eaux naturelles. Eaux résiduaire. Eaux de mer.édition 8 Dunod.

Rodier J , Legube B , Merlet N et coll. 2009 : analyse de l'eau .Edition 9 Dunod.

Sampa Maria , Helenao Omi , Nelson M, Rel Carolinas, Tasi David .2005: Industrial wastewater treatment in Brazil using Electron Beam Accelerator. Editors William J.Cooper Kevin E. OShea and Randolph D.Curry, in" *Environ Appl of Ionizing Radial*", Capitulo. 33:521-530.

Santé Canada. 1995 : La turbidité. Document de support aux recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada.

Shaib .1998: Techniques de désinfection .101pp

Souici Abdelhafid. 2009 : Etude des propriétés optiques et structurales de nanoparticules de ZnS pbs induites par radiolyse . 178pp. thèse de doctorat en sciences spécialité physique université Mentouri-Constantine faculté des sciences exactes.

Sumartono A .2008: Degradation of standard dyes and textile Wastewater as a pollutant model using Gamma radiation .Indonesia .20pp

Tafer radia .2007 : photo dégradation directe et induite de micropolluants organiques thèse de magister en chimie. Option chimie analytique, physique et environnement. Université Mentouri – Constantine .129 pp

Tahri L, Elgarrouj D, Zantar B- S, Mouhib M, Azmani A, Sayah F. 2010: Wastewater treatment using gamma irradiation: Te'touan pilot station.Morocco . Radiation Physics and Chemistry .79 : 424–428 .

Taibi B .2011 : Modèles de stations d'épuration des eaux usées en Algérie.

Tamrabet Lahbib. 2011 : Contribution à l'étude de la valorisation des eaux usées en maraichage . 147pp. Thèse de Doctorat en sciences. Université Hadj Lakhdar - Batna .

Valiron F. 1984 : Gestion des eaux. alimentation des eaux assainissement tome 1.

Vandermeersch S . 2006 : Etude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes .IGEAT Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire. université Libre de Bruxelles.81pp .

Vasseur Jeau -Pierre.1991 : Ionisation des produits alimentaires .Edition Tec & Doc.444 pp.

Villers J, Squilbin M , Yourassowsky C . 2005 : L'eau à Bruxelles Institut Bruxelloise pour la gestion de l'environnement/Observatoire des données de l'environnement.

Wang Jianlong, Wang Jiazhao .2007: Application of radiation technology to sewage sludge processing .143pp.

Ward R-L , Mc Feter G-A , Geager J- G. 1984 : Pathogens in sludge. Occurance, inactivation and potential for regrowth. Sandia. Nat.Lab. New Mexico.

Yefsah Rebah .1989: Etude de dosimètres chimiques en vue du contrôle de la qualité de l'irradiation Gamma .thèse de Magister en Génie Nucléaire.

Annexe

I. Préparation des dilutions de la solution étalon de l'acide humique synthétique (AH) :

$$C_{\text{mère}} = 1\text{g/l}$$

$$C_{\text{filles}} = 5 \text{ à } 50 \text{ mg/l}$$

$$V_{\text{filles}} = 100 \text{ ml}$$

$$V_{\text{mère}} = ?$$

$$C_{\text{mère}} V_{\text{mère}} = C_{\text{filles}} V_{\text{filles}}$$

$$V_{\text{mère}} = \frac{C_{\text{filles}} V_{\text{filles}}}{C_{\text{mère}}}$$

Tableau A.1. Volume nécessaire pour la préparation des dilutions.

C_{filles} (mg/l)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
V_{mère} (ml)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5

Tableau A.2. Résultats de la lecture de l'absorbance en fonction de la concentration de l'acide humique synthétique.

[C] mg/l	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Abs	0,116	0,286	0,468	0,666	0,850	1,033	1,169	1,36	1,527	1,778

Tableau A.3. Résultats de lecture de l'absorbance en fonction de la dose d'irradiation.

Dose (kGy)	2	4	8	12	14	16	20	25	30	35
Abs	1,528	1.157	0.98	0.676	0,473	0.35	0.335	0.329	0.323	0.314

II. Méthodes d'analyse

1. Potentiel hydrogène (pH) et Température (T°) :

- 1- préparer le pH - mètre
- 2- Verser une quantité d'échantillon dans un bécher.
- 3- Allumer le pH - mètre.
- 4- Plonger la sonde de température et l'électrode dans l'échantillon.
- 5- Attendre jusqu'à ce que la mesure se stabilise et faire la lecture.
- 6- Rincer bien l'électrode et la sonde après chaque usage.

2. Conductivité :

- 1- préparer le conductimètre
- 2- Verser une quantité d'échantillon dans un becher.
- 3- Allumer le conductimètre et sélectionner l'échelle de conductivité appropriée.
- 4- Plonger la sonde dans l'échantillon.
- 5- Attendre jusqu'à ce que la mesure se stabilise et faire la lecture. Le résultat obtenu est exprimé en " μ S/cm".

3. Turbidité :

- 1- Prélever 500 ml d'échantillon à analyser et homogénéiser.
- 2- Préparer le spectrophotomètre.
- 3- Entrer le numéro du programme "750" et régler la longueur d'onde à "450"
- 4- Remplir un flacon colorimétrique avec 25 ml d'échantillon à analyser.
- 5- Préparer le blanc en remplissant un autre flacon colorimétrique de 25 ml d'eau distillée.
- 6- Placer le blanc dans le puit de mesure, fermer le capot.
- 7- Presser "zéro", l'affichage indique "0 FTU".
- 8- Agiter le flacon d'échantillon.
- 9- Placer l'échantillon dans le puit de mesure et fermer le capot.
- 10- Presser la touche "Read Enter", l'affichage indique le résultat en "FTU".

4. Matières en suspension (MES) :

- 1- Prélever 500 ml d'échantillon à analyser et homogénéiser.
- 2- Préparer le spectrophotomètre.
- 3- Entrer le numéro du programme "630" et régler la longueur d'onde à "810"
- 4- Remplir un flacon colorimétrique avec 25 ml d'échantillon à analyser.
- 5- Préparer le blanc en remplissant un autre flacon colorimétrique de 25 ml d'eau distillée.
- 6- Placer le blanc dans le puit de mesure, fermer le capot.
- 7- Presser "zéro", l'affichage indique "0 mg/l MAT.EN SUSP".
- 8- Agiter le flacon d'échantillon.
- 9- Placer l'échantillon dans le puit de mesure et fermer le capot.
- 10- Presser la touche "Read Enter",
- 11- L'affichage indique le résultat en "mg/l MAT. EN SUSP".

5. Demande chimique en oxygène (DCO) :

- 1-Activer le thermo réacteur et le préchauffer à 148°
- 2-Retirer les bouchons des deux tubes de réactif (blanc, échantillon)
- 3-Maintenir les tubes positionnés à 45° et pipeter 2ml de l'eau distillée (blanc) et 2 ml de L'échantillon
- 4- Fermer hermétiquement les tubes
- 5- mélanger le contenu des tubes en les tenants par bouchon (réaction exothermique)
- 6- chauffer les tubes pendant 2 heures à 148 °C dans le thermoréacteur préchauffé
- 7- Laisser les tubes refroidir pendant 20 min
- 8-Retirer les tubes du thermo-réacteur, agiter les tubes encore chauds ensuite les placer dans un support afin qu'ils refroidissent jusqu'à température ambiante
- 9- lire les résultats dans le spectrophotomètre(en mg /l).

Annexe

6. Demande biologique en oxygène (DBO₅) :

1-On détermine la DCO pour connaître les volumes à analyser pour la DBO₅.

- DBO₅ estimer=DCO× 80%.

Tableau A.4.Volumes à utiliser pour la détermination de la DBO₅.

Volume en ml	Concentration mg /l	Facteur d'équilibre
432	0-40	1
365	0-80	25
250	0-200	10
164	0-400	50
97	0-800	100
43.5	0-2000	100
22.7	0-4000	100

2-On compare la valeur dans le tableau pour sélectionner le volume adéquat de l'eau à analysé et on note le facteur correspondant X.

3-On rince la bouteille et le barreau magnétique avec la solution à analyser.

4-On introduit ce volume dans la bouteille.

5-On ferme avec la cupule et on introduit deux pastilles de KOH à l'intérieur.

6-On ferme hermétiquement la bouteille avec l'oxitop.

7-On Appuyé au même temps sur les deux boutons (M et S) de l'oxitop jusqu'à apparition des deux zéro.

8-On introduit la bouteille dans un incubateur DBO₅ à 20°C.

9-On vérifie les résultats chaque jour pendant une période de 5 jours en appuyant sur le bouton S et la valeur final sera obtenue dans le 5eme jour (la valeur lue).

10-On multiplie la valeur du 5eme jour par le facteur X pour obtenir la valeur final de la DBO₅.

7. L'azote ammoniacal N-NH₄⁺ :

1-Préparer le spectrophotomètre.

2- Entrer le numéro du programme "385" et régler la longueur d'onde à "655 nm".

3- Presser la touche "Read Enter" l'affichage indique "mg/l N- NH₄⁺ Salic".

Annexe

- 4- Remplir une éprouvette avec 25ml d'échantillon à analyser.
- 5- Remplir une autre éprouvette avec 25 ml d'eau distillée (le blanc).
- 6- Ajouter avec précaution le contenu d'une gélule "Salicylate ammoniacal" à chaque éprouvette, boucher et agiter.
- 7- Mettre la gélule utilisée dans un sachet de stockage.
- 8- Presser "Shift Timer". Une période de réaction de 3' commence.
- 9- Lorsque le minuteur sonne, ajouter le contenu d'une gélule "Cyanurate ammoniacal " à chaque éprouvette, boucher et agiter.
- 10- Presser "Shift Timer", une période de réaction de 15' commence.
- 11- Lorsque le minuteur sonne, verser le contenu des éprouvettes dans les flacons colorimétriques.
- 12-Placer le blanc dans le puit de mesure.
- 13- Presser "Zéro", l'affichage indique " 0,00 mg/l N- NH_4^+ Salic".
- 14- Placer l'échantillon préparé dans le puit de mesure, presser "Read/Enter", le résultat s'affiche en "mg/l N- NH_4^+ Salic".

Note: Le résultat peut être exprimé en Ammoniac NH_3 ou en ammonium NH_4^+ en multipliant respectivement par 1,22 et 1,29.

8. Nitrate NO_3^- :

- 1-Préparer le spectrophotomètre.
- 2- Entrer le numéro du programme "355" et régler la longueur d'onde à "500 nm".
- 3- Presser la touche "Read Enter" l'affichage indique "mg/l N $\text{NO}_3^- \text{ H}^+$ ".
- 4- Remplir un flacon colorimétrique avec 25ml d'échantillon à analyser en le tenant dans un papier absorbant.
- 5- Ajouter avec précaution le contenu d'une pastille "Nitra Ver5" au flacon.
- 6- Presser "Shift Timer". Agiter le flacon pendant une minute jusqu'à ce que le minuteur sonne.
- 7- Presser "Shift Timer", une période de réaction de 5' commence.
- 8- Préparer le blanc en remplissant un flacon colorimétrique avec 25ml d'échantillon.
- 9- Lorsque le minuteur sonne, l'affichage indique : " mg/l N $\text{NO}_3^- \text{ H}^+$ "
- 10-Placer le blanc dans le puit de mesure.

Annexe

11- Presser "Zéro", l'affichage indique " 0,0 mg/l N NO₃⁻ H ".

12- Essuyer le flacon colorimétrique avec le papier absorbant puis le mettre dans un sachet de stockage.

13- Placer l'échantillon préparé dans le puit de mesure, presser "Read/Enter", le résultat s'affiche mg/l N NO₃⁻

Note: Le résultat peut être exprimé en Nitrate NO₃⁻ en multipliant le résultat obtenu par 4,4. ; Le résultat final est obtenu par soustraction de la valeur du blanc de réactif du lot utilisé.

9. Nitrite NO₂⁻ :

1-Préparer le spectrophotomètre.

2- Entrer le numéro du programme "373" et régler la longueur d'onde à "585 nm".

3- Presser "Read Enter" l'affichage indique "mg/l NO₂⁻ H".

4- Remplir un flacon colorimétrique avec 25ml d'échantillon à analyser en le tenant dans un chiffon ou du papier absorbant.

5-Ajouter avec précaution le contenu d'une gélule "Nitri Ver2" au flacon puis agiter.

6- Mettre la pastille utilisée dans un sachet de stockage.

7- Presser "Shift Timer", une période de réaction de 10' commence.

8- Préparer le blanc en remplissant un flacon colorimétrique avec 25ml d'échantillon

9-Lorsque le minuteur sonne, l'affichage indique : " mg/l NO₂⁻ H".

10-Placer le blanc dans le puit de mesure.

11- Presser "Zéro", l'affichage indique " 0 mg/l NO₂⁻ H ".

12- Placer l'échantillon préparé dans le puit de mesure, presser "Read/Enter", le résultat s'affiche.

10. Ortho phosphates PO₄³⁻ :

1-Préparer le spectrophotomètre.

2- Entrer le numéro du programme "490" et régler la longueur d'onde à "890 nm".

3- Presser la touche "Read Enter" l'affichage indique "mg/l PO₄³⁻ PV".

4- Remplir un flacon colorimétrique avec 25ml d'échantillon à analyser en le tenant dans un papier absorbant.

5-Ajouter avec précaution le contenu d'une pastille "Phos Ver3" au flacon puis agiter.

Annexe

- 6- Mettre la pastille utilisée dans un sachet de stockage.
- 7- Presser "Shift Timer", une période de réaction de 2' commence.
- 8- Préparer le blanc en remplissant un flacon colorimétrique avec 25ml d'échantillon.
- 9- Lorsque le minuteur sonne, l'affichage indique : "mg/l PO_4^{3-} PV".
- 10- Placer le blanc dans le puit de mesure.
- 11- Presser "Zéro", l'affichage indique " 0,00 mg/l PO_4^{3-} PV".
- 12- Essuyer le flacon colorimétrique avec le papier absorbant puis le mettre dans un sachet de stockage.
- 13- Placer l'échantillon préparé dans le puit de mesure, presser "Read/Enter", le résultat s'affiche.

11. Dénombrement des coliformes :

➤ Préparation des dilutions :

Avant d'ensemencer les milieux on effectue une série de dilutions en cascade à partir de la solution mère qui sont (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4}). A partir d'un flacon de 10 ml contenant l'échantillon à analyser on prélève 1ml de l'échantillon que l'on place dans des tubes contenant 9ml d'eau physiologique, on homogénéise la solution avec du vortex. Puis on prélève 1 ml de ce tube pour le verser dans un deuxième tube, ainsi de suite jusqu'au quatrième tube qui représente la dilution 10^{-4} .

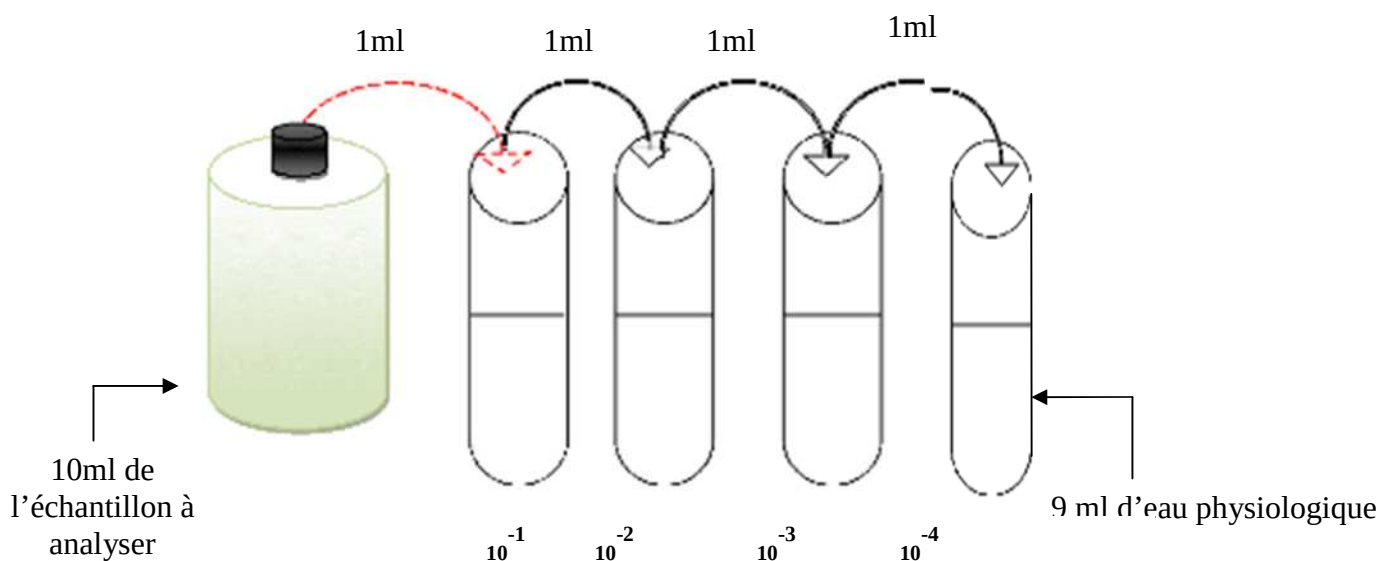


Figure A.1. Préparation des dilutions de 10^{-1} à 10^{-4} .

➤ **Test présomptif :**

- 1- prendre 3 tubes de milieu de culture BCP pour chaque dilution pour les différents points de prélèvements.
- 2- Pipeter et verser dans chaque tube 1 ml à partir des dilutions précédentes, puis incuber ces tubes ensemencés dans une étuve à T=37°C (la lecture après 48h)
- 3- Les tubes considérés comme positifs (Présence de coliformes fécaux) sont ceux qui présentent à la fois un dégagement gazeux et un trouble microbien accompagné d'un virage de couleur au jaune.

➤ **Test confirmatif :**

Il est réservé à la recherche des coliformes thermo-tolérants à une température de 44 ; à partir des tubes BCP positifs du test précédent, un repiquage est effectué sur milieux Schubert, ces derniers tubes ensemencés sont incubés pendant 24 heures ; les tubes positifs sont ceux qui présentent à la fois un dégagement gazeux et un léger trouble microbien avec un virage au jaune.

• **Mise en évidence des *Escherichia coli* :**

A partir des tubes Schubert positifs du test précédent on ajoute 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs ; si le résultat est positif ce qui signifie présence d'*Escherichia coli* on aura Formation d'un anneau rouge à la surface.

Annexe

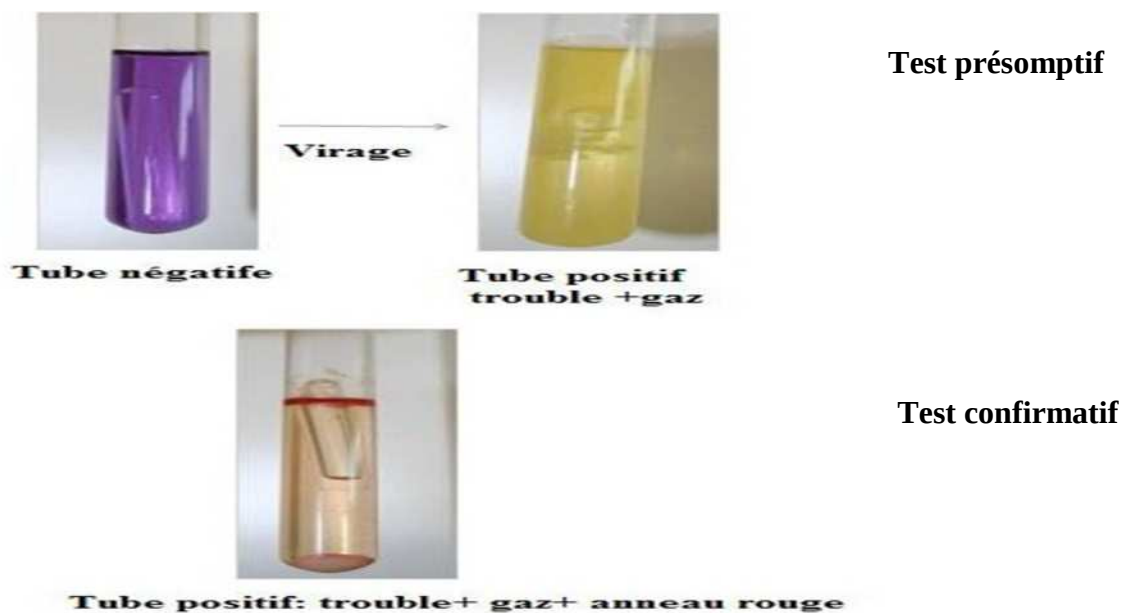


Figure A.2 Identification des coliformes thermo-tolérants et des *Escherichia coli*.

➤ Composition des différents milieux de cultures :

Bouillon lactosé au pourpre de bromocrésol (BCPL) S/C :

Peptone	5g
Extrait de viande.....	3g
Lactose	5g
Pourpre de bromocrésol	0, 025g
Eau distillée	1000 ml

Milieu de Schubert :

Tryptophane	0.2g
Acide glutamique	0.2g
Sulfate de magnésium	0.7g
Sulfate d'ammonium	0.4g
Citrate de sodium	0.5g
Chlorure de sodium	2.0g
Peptone	10g
Mannitol	7.5g
Eau distillée.....	500ml

12. Détermination des métaux lourds :

Les échantillons doivent être prélevés dans des flacons en polyéthylène et être acidifiés à $\text{pH} < 2$ dès le prélèvement à l'aide d'acide nitrique .les flacons d'échantillonnage doivent être lavés à l'acide nitrique puis rincés à l'eau.

Annexe

- **Prise d'essai :** dans une fiole jaugée de 100ml, introduire une prise d'essai de l'échantillon acidifié de façon à obtenir une solution d'essai dont la concentration se situe dans le domaine de dosage « Tableau A.13. » de l'élément analysé .compléter au volume avec de l'eau.
- **Essai à blanc :** Effectuer, parallèlement au dosage, un essai à blanc en suivant le même mode opératoire et en utilisant les mêmes quantités de tous les réactifs que pour l'échantillonnage et le dosage, mais en remplaçant la prise d'essai par de l'eau.
- **Préparation des solutions d'étalonnage :** avant chaque série de mesures, préparer, à partir d chacun des solutions étalons, au moins quatre solutions d'étalonnage couvrant, pour chaque élément considère, la gamme des concentrations à doser. préparer ces solutions d'étalonnage par dilution des solutions étalons avec de l'acide nitrique.
- **Etalonnage et dosage :** procéder comme suit pour chacun des métaux à doser, avant d'effectuer les mesures spectrométrique, installer le spectromètre selon les instructions du constructeur en aspirant une solution étalons du métal à doser et en fonction des indications du « Tableau A.14.» .régler les conditions de nébulisation et de flamme (débit d'aspiration, nature de flamme, position du faisceau optique dans la flamme).ajuster le zéro instrumental avec de l'eau.

Pour chaque métal à doser, aspirer la gamme des solutions d'étalonnage et, comme terme zéro, la solution d'essai à blanc .tracer une courbe en portant les concentrations en métal, en milligrammes par litre, des solutions d'étalonnage en abscisse et les valeurs correspondantes de l'absorbance en ordonnée.il est recommandé de vérifier la courbe d'étalonnage par exemple en mesurant l'absorbance d'une solution étalon tous les cinq échantillons.

Nébuliser la prise d'essai dans la flamme du bruleur.

Mesurer l'absorbance du métal dosé et, après chaque mesure, aspirer de l'acide nitrique afin de rincer le nébuliseur.

Annexe

Tableau A.5. Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau brute, eau sortie digesteur et l'eau épurée.

Type d'eau	EB		SB		EE		Rendements(%)			
Irradiation paramètres	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	EB Avant / Après irradiation	SB Avant / Après irradiation	EE Avant / Après irradiation	Traitement biologique EB/EE
T°C	21,4	19,2	22	18	21,1	20,3	/	/	/	/
pH	7,18	7,84	7	7,08	6,97	7,11	/	/	/	/
Conductivité µs/cm	1063	751	1056	752	760	731	29,35	28,78	3,81	28,50
Turbidité UTN	242	112	461	162	35	19	53,71	64,85	45,71	85,53
MES mg/l	292	178	825	189	16	2	39,4	77,09	95,12	94,52
DCO mgd'O ₂ /l	493,6 8	476	6848	4008	48,8	36,8	3,52	41,47	24,59	90,11
DBO₅ mgd'O ₂ /l	357	167	560	320	23	16	53,22	42,85	30,43	95,51
NO₃⁻ mg/l	0,132	0,08	40,04	30,36	9,03	2,3	39,39	40,04	75,52	/
NO₂⁻ mg/l	0,092 4	0,008	0,98	0,15	0,0782	0,007	91,34	84,69	91,04	15,36
NH₄⁺ mg/l	20,64	0,46	39,99	11,61	4,83	0,16	97,77	76,96	96,68	76,60
Po₄³⁻ mg/l	4,497	1,75	27,77	3,47	1,37	0,6	64,78	87,50	53,28	72,43
Fe mg/l	0,434	0,119	0,052	0,062	0,196	0,381	/	/	/	/
Zn mg/l	0,544	0,145	0,053	0,115	1,650	0,635	/	/	/	/
Mn mg/l	0,207	0,076	0,204	0,188	0,162	0,113	/	/	/	/

Annexe

Tableau A.6.Doses d'irradiation en fonction du débit dose et du temps d'exposition.

Date D'irradiation	Dose (kGy)	Débit dose (Gy/min)	Temps d'irradiation (Heure)	Activité de la source (Ci)
02/04/2015	20	16,02	20h48	6679,26
03/04/2015	15	16,01	04h10	6676,87
05/04/2015	4	16	06h15	6672,08
06/04/2015	6	15,99	02H05	6669,69
07/04/2015	2	15,99	10h26	6667,30
08/04/2015	10	15,98	31h17	6664,91
09/04/2015	30	15,98	26h05	6662,52
10/04/2015	25	15,97	08h21	6660,13
12/04/2015	8	15,96	12h32	6655,36
	12	15,96	14h38	
13/04/2015	14	15,95	6h16	6652,98
15/04/2015	6	15,94	2h05	6648,21
	2	15,94	15h48	
	15	15,94	18h49	
16/04/2015	18	15,94	16h49	6645,83
20/04/2015	16	20,4	16h44	6636,30
29/04/2015	16	29,4	16h49	6614,93
30/04/2015	35	30,4	36h47	6612,56
26/05/2015	16	26,5	16h58	6551,22

Annexe

**Tableau A.7. Les valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur
(Journal Officiel de la République Algérienne, 2006).**

Paramètres	Unités	Valeurs Limites
Température	°C	30
pH	-	6,5 à 8,5
MES	mg/l	35
Turbidité	UTN	50
DBO ₅	mg/l	35
DCO	mg/l	120
Azote Kjeldahl	mg/l	30
Phosphates	mg/l	02
Phosphore total	mg/l	10
Cyanures	mg/l	0,1
Aluminium	mg/l	03
Cadmium	mg/l	0,2
Fer	mg/l	03
Manganèse	mg/l	01
Mercuré total	mg/l	0,01
Nickel total	mg/l	0,5
Plomb total	mg/l	0,5
Cuivre total	mg/l	0,5
Zinc total	mg/l	03
Huiles et Graisses	mg/l	20
Hydrocarbures totaux	mg/l	10
Indice Phénols	mg/l	0,3
Fluor et composés	mg/l	15
Étain total	mg/l	02
Composés organiques chlorés	mg/l	05
Chrome total	mg/l	0,5
(*) Chrome III +	mg/l	03
(*) Chrome VI +	mg/l	0,1
(*) Solvants organiques	mg/l	20
(*) Chlore actif	mg/l	1,0
(*) PCB	mg/l	0,001
(*) Détergents	mg/l	2
(*) Tensioactifs anioniques	mg/l	10

Annexe

Tableau A.8.Normes physico-chimiques de rejets de l'OMS (1989).

Paramètres		Normes
T°	C°	30
pH		6.5-8.5
O ₂	mg/l	5
DBO ₅	mg/l	30
DCO	mg/l	90
MES	mg/l	30
Zinc	mg/l	2
Chrome	mg/l	0.1
Azote total	mg/l	50
Phosphates	mg/l	2
Hydrocarbures	mg/l	10
Détergents	mg/l	1
Huiles et graisses	mg/l	20

Annexe

Tableau A.9. Normes extrêmes limitées aux eaux d'irrigation.

Paramètres	Normes
pH	6.5 à 8.5
Conductivité électrique (ms/cm)	<3*
MES (mg/l)	<70*
DCO (mg/l)	<40*
DBO ₅	<30*
NO ₃ ⁻ (mg/l)	<50*
NO ₂ ⁻ (mg/l)	<1*
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	< 0.94*
HCO ₃ (mg/l)	500**
SO ₄ ²⁺ (mg/l)	400**
CL ⁻ (mg/l)	1065**
Ca ²⁺ (mg/l)	400**
Na ⁺ (mg/l)	920**
Mg ²⁺ (mg/l)	60.75**
Cd ²⁺ (mg/l)	0.01*
Pb ²⁺ (mg/l)	0.05*
Zn ²⁺ (mg/l)	2*
Cr ⁶⁺	0.1*
NH ₄ ⁺ (mg/l)	<2*

Source: *OMS (1989), ** FAO (2003)

Annexe

Tableau A.10 .Table de Mac-Grady

Nombre caractéristique	Nombre de micro-organismes
000	0,0
001	0,3
010	0,6
011	0,6
020	0,4
100	0,7
101	1,1
102	0,7
110	1,1
111	1,1
120	1,5
121	1,6
130	0,9
200	1,4
201	2,0
202	1,5
210	2,0
211	3,0
212	2,0
220	3,5
221	4,0
223	3,0
230	3,5
231	4,0
232	2,5
300	4,0
301	6,5
302	4,5
310	7,5
311	11,5
312	16,0
313	9,5
320	15,0

Annexe

321	20,0
323	30,0
330	25,0
331	45,0
332	110,0
333	140,0

Tableau A.11. Normes bactériologiques appliquées dans certains pays et préconisées par des organisations (FAO, 2003).

Pays/Organisation	Recommandations
OMS (niveau A)	1000 coliformes thermotolérants/100mL + 1 œuf d'helminthe/L
USEPA	< 1 ou 200 coliformes thermotolérants/100mL selon culture
Title 22 (Californie)	2,2 ou 2,3 coliformes totaux/100mL selon cultures + filière de traitement agréée
France (CSHPP, niveau A)	1000 coliformes thermotolérants/100mL + 1 œuf d'helminthe/L + contrainte techniques particulières
Afrique de Sud	1 ou 1000 coliformes thermotolérants/100mL selon culture + filière imposés
Japon	1 E. coli/100mL + résiduel de chlore total > 0,4 mg/L
Koweït	100 ou 10000 coliformes totaux/100mL selon culture + effluent oxydé + filtré et désinfecté
Arabie Saoudite	2,2 coliformes totaux/100mL (culture à accès restreint)
Tunisie	< 1 nématode intestinal/L

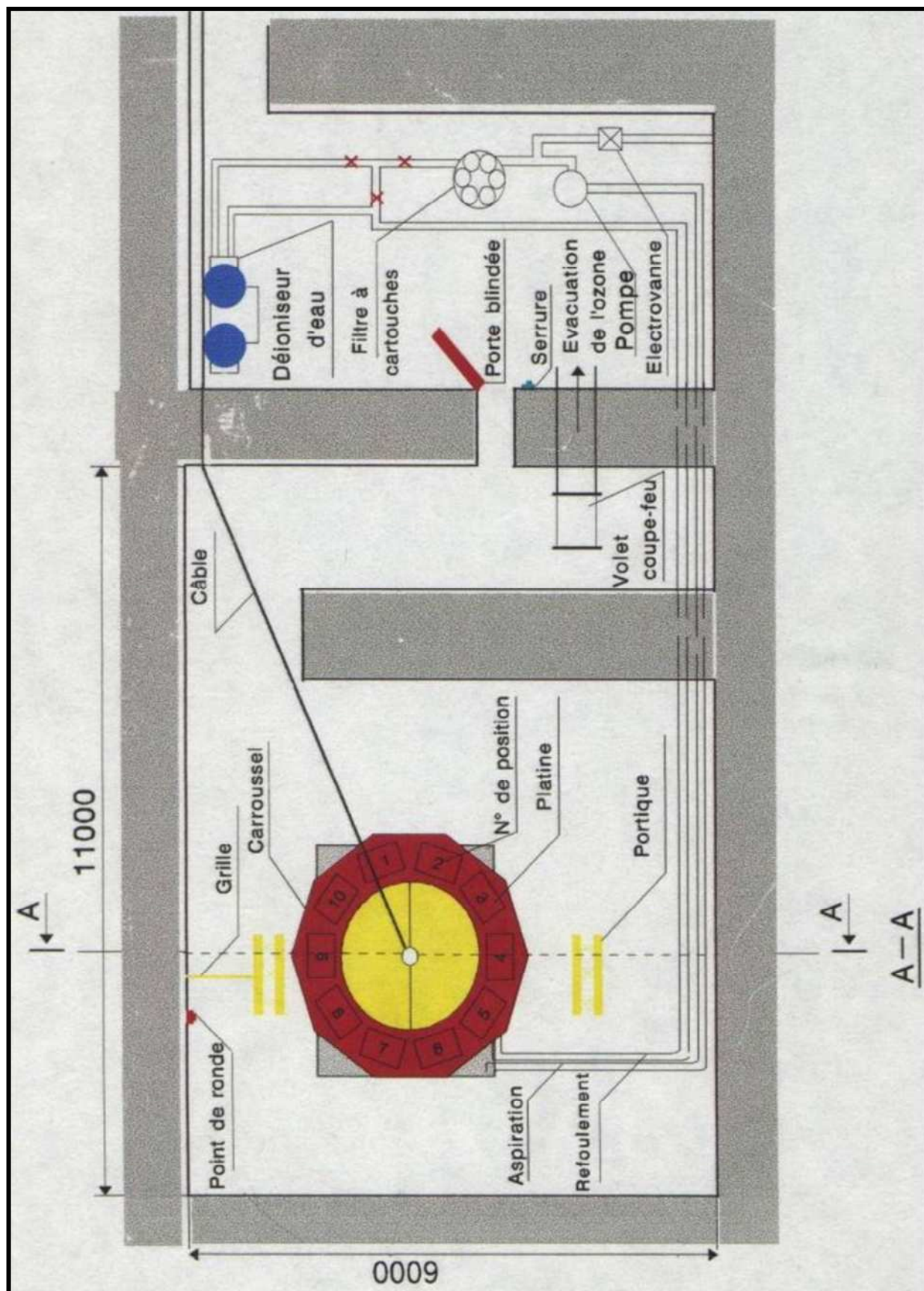


Figure A.3. Shéma de l'irradiateur pilote du CRNA.

Résumé :

Ce travail a été réalisé pour évaluer l'efficacité du rayonnement gamma sur la charge polluante de l'effluent de la STEP EST de TIZI-OUZOU. Des échantillons ont été prélevés à différents points : à l'entrée de la station (eau brute), eau sortie digesteur et à la sortie de la STEP (eau épurée). Ces derniers ont été irradiés en utilisant le ^{60}Co comme source de rayonnements gamma après avoir déterminé la dose optimale qui est de 16 kGy, en mesurant les différents paramètres de pollution (paramètres physico-chimique, bactériologiques et métaux lourds) avant et après irradiation. Après irradiation les résultats ont montré des valeurs presque inchangées de pH et de la T° , une diminution des MES, turbidité, conductivité de la DCO et de la DBO_5 , une réduction importante des NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , une élimination quasiment totale des coliformes fécaux et d'*Escherichia coli* ainsi qu'une augmentation des Métaux lourds qui restent toujours dans les normes. Le traitement des eaux usées par l'irradiation gamma présente une bonne efficacité vu les résultats obtenus, sont d'une qualité appréciable et qu'elles peuvent être recommandées pour plusieurs domaines d'usage en l'occurrence celui de l'agriculture. Une combinaison de radiations ionisantes à un processus de traitement conventionnel pourrait conduire à de meilleurs résultats dans le traitement des eaux usées.

Mots clés : eaux usées, irradiation gamma, DCO, DBO_5 , MES, métaux lourds, azote phosphore.

ABSTRACT :

This work was realized to evaluate the efficiency of gamma radiation on the effluent's polluted load of the east step of Tizi Ouzou. Samples were taken at different points: at the entrance of the station (raw water), water digester output and at the exit of the step (purified water). These were irradiated using the ^{60}Co as a source of gamma radiation after having determined the optimal dose which is 16 kGy, by measuring the different pollution parameters (physico-chemical, bacteriological parameters and heavy metals) before and after the irradiation. The results showed values which are nearly unchanged of pH and of conductivity, a DCO and DBO_5 diminution, an important reduction of the NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , an almost entirely elimination of total and fecal coliforms as well as an increase of MES and heavy metals which still remain in the required standards for the rejection in the environment. The treatment of the wastewater by the gamma irradiation present a good efficiency seeing the obtained results, they are of appreciable quality and can be recommended for many areas of use as in the case of agriculture.

A combination of ionizing radiation to a conventional treatment process could lead to better results in the treatment of wastewater.

Keywords :

Wastewater, gamma irradiation, DCO, DBO₅, MES, heavy metals, nitrogen, phosphorus

ملخص:

تم انجاز هذا العمل من اجل تقييم فعالية إشعاع غاما على الحمولة الملوثة لتدفق محطة تصفية مياه الصرف الصحي شرق تيزي وزو, حيث تم في هذا الصدد اخذ عينات في مختلف المراحل:أولا عند مدخل المحطة(ماء خام) المياه التي تخرج احواض التهوية, عند الخروج من المحطة (مياه مصفاة). هذه الأخيرة تم إشعاعها باستعمال الكوبالت 60. كمصدر إشعاعات غاما, بعد أن تم تحديد الجرعة المثلى ب 16 كيلو قري و هذا بقياس مختلف إعدادات و مؤشرات التلوث (الإعدادات الفيزيو كيميائية, البكتريولوجية و المعادن الثقيلة) قبل و بعد إشعاعها. بعد إشعاعها أظهرت النتائج قيم بالكاد غير متغيرة للهيدروجين المحتمل, درجة الحرارة, و انخفاض المواد العالقة , درجة التعكر, و توصيل التيار الكهربائي في المياه, والطلب البيوكيميائي للأكسوجين⁵ و الطلب الكيميائي للأكسوجين و انخفاض معتبر للنترات و النيتريت و الامونيوم و الفوسفاتية. وشبه زوال و القضاء التام لبكتيرية الكولون البرازية و الاشريكية الكولونية, كذلك ارتفاع تراكيز المعادن الثقيلة التي تبقى دائما في المعايير الثابتة للرّي المحددة من طرف المنظمة العالمية للصحة. معالجة مياه الصرف الصحي بإشعاعات غاما يشكل فعالية جيدة بالنظر للنتائج المحصل عليها التي تمتاز بنوعية جد مستحسنة, حيث يمكن أن ينصح بها في العديد من مجالات الاستعمال و بالأخص في المجال الزراعي.

إن التنسيق بين الإشعاعات المؤينة و المعالجة بالطرق التقليدية بإمكانه أن يؤدي إلى نتائج أفضل في معالجة مياه الصرف الصحي.

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي, الإشعاع غاما, الطلب الكيميائي للأكسوجين, الطلب البيوكيميائي للأكسوجين⁵, المواد العالقة, المعادن الثقيلة, الازوت, الفسفور.