



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج
Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.
كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون
قسم العلوم البيولوجية
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département des Sciences Biologiques



Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Aménagement hydro-agricole

Thème

**QUELLE CULTURE CHOISIR ET POUR
QUEL SYSTEME D'IRRIGATION DOIT ON OPTER
S'IL S'AGIT DES EAUX USEES EPUREES ?**

Présenté par : - Aissaoui Moncef
- Tlidge El-hadj

Devant le jury :

Président : M^r SALAMANI Amel.....MAA (Univ. Bordj Bou Arréridj)

Encadrant: M^{me} CHOURGHAL Nacira.....MCA (Univ. Bordj Bou Arréridj)

Examineur: M^{me} BOURAHLA Amel.....MAA(Univ. Bordj. Bou. Arréridj)

Année universitaire : 2019/2020

table des matières

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Listes des figures

Résumé

Introduction.....01

Chapitre I. Les eaux usées épurées

1. Origine des eaux entrant en station d'épuration :.....02

2. Caractéristiques et composition :..... 06

3 .Traitement 11

Chapitre II. Utilisation pour l'irrigation des cultures

Introduction 18

1. Les choix de cultures18

2. Choix du système d'irrigation..... 19

2.1 Irrigation par ruissellement..... 19

2.2 Irrigation par planches 20

2.3 Irrigation à la raie 21

2.4 Irrigation par bassins 22

2.5 Irrigation par aspersion 23

3. Les risques 29

3.1. Faible risques 29

3.2.Risque moyen	29
3.3 Risque élevé	29
Conclusion	36
Referance bibliographiques	38

Liste des abréviations et Acronymes :

REUE : Réutilisation des eaux usées épurées.

MES : Matière en suspension.

REUT : La réutilisation d'eaux usées traitées.

DCO : Demande chimique en oxygène.

DBO5 : Demande biologique en oxygène au bout de 5 jours.

MOS : L'Organisation Mondiale de la Santé.

ENSAT : École nationale supérieure agronomique de Toulouse.

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Comparaison réseau unitaire et réseau séparatif : pages 6-7

Source : Cartel-Eau (cartel.oieau.fr) et Office international de l'eau.

Listes des figures :

Figure 1 : Diagramme représentant la répartition des volumes prélevés par usage (2017) Source : Site du Ministère de l'Écologie, du développement durable, des transports et du logement page 2.

Figure 2 : Schéma générale d'une station d'épuration. Usine seine amont page 15.

Figure3 : la réutilisation des eaux usées épurées dans le cycle d'assainissement page 20.

Figure 4 : Irrigation par planches page 23.

Figure 5 : Irrigation à la raie page 25.

Figure 6 : Irrigation par bassins page 26.

Figure 7 : L'irrigation par aspersion page 28

Résumé:

La réutilisation des eaux usées est un enjeu politique et socio-économique pour le développement futur des services d'eau potable et d'assainissement à l'échelle mondiale. Elle présente, en effet, l'avantage majeur d'assurer une ressource alternative permettant de limiter les déficits en eau, de mieux préserver les ressources naturelles et de palier aux pénuries d'eau engendrées par les changements climatiques. D'ores et déjà, certains pays, états et grandes métropoles (Australie, Californie, Chypre, Espagne, Floride, Jordanie, Malte, Singapour...) ont des objectifs ambitieux de satisfaire de 10 à 30%, voire jusqu'au 60% de leur demande en eau par la réutilisation des eaux usées épurées.

L'irrigation agricole était, est et restera le plus grand consommateur d'eau recyclée avec de nombreux avantages et bénéfices bien reconnus, notamment la contribution à la sécurité alimentaire.

La réutilisation et le recyclage interne des eaux usées industrielles sont devenus une pratique courante pour beaucoup d'industries, avec de nouvelles tendances comme l'objectif ambitieux de zéro rejet liquide et la réutilisation de l'eau inter-secteur, comme par exemple l'utilisation des eaux usées urbaines à des fins industrielles.

La réutilisation de l'eau en milieu urbain est caractérisée par un développement rapide en raison de son rôle crucial pour la ville durable du futur. En plus de l'irrigation urbaine d'espaces verts, d'autres applications prennent de l'importance comme les usages industriels (nettoyage, lutte contre les incendies, tours de refroidissement, etc.), le recyclage en immeuble et les usages environnementaux pour le maintien et la restauration des plans d'eau, des rivières et des zones humides.

Abstract:

The reuse of wastewater is a political and socio-economic issue for the future development of drinking water and sanitation services on a global scale. It has the major advantage of providing an alternative resource to limit water deficits, better preserve natural resources and alleviate the water shortages caused by climate change. Already, some countries, states and large metropolises (Australia, California, Cyprus, Spain, Florida, Jordan, Malta, Singapore ...) have ambitious objectives of meeting 10 to 30%, or even up to 60% of their water demand through the reuse of treated wastewater.

Agricultural irrigation was, is and will remain the largest consumer of recycled water with many well-recognized benefits and benefits, including contribution to food security.

The reuse and internal recycling of industrial wastewater has become common practice for many industries, with new trends such as the ambitious goal of zero liquid discharge and the reuse of water between sectors, such as the use of urban wastewater for industrial purposes.

Urban water reuse is characterized by rapid development because of its crucial role for the sustainable city of the future. In addition to urban irrigation of green spaces, other applications are gaining importance such as industrial uses (cleaning, firefighting, cooling towers, etc.), recycling in buildings and environmental uses for maintenance and restoration of water bodies, rivers and wetlands.

ملخص

إعادة استخدام المياه العادمة هي قضية سياسية واجتماعية اقتصادية للتنمية المستقبلية لمياه الشرب وخدمات الصرف الصحي على نطاق عالمي. تتمتع بميزة رئيسية تتمثل في توفير مورد بديل للحد من نقص المياه ، والحفاظ بشكل أفضل على الموارد الطبيعية وتخفيف نقص المياه الناجم عن تغير المناخ. بالفعل ، بعض الدول والدول والمدن الكبرى (أستراليا ، كاليفورنيا ، قبرص ، إسبانيا ، فلوريدا ، الأردن ، مالطا ، سنغافورة ...) لديها أهداف طموحة لتحقيق 10 إلى 30٪ ، أو حتى 60٪. من طلبهم على المياه من خلال إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة.

كان الري الزراعي وسيظل المستهلك الأكبر للمياه المعاد تدويرها مع العديد من الفوائد والفوائد المعترف بها جيداً ، بما في ذلك المساهمة في الأمن الغذائي.

أصبحت إعادة استخدام المياه العادمة الصناعية وإعادة تدويرها داخلياً ممارسة شائعة للعديد من الصناعات ، مع وجود اتجاهات جديدة مثل الهدف الطموح المتمثل في عدم تصريف السوائل وإعادة استخدام المياه بين القطاعات ، مثل استخدام مياه الصرف الصحي الحضرية للأغراض الصناعية.

تتميز إعادة استخدام المياه في المناطق الحضرية بالتطور السريع بسبب دورها الحاسم في المدينة المستدامة في المستقبل. بالإضافة إلى الري الحضري للمساحات الخضراء ، تكتسب التطبيقات الأخرى أهمية مثل الاستخدامات الصناعية (التنظيف ، ومكافحة الحرائق ، وأبراج التبريد ، وما إلى ذلك) ، وإعادة التدوير في المباني والاستخدامات البيئية صيانة وترميم المسطحات المائية والأنهار والأراضي الرطبة.

Introduction :

La réutilisation des eaux usées consiste à récupérer les eaux usées après traitement, afin de les réutiliser. Ce recyclage remplit donc un double objectif d'économie de la ressource : il permet à la fois d'économiser les ressources en amont en les réutilisant, mais aussi de diminuer le volume des rejets pollués. L'intérêt en est cependant limité quand il n'y a pas de tension quantitative sur la ressource en eau dans le secteur concerné.

Le recyclage des eaux usées présente l'avantage majeur d'assurer une ressource naturelle et de contribuer à la gestion intégrée de l'eau. Si l'industrie fut la première à s'intéresser sérieusement au recyclage, depuis quelques années le recyclage des eaux usées tend à devenir une pratique acceptée, notamment pour l'irrigation et l'arrosage des espaces verts, et pourrait rapidement être promue au titre de solution y compris pour des usages domestiques.

La réutilisation des eaux usées est avant tout dans un but agricole. En effet, l'agriculture est l'activité la plus consommatrice en eau au regard de la consommation nette. La production d'énergie restitue 93% de l'eau après utilisation, comme le montrent les diagrammes ci-dessous. Source : Samuel BAUMONT, École nationale supérieure agronomique de Toulouse (ENSAT).

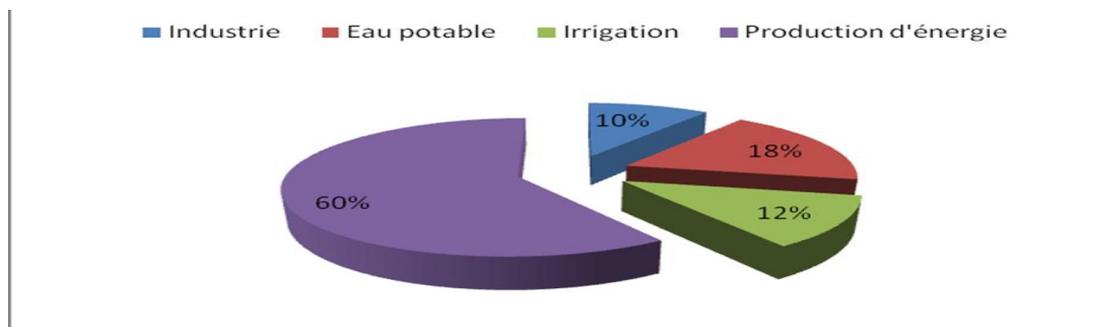


Figure 1. Diagramme représentant la répartition des volumes prélevés par usage (2017) Source : Site du Ministère de l'Ecologie, du développement durable, des transports et du logement.

1-Origine des eaux entrant en station d'épuration :

Les eaux usées telles que définies dans l'introduction ont trois origines possibles :

- Les eaux domestiques
- Les eaux industrielles
- Les eaux de ruissellement

Les rejets domestiques :

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. Lorsque les habitations sont en zone d'assainissement collectif, les eaux domestiques se retrouvent dans les égouts. On distingue généralement deux « types » d'eaux usées domestiques qui arrivent toutes deux dans le réseau d'assainissement :

- les eaux vannes, qui correspondent aux eaux de toilettes ;
- les eaux grises qui correspondent à tous les autres usages : lave-linge, lave-vaisselle, douche/bain, etc.

La composition originelle de l'eau potable, qui elle-même dépend de la composition de l'eau utilisée pour produire l'eau potable, de la qualité du traitement de cette eau, des normes sanitaires du pays concerné, de la nature des canalisations, etc.

Les diverses utilisations par les particuliers qui peuvent apporter un nombre quasi- infini de polluants : tous les produits d'entretien, lessives mais aussi, solvants, peintures, mercure de thermomètre, colle, etc.

Les utilisateurs eux-mêmes qui vont rejeter de la matière organique dans les égouts (urines et fèces) ; la matière organique est le polluant majoritaire des

eaux domestiques. Ce type de rejets apporte également des micro-organismes et des contaminants divers (médicaments), etc.

Les rejets industriels :

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales: blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc.

L'article L.35-8 du Code de la santé publique précise que le déversement de ces eaux dans les égouts publics n'est pas un droit et doit être préalablement autorisé par la collectivité.

Les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement:

- soit ils sont directement rejetés dans le réseau domestique ;
- soit ils sont pré-traités puis rejetés dans le réseau domestique ;
- soit ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel. Ce dernier cas ne nous intéresse pas dans le cadre de la réutilisation des eaux usées épurées.

Dans le cas d'un rejet dans le réseau domestique, avec ou sans prétraitement, les effluents industriels peuvent fortement modifier la composition des eaux usées. Cette modification est très étroitement liée à l'activité industrielle concernée et peut prendre des formes innombrables.

Source : site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca).

Eaux de ruissellement :

Les eaux de pluie qui ruissellent sur les surfaces imperméabilisées, en général en zone urbaine, sont collectées par un réseau qui peut-être le même que celui qui collecte les eaux usées, ou non. On distingue :

- **les réseaux unitaires** : un seul collecteur assure le transport des eaux usées et des eaux pluviales. La qualité et le volume des eaux qui arrivent alors à la station d'épuration sont très variables. Pour éviter qu'un débit supérieur à sa

capacité n'arrive à la station d'épuration, des ouvrages de déviation (réservoirs et déversoirs d'orage) sont répartis sur le réseau ;

- **les réseaux séparatifs** : deux réseaux sont mis en place, l'un pour collecter les eaux usées, l'autre pour les eaux de ruissellement. En principe seules les eaux usées arrivent à la station d'épuration pour traitement, c'est-à-dire que les eaux de pluie ne sont pas traitées et rejetées directement. La station ne doit donc théoriquement recevoir qu'un effluent brut de qualité relativement régulière et de débit relativement bien déterminé.

Source : site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca).

Système	Domaine d'utilisation privilégié	Avantages	Inconvénients	Contraintes d'exploitation
Unitaire	milieu récepteur éloigné des points de collecte	conception simple : un seul collecteur, un seul branchement par immeuble	Débit à la station d'épuration très variable	Entretien régulier des déversoirs d'orage et des bassins de stockage
	Topographie a faible relief	Encombrement réduit du sous-sol	Lors d'un orage, les eaux usées sont diluées par les eaux pluviales	difficulté d'évaluation des rejets directs vers le milieu récepteur.
	Imperméabilisation importante et topographie accentuée de la commune	A priori économique (dimensionnement moyen imposé par les seules eaux pluviales)	apport de sable important à la station d'épuration	

	débit d'étiage du cours d'eau récepteur important.	pas de risque d'inversion de branchement	rejet direct vers le milieu récepteur du mélange "eaux usées - eaux pluviales " au droit des déversoirs d'orage	
		aspect traditionnel dans l'évolution historique des cités	acheminement d'un flot de pollution assez important lors des premières pluies après une période sèche	

Séparatif	petites et moyennes agglomérations	diminution du diamètre moyen du réseau de collecte des eaux usées	encombrement important du sous-sol	Surveillance accrue des branchements
	Extension des villes	exploitation plus facile de la station d'épuration	coût d'investissement élevé	entretien d'un linéaire important de collecteurs (eaux usées et pluviales)
	Faible débit d'étiage du cours d'eau Récepteur	meilleure préservation de l'environnement des flux polluants domestiques	risque important d'erreur de branchement.	entretien des ouvrages particuliers (siphons, chasses d'eau, avaloirs)
		certains coûts d'exploitation sont limités (relevage des		Entretien des postes de relèvement et des

		effluents notamment)		chambres à sables
				détection et localisation des anomalies (inversion de branchement, arrivée d'eaux parasites, passage caméra).

Tableau 1. Comparaison réseau unitaire et réseau séparatif

Source : Cartel-Eau (cartel.oieau.fr) et Office international de l'eau 2014.

2. Caractéristiques et composition :

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, etc.). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les micro-organismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives.

Dans cette partie, nous traiterons de manière plus détaillée :

- **Les micro-organismes** car ils constituent le principal danger sanitaire pour la réutilisation des eaux usées épurées
- **Les éléments traces** dont les effets sanitaires à long terme sont moins connus, notamment leur implication potentielle dans la survenue de cancers.

Pour chacune des substances présentes dans les eaux usées, nous allons considérer les modalités de la contamination chez l'homme. Les trois voies de contamination que l'on retrouve classiquement sont :

1- La contamination par ingestion : c'est la plus commune. D'une part, il y

a l'ingestion directe, lorsqu'il y a consommation d'eau. Celle-ci peut être volontaire lors de la consommation d'eau potable, ou involontaire, par exemple « boire la tasse » en natation. D'autre part, il y a l'ingestion indirecte, par exemple quand les eaux épurées sont utilisées pour irriguer des cultures dont les produits sont ensuite consommés.

2-La contamination par inhalation : elle est moins importante et n'est pas possible pour tous les polluants. Elle se produit lors de la formation d'aérosols, dans le cas de l'irrigation par aspersion ou de l'utilisation d'un karcher.

3-La contamination par voie cutanée : un simple contact peut entraîner une contamination, souvent grâce à des microcoupures sur la peau. Seule la bactérie *Leptospira* est vraiment concernée par ce mode de transmission.

- **Quatre « familles » de micro-organismes :**

Les micro-organismes comprennent, par ordre croissant de taille : les **virus**, les **bactéries**, les **protozoaires** et les **helminthes**. Ils proviennent dans leur immense majorité des matières fécales ; on distingue alors la flore entérique (*i.e.* intestinale) normale et les micro-organismes pathogènes. Ils ont des effets divers sur la santé : ils sont la cause d'infections bénignes (gastro-entérite par exemple) comme de maladies mortelles (choléra). Le pouvoir pathogène des micro-organismes (ou pathogénicité) dépend de plusieurs facteurs qui sont décrits dans le dernier paragraphe.

Les facteurs de la pathogénicité des micro-organismes :

Les micro-organismes pathogènes présents dans l'environnement ou dans l'eau ne vont pas toujours déclencher une maladie s'ils sont absorbés. La pathogénicité des micro-organismes dépend de plusieurs facteurs que l'on peut regrouper en deux classes : les facteurs concernant la physiologie du micro-organisme et ceux concernant la physiologie de l'hôte infecté.

Les matières en suspension (MES) :

Ce sont des matières biodégradables pour la plupart. **Les micro-organismes sont le plus souvent adsorbés à leur surface et sont ainsi « transportés » par les MES.** Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures.

Les micro-polluants organiques et non organiques : une pollution multiple et complexe :

Les micro-polluants sont des éléments présents en quantité infinitésimale dans les eaux usées. La voie de contamination principale, dans le cas d'une réutilisation des eaux usées épurées, est l'ingestion. C'est la contamination par voie indirecte qui est généralement préoccupante. Ainsi, certains micro-polluants, comme les **métaux lourds** ou les **pesticides**, peuvent s'accumuler dans les tissus des êtres vivants, et notamment dans les plantes cultivées. Il peut donc y avoir une contamination de la chaîne alimentaire et une concentration de ces polluants dans les organismes. La crispation actuelle de l'opinion publique à leur sujet, et le manque de connaissances sur leurs effets à long terme incite à analyser avec soin la nature et la présence de ces micro-polluants dans les eaux usées.

1-Les métaux lourds :

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. Leur origine est multiple : ils proviennent « des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des

activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels ».

Les éléments cités dans la littérature comme étant les plus dangereux sont le plomb (Pb), l'arsenic (As), le mercure (Hg), le cadmium (Cd) et le nickel (Ni) (Vilaginès, 2003). Les descriptions suivantes se basent sur une étude synthétique réalisée par Gérin *et al.* (2003).

2-Les micro-polluants organiques :

Les micro-polluants d'origine organique sont extrêmement **nombreux** et **variés**, ce qui rend difficile l'appréciation de leur dangerosité. Ils proviennent de l'utilisation domestique de détergents, pesticides, solvants, et également des eaux pluviales : eaux de ruissellement sur les terres agricoles, sur le réseau routier, etc. Ils peuvent aussi provenir de rejets industriels quand ceux-ci sont déversés dans les égouts ou même des traitements de désinfections des effluents par le chlore (haloformes). La concentration totale moyenne des micro-polluants d'origine organique dans les eaux usées est de 1 à 10 µg/l.

Quelques études mettent plus ou moins en évidence le danger représenté par certains produits, lorsqu'ils contaminent les eaux potables notamment. Ainsi, il a été observé chez des patients exposés au trichloréthylène de hauts déficits cognitifs. Ces perturbations du système nerveux central étaient attribuables à l'exposition à ce solvant (White *et coll.*, 1997, *in* Froese, 1998). Chez une population de l'Iowa, exposée à l'herbicide triazine, le taux de retard de croissance intra-utérin était plus élevé que chez les populations témoins. Cependant un lien de causalité direct entre le pesticide et le retard n'a pu être mis en évidence (Munger *et coll.*, 1997, *in* Froese, 1998).

Source : www.atmolor.org.

Les substances nutritives : potassium, phosphates et nitrates :

Leur présence dans les eaux usées peut avoir un impact négatif sur la **santé**

humaine et la qualité des **eaux superficielles** et dans une moindre mesure un impact bénéfique sur les **cultures** dans le cas d'une réutilisation agricole.

Le potassium est présent dans les effluents secondaires à hauteur de 10 à 30 mg/l. Il peut donc couvrir une partie des besoins des plantes.

Les phosphates sont présents dans les effluents secondaires à hauteur de 6 à 15 mg/l. Cette quantité est en général trop faible pour modifier le rendement, et en cas d'excès, les phosphates se fixent dans le sol. Ils peuvent alors être entraînés par l'érosion et participer au phénomène **d'eutrophisation**.

Les nitrates, qui permettent de fournir de l'azote à la plante, sont les plus problématiques. En effet, apportés en excès, ils peuvent avoir plusieurs impacts négatifs :

- **sur les cultures** : ils entraînent des retards de maturation, une altération de la qualité, etc.
- **sur le milieu naturel** : les nitrates sont les principaux responsables de l'eutrophisation des milieux aquatiques.
- **sur la santé humaine** : les nitrates peuvent être à l'origine de la formation de nitrites et de nitrosamines, responsables de deux phénomènes potentiellement pathologiques : la méthémoglobinémie et un risque de cancer. Les nitrites sont de puissants oxydants qui ont la capacité de transformer l'hémoglobine en méthémoglobine, rendant le sang incapable de transporter l'oxygène jusqu'aux tissus. Les nourrissons de moins de 6 mois représentent une population à risque.

Conclusion

Compte-tenu des éléments présents dans les eaux usées, la réutilisation d'une eau de mauvaise qualité peut présenter des risques pour la santé et l'environnement, et poser des problèmes d'ordre technique en bouchant les conduites et les systèmes d'irrigation par exemple. D'un point de vue sanitaire, la quantité de contaminants qui parvient dans l'environnement se

nomme la charge excrétée. Sa composition dépend de la population à l'origine de la production des eaux usées, et notamment de la proportion d'individus infectés et des conditions d'hygiène. Elle peut être considérablement réduite par un traitement adéquat.

3 - Traitement :

Les différents traitements

On distinguera les **traitements** « **classiques** » largement utilisés par les stations d'épuration, et les **traitements supplémentaires**, le plus souvent de désinfection, nécessaires pour un projet de REUE. Ces derniers sont communément utilisés dans les stations de traitement qui produisent de l'eau potable. On peut considérer que les installations de traitement nécessaires pour une REUE sont l'association des techniques de l'épuration et de celles de la potabilisation. Source : www.atmolor.org

Les traitements sont la première barrière contre les risques posés par les contaminants. Ils vont permettre de réduire considérablement la charge excrétée dans l'environnement. Pour évaluer leurs effets sur les contaminants, nous allons d'une part étudier l'efficacité spécifique de chacun d'entre eux et d'autre part nous présenterons des analyses d'eaux usées épurées.

Lors des traitements, l'élimination des micro-organismes pathogènes a lieu selon trois mécanismes :

- La décantation des MES (sachant qu'une majorité des micro-organismes s'y trouve)
- La compétition avec les micro-organismes non pathogènes (pour les traitements Biologiques)
- L'action physico-chimique des procédés de désinfection et des facteurs naturels (Lumière, température).

La plupart des éléments traces sont peu solubles, leur élimination a donc lieu par décantation principalement. Leur concentration dans les eaux usées étant a priori peu préoccupante, ils ont été moins étudiés que les micro-organismes.

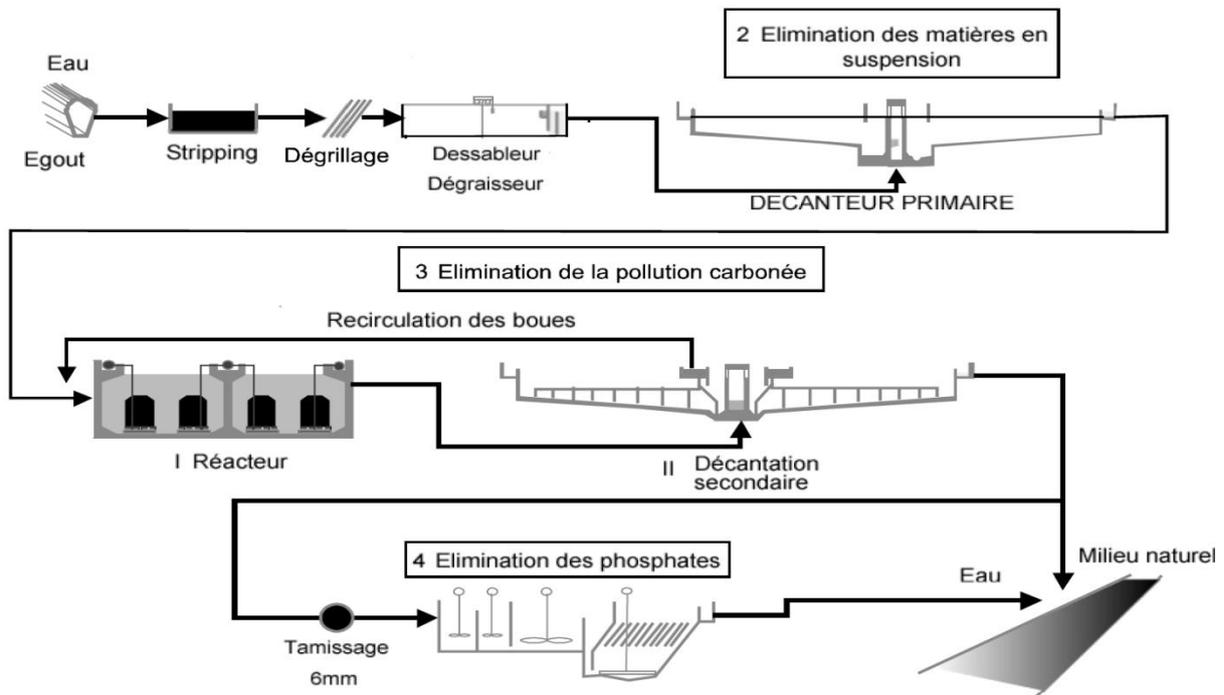


Figure 2 : schéma général d'une station d'épuration.

Source : usine seine amont 2002.

Les traitements « classiques » :

Une station d'épuration comporte généralement une phase de prétraitement, pendant laquelle les éléments les plus grossiers sont éliminés par dégrillage (pour les solides de grandes tailles), puis par flottaison/décantation (pour les sables et les graisses). Vient ensuite un traitement dit primaire, une décantation plus longue, pour éliminer une partie des MES. Des traitements physico-chimiques et/ou biologiques sont ensuite appliqués, afin d'éliminer la matière organique (i.e. matière carbonée). Ils sont généralement suivis d'une phase de clarification qui est encore une décantation. Enfin, un

traitement des nitrates et des phosphates est exigé en fonction de la sensibilité du milieu récepteur. Il existe également des traitements dits extensifs, comme le lagunage, qui combinent des traitements biologiques, physiques et naturels.

Les traitements physiques par décantation

Les prétraitements permettent d'éliminer la fraction la plus grossière, afin de ne pas gêner les opérations ultérieures. Ce sont le dégrillage, le dessablage, le dégraissage également appelé déshuilage.

La décantation primaire permet d'alléger les traitements biologiques ou chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des solides en suspension. L'efficacité du traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle (qui s'oppose à la décantation). La décantation primaire permet d'éliminer, pour une vitesse ascensionnelle de 1,2 m/h, 40 à 60 % des MES, soit 10 à 30 % des virus, 50 à 90 % des helminthes et moins de 50 % des kystes de protozoaires. La décantation des MES entraîne également avec elle des micro-polluants.

La décantation secondaire, également appelée clarification, intervient après un traitement biologique ou chimique, afin d'éliminer les floccs issus des traitements biologiques ou chimiques. Lors d'une phase de décantation, l'élimination des micro-organismes se fait principalement par décantation des MES (sur lesquelles ils sont adsorbés).

Les traitements physico-chimiques

Ils sont généralement utilisés dans les stations d'épuration de grande capacité, ou dans celles ayant à faire face à de grandes variations de charge dans l'année (zone touristique). Ils comportent classiquement deux phases : une phase de coagulation par des sels de fer ou d'aluminium, puis une floculation des colloïdes formés. La séparation du floc a lieu pendant la phase de clarification (décantation secondaire). Les procédés les plus modernes utilisent du micro sable injecté dans l'effluent afin d'accélérer la

décantation des floes. On parle alors d'élimination à floes lestés .Les traitements physico-chimiques permettent un bon abattement des virus. Cependant, leur utilisation, et notamment le dosage de sels de fer et d'aluminium, n'est pas toujours bien optimisée, sinon maîtrisée. Il y a donc un risque de surcoût lié à une mauvaise utilisation, voire un risque environnemental.

Les traitements biologiques

Le traitement par boues activées est 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 (ensemencement) et l'autre est évacué vers la filière des boues.

L'action des bactéries dans le réacteur nécessite de l'oxygène.

L'épuration sur lit bactérien est le plus ancien procédé biologique. Des bactéries sont cultivées sur un substrat neutre, comme de la pierre concassée, du pouzzolane (sable volcanique), du mâchefer ou du plastique. On fait passer l'effluent sur le substrat. La difficulté consiste à trouver la bonne vitesse du flux d'eau, qui ne doit pas être trop rapide (pour permettre la dégradation bactérienne) ni trop lent (pour une bonne évacuation des MES en excès). Une

Épuration sur lit bactérien est plus efficace qu'un traitement à boues activées car elle élimine non seulement virus et bactéries.

Le dernier traitement biologique mis au point est le **biofiltre**, qui combine les actions épuratrices de la filtration et de l'activité microbienne. C'est un traitement intensif qui est rapide à mettre en place, qui prend peu de place, et qui ne nécessite pas de bassin de clarification. Il est donc beaucoup utilisé dans les unités de traitement individuelles. Par contre, il nécessite un

nettoyage fréquent du filtre. Son efficacité serait similaire à celle des boues activées.

Les traitements extensifs : le lagunage secondaire

Le **lagunage secondaire** utilise des mécanismes naturels pour traiter les eaux usées : bactéries, photosynthèse et pouvoir germicide de la lumière et de certaines algues. Un traitement par lagunage comprend en général trois types de bassins : un bassin anaérobie, un bassin facultatif et un bassin de maturation. Le **bassin anaérobie** permet de diminuer la charge en matière organique. L'anaérobiose est obtenue en apportant un effluent très chargé en matière organique.

Ce type de bassin pose parfois des problèmes d'odeur, notamment à cause de la formation de composés soufrés. Le **bassin facultatif** permet le développement d'algues photosynthétiques qui vont produire de l'oxygène, tout en diminuant la charge en matière organique. Enfin, le **bassin de maturation** va permettre l'élimination des pathogènes, sous l'action conjuguée des UV et du pouvoir germicide de certaines algues. Les bactéries pathogènes sont éliminées de 90 à 99 %. L'élimination des virus est un peu moins efficace.

Le lagunage tertiaire

Le lagunage tertiaire est un procédé **extensif** de désinfection similaire au lagunage secondaire, si ce n'est qu'il est précédé d'un traitement d'épuration comme par exemple un traitement par boues activées. Il permet d'éliminer les micro-organismes, d'affiner l'épuration, de faire face aux variations de flux et de protéger le milieu récepteur.

Les procédés de désinfections supplémentaires

A l'issue des procédés décrits précédemment, les eaux sont normalement rejetées dans le milieu naturel. Dans le cadre d'une REUE, les eaux usées nécessitent des traitements supplémentaires, essentiellement pour éliminer les micro-organismes qui pourraient poser des problèmes sanitaires. Ce ne

sont pas des traitements d'épuration « classiques » (mis à part le lagunage) ; par contre ils sont fréquemment utilisés dans les usines de production d'eau potable. On peut donc supposer qu'ils constituent l'aménagement technique minimum d'une station d'épuration en vue d'une REUE.

L'infiltration/percolation

L'infiltration ou percolation consiste à traiter l'eau par l'intermédiaire du sol ou d'un massif filtrant. On infiltre les effluents à raison de quelques centaines de litres d'effluent par mètre carré de massif filtrant et par jour. Trois mécanismes entrent en jeu :

La filtration des MES : plus le sable est grossier, plus la fixation des MES se fera en profondeur. Les MES finissent par colmater le filtre. Pour lutter contre le bouchage du massif filtrant, il faut donc alterner phase d'infiltration et phase de séchage. L'élimination des MES permet également l'élimination des micro-organismes qui y sont fixés.

L'adsorption des bactéries libres par les grains de sable du filtre : il se forme alors un film biologique contaminé, surtout dans la partie supérieure. Ce film va permettre une **dégradation microbienne** de la matière organique et des substances dissoutes dans l'effluent (phosphates, nitrates, etc.). Cette dégradation consomme de l'O₂ et produit du CO₂, il faut donc aérer régulièrement le film pour éviter l'asphyxie du milieu.

Les paramètres non microbiologiques :

Les stations d'épuration ont des normes de rejet à respecter pour les **matières carbonées**, les **matières azotées** et les **matières phosphorées**. La réglementation (arrêté du 22 décembre 1994, modifié le 16 novembre 1998) distingue les stations qui rejettent en zone non sensible et celle qui rejettent en zone sensible à l'eutrophisation ; en zone non sensible, seules les normes concernant les matières carbonées sont à respecter, et en zone sensible s'y ajoutent les normes concernant les nitrates et/ou les phosphates.

Les rejets en matières carbonées sont mesurés par les trois paramètres suivants :

- **La DCO** (demande chimique en oxygène) : c'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder toutes les matières organiques et les matières minérales contenues dans l'eau.
- **La DBO5** (demande biologique en oxygène au bout de 5 jours) : c'est la quantité d'oxygène utilisée en 5 jours par les micro-organismes pour oxyder la matière organique. Onensemence l'effluent et on le sature en oxygène, puis au bout de 5 jours on mesure la quantité d'oxygène consommée. La DBO5 est en fait une mesure de la fraction organique de la DCO.
- **MES** : leur taux est mesuré par filtration puis pesée, ou par centrifugation puis pesée.

Source : Samuel BAUMONT, École nationale supérieure agronomique de Toulouse (ENSAT).

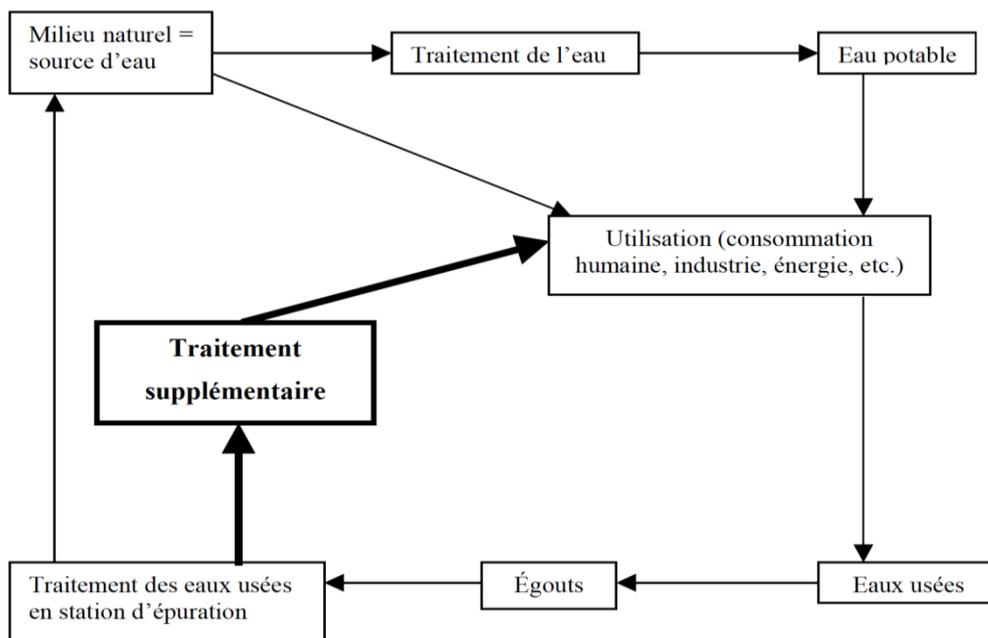


Figure 3: la réutilisation des eaux usées épurées dans le cycle d'assainissement.

Source : cours MR. BENYOUCEF 2019.

Introduction :

L'eau est un élément très important dans la mesure où elle est intimement liée à toute activité humaine (activités économiques, industrielles ou sociales), elle est essentielle pour le maintien de tous les écosystèmes et toute forme de vie.

La réutilisation d'eaux usées traitées (REUT) pour l'irrigation de cultures ou l'arrosage d'espaces verts présente un intérêt vis-à-vis de la préservation de la ressource en eau, notamment en cas de conditions climatiques défavorables (période de sécheresse prolongée) ou dans des zones de faible disponibilité des ressources en eau.

Les conditions de REUT doivent être encadrées réglementairement afin de prévenir les risques sanitaires liés à cette pratique. En effet, les eaux résiduaires urbaines, même traitées par une station d'épuration (STEP), contiennent divers micro-organismes pathogènes et des éléments organiques et minéraux potentiellement toxiques. Afin de garantir la protection de la santé publique et de l'environnement, la section des eaux du Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) a défini, en juillet 1991, des prescriptions sanitaires et techniques applicables aux installations utilisant, après traitement, des eaux usées à des fins d'arrosage ou d'irrigation (Réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation des cultures, l'arrosage des espaces verts par aspersion et le lavage des voiries .Avis de l'Anses .Rapport d'expertise collective .mars 2012).

1. Le choix de culture :

Il y a trois grandes catégories :

Catégorie A :

1- Cultures non destinées à la consommation humaine (cultures industrielles, coton).

2- Cultures séchées avant consommation.

3- Légumes et fruits cultivés pour les conserves.

Catégorie B : Fourrages verts

- Fruits pour la consommation, mais qui n'entrent pas en contact avec l'eau usée épurée (Arboriculture).
- Légumes pour la consommation humaine, consommés après cuisson. (Pomme de terre, aubergine, betterave, etc...).
- Fruits et légumes pour la consommation humaine, dont la peau n'est pas mangée (melon, pastèques, etc...). (Règles d'hygiène à respecter)

Catégorie C :

- Les légumes en contact direct avec l'eau usée épurée à consommer crus (laitue, etc...) nécessitent épuration de qualité supérieure (avec restriction).

2-Choix du système d'irrigation :

Le choix du système d'irrigation doit être fait en croisant plusieurs critères, et doit s'envisager sur le long terme. En effet, les systèmes les moins cher représentent ceux qui demandent la plus forte dépense en main d'œuvre ou en consommation d'eau et d'énergie. A l'aube des changements climatiques attendues pour ce demi-siècle il faut prévoir ses investissements en connaissance de cause.

2.1-Irrigation par ruissellement :

L'eau d'irrigation est apportée par ruissellement à partir des fossés du champ sans vrai contrôle par des digues ou par d'autres méthodes limitant le mouvement de l'eau (Schwab et al 1993). Cette façon de faire est souvent comparée à une inondation sauvage. Bien que ces méthodes soient intéressantes pour leur faible coût initial et pour le travail demandé, elles ne le sont pas pour leur faible efficacité et leur faible uniformité. Cette méthode est généralement utilisée sur les terrains vallonnés lorsqu'il n'est pas possible

d'implanter des planches, des bassins ou des raies et où l'eau à apporter est suffisante.

2.1 -Irrigation par planches :

L'irrigation par planches est l'apport d'eau sur des longues parcelles en pente et rectangulaire avec des conditions de drainage à l'extrémité basse du champ. Les planches sont disposées dans le sens de la plus grande pente, 30 à 65 pieds de large, 300 à 1300 pieds de long avec de petites levées de terre entre les bandes pour canaliser l'eau durant l'irrigation (Schwab et al., 1993). Le terrain entre les planches doit être nivelé perpendiculairement à la direction de l'eau. L'irrigation par planche convient très bien pour la plupart des types de cultures et de sol mais elle est favorisée par les sols ayant une vitesse d'infiltration lente et les cultures qui tolèrent un flaquage prolongé. Dans le Colorado, l'irrigation par bassin est principalement utilisée sur des cultures denses comme la luzerne, l'herbe et les céréales basses mais pas sur les cultures en ligne.

Tolèrent un flaquage prolongé. Dans le Colorado, l'irrigation par bassin est principalement utilisée sur des cultures denses comme la luzerne, l'herbe et les céréales basses mais pas sur les cultures en ligne.



Figure 4 : Irrigation par planches

3-Irrigation à la raie :

Alors qu'avec les autres techniques d'irrigation de surface l'eau recouvre la totalité de la parcelle, l'irrigation à la raie ne couvre qu'un cinquième ou la moitié de la surface. Les raies dont la taille varie, peuvent être placées dans le sens de la pente ou selon les courbes de niveau. De petits sillons peu profonds, appelés corrugations, sont typiquement utilisés pour les cultures denses telles que les céréales basses et la luzerne. Les raies plus larges et plus profondes conviennent pour les cultures en ligne comme le maïs.

Par rapport aux autres techniques d'irrigation de surface, l'irrigation à la raie permet, sur l'exploitation, de gérer l'eau avec plus de flexibilité. Le débit unitaire est considérablement réduit et cette technique peut être pratiquée avec des pentes allant jusqu'à 12% si les raies sont placées selon les courbes de niveau avec un débit dimensionné pour être non érosif. Si les raies ne sont pas disposées selon les courbes de niveau, la pente maximale recommandée est de 3% ou moins. Avec cette technique d'irrigation, la surface mouillée plus petite diminue les pertes par évaporation. Les raies offrent plus de possibilités à l'irrigant de gérer de façon plus efficace les irrigations lorsque, en cours de saison, les conditions sur la parcelle varient. Cependant, l'irrigation à la raie n'est pas toujours efficace et un ruissellement important peut se produire si un débit d'entrée constant est maintenu pendant l'arrosage. Différentes méthodes, telles que l'arrosage à deux débits ou l'irrigation par vague peuvent être utilisées pour réduire le ruissellement.



Figure 5 : Irrigation à la raie

2.4-Irrigation par bassins :

Les bassins sont généralement de forme rectangulaire, nivelés et entourés par une digue pour éviter le ruissellement. La mise en eau des bassins est généralement ni dirigée, ni contrôlée et elle peut être efficace si un débit important est disponible pour recouvrir rapidement la parcelle (Schwab et al., 1993). Quelques cultures et types de sol ne se prêtent pas à l'irrigation par bassins et elle convient mieux aux sols peu filtrants et aux cultures denses à enracinement profond (Walker 1989). Le nivellement du terrain est très important pour obtenir une uniformité et une efficacité élevées pour toutes les techniques d'irrigation de surface.



Figure 6 : Irrigation par bassins

2.5-L'irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion est un moyen polyvalent pour arroser n'importe quels types de cultures, de sols et de topographies (Schwab et al., 1993). Elle peut être efficace dans des conditions de sols ou de topographies pour lesquelles les méthodes d'irrigation de surface ne le sont pas. En général les systèmes sont définis selon le type de déplacement des rampes sur lesquelles sont fixés différents types d'asperseurs. Les rampes sont fixes ou mobiles. Dans ce dernier cas elles sont déplacées manuellement ou mécaniquement. L'irrigation par aspersion a une efficacité élevée mais pose des problèmes dus aux exigences en main d'œuvre et aux coûts d'investissement.

Les rampes déplacées manuellement nécessitent les investissements les plus faibles mais un besoin en main-d'œuvre très élevé. Ce système ne peut être utilisé que sur les cultures à faible développement.

Les rampes de type side-roll utilisent la canalisation d'irrigation comme axe pour des roues de grand diamètre séparées les unes des autres de 40 pieds. Entraînées par un moteur thermique, elles nécessitent ainsi moins de travail que lors d'un déplacement manuel. Ce système doit être utilisé sur des

cultures qui n'interfèrent pas avec le déplacement de la rampe ou avec le fonctionnement des asperseurs.

Un pivot est constitué par une canalisation tournant autour d'un point pivot central sous l'action de la pression d'eau, de moteurs électriques ou de moteurs hydrauliques à huile (Schwab et al., 1993).

Différents types de buses, à différentes hauteurs et avec différentes pluviométries peuvent être utilisés sur les pivots. Pour avoir la meilleure efficacité possible, le choix des asperseurs doit correspondre aux conditions de sol.

Les rampes frontales utilisent des structures semblables à celles des pivots mais dans le champ elles se déplacent parallèlement à elles-mêmes. Dans le cas de la couverture intégrale les asperseurs sont installés sur l'ensemble de la parcelle et tous ou seulement quelques-uns fonctionnent en même temps.

Les pivots correspondent au système d'aspersion le plus communément utilisé dans les High Plains au Colorado. Les asperseurs utilisés vont des anciens asperseurs à batteur aux sprays plus modernes avec un grand nombre d'applications et de positionnements (Howell 2003).



Figure 7 : L'irrigation par aspersion

Les systèmes de micro-irrigation :

La micro-irrigation est une technique d'irrigation apportant l'eau sur le sol lentement, avec une fréquence élevée, une pression de fonctionnement et des débits faibles et contrôlés (Schwab et al ., 1993). Correctement conçue, une installation de micro-irrigation permet d'augmenter les rendements et de diminuer les besoins en eau, en fertilisants et en main-d'œuvre. La micro-irrigation comprend : les micro-asperseurs, le goutte à goutte et l'irrigation goutte à goutte enterrée (SDI).

Les micro-asperseurs comprenant, les mini diffuseurs, les microdiffuseurs et les brunisseurs correspondent à des petits distributeurs placés sur de petits tubes allongés au-dessus de la surface du sol. L'eau projetée dans l'air parcourt une faible distance avant d'atteindre le sol. Avec cette technique, la faible surface mouillée par le distributeur est..

C- Irrigation avec l'eau usée traitée :

L'irrigation joue un rôle essentiel dans l'accroissement et la stabilité des rendements des cultures.

Dans les régions arides et semi-arides, l'irrigation est essentielle pour une agriculture économiquement viable, alors que dans des régions semi-humides l'irrigation est souvent

Apportée sur certaines cultures en complément de la pluviométrie.

Méthodes d'irrigation :

Méthodes (traditionnelles) de surface

- Irrigation par submersion (à la planche ou par bassin), humecte presque toute la surface du terrain
- Irrigation par tuyaux.
- Irrigation à la raie (ou par sillon), une partie de la surface du terrain est humectée.

Ces méthodes sont utilisées sur presque 95% des superficies irriguées à travers le monde. Elles sont peu coûteuses, simples à comprendre et à mettre en œuvre. Elles conviennent à beaucoup de pays en voie de développement, en particulier si l'eau n'est pas le facteur limitant pour la production agricole.

Méthodes d'irrigation sous pression

Asperseurs (asperseurs de capacité élevée, mini asperseurs ordinaires et asperseurs). Les Cultures et le sol sont mouillés de la même manière qu'avec la pluie. Ne goutte à goutte (système d'irrigation ponctuel ou localisé). Les caractéristiques principales du Système sont:

- Efficacité élevée d'application. Si elle est employée correctement, c'est probablement la Meilleure méthode d'irrigation dans les endroits où la pénurie de l'eau est un problème. (Howell 2003).
- Méthode appropriée pour faire face aux problèmes associés à la salinité de l'eau d'irrigation et à l'alcalinité du sol.
- Cette méthode est sûre et pourrait être la plus prometteuse pour l'irrigation avec l'eau usée, en particulier si le traitement est suffisant pour empêcher l'obstruction des orifices.
- Le contact de l'eau usée avec les agriculteurs et les cultures irriguées est réduit au minimum.
- Aucun aérosol ne se forme et, en conséquence, aucune pollution de l'atmosphère et de la zone proche des champs irrigués ne se produit.

Irrigation souterraine. Ce système n'est pas encore employé avec l'eau usée, mais il pourrait être utile pour irriguer avec de l'eau usée de mauvaise qualité et à risque sanitaire élevé.

L'irrigation souterraine et l'irrigation localisée peuvent assurer une meilleure protection sanitaire.

Irrigation par Bubbler : C'est une technique d'irrigation localisée avec régulation de l'écoulement. Lorsqu'il y a danger de colmatage, ce système convient mieux que l'irrigation Goutte à goutte et les mini asperseurs.

B.1 Choix du système d'irrigation :

Le choix du système d'irrigation approprié dépend de la qualité de l'eau usée, de la culture, des Coutumes, de l'expérience, de la compétence, de la capacité des agriculteurs à gérer les différentes méthodes et du risque potentiel sur l'environnement et sur la santé des agriculteurs et du public. Le tableau 19 qui évalue la convenance des méthodes d'irrigation, à savoir, la planche, la raie (ou sillon), l'aspersion, le goutte à goutte, par rapport à l'eau saumâtre est également valable pour l'eau usée traitée, en particulier en ce qui concerne la salinité.

Les problèmes de colmatage des asperseurs, des mini asperseurs, des goutteurs et des systèmes d'irrigation souterrains peuvent être sérieux. Son développement (dépôts biologiques, bactéries, etc.) dans les asperseurs, les orifices d'émission ou les canalisations d'alimentation, produit le colmatage. Les sels et les solides en suspension peuvent également produire le colmatage. Le colmatage le plus sérieux se produit avec l'irrigation goutte à goutte, qui est considérée comme le système idéal en ce qui concerne la protection sanitaire et la contamination des plantes, mais pourrait être difficilement utilisable si l'eau usée contient de fortes concentrations de matières en suspension (MES). ³/₄ Recommandations

Les agriculteurs doivent savoir que pour une eau usée traitée répondant à la directive de l'OMS, toutes les méthodes d'irrigation sont appropriées du point de vue du contrôle de la transmission de maladies, à condition que les critères agricoles soient également rencontrés. Si l'eau usée ne répond pas aux critères de santé alors:

- L'irrigation par aspersion (mini asperseurs, asperseurs, 'cracheurs', etc.) est seulement limitée aux fourrages, fibre, et production de graines.
- L'irrigation par pulvérisation d'eau sur les pelouses ou les domaines à accès illimité, peut être pratiquée pendant la nuit.

- L'irrigation par aspersion n'est pas recommandée en conditions venteuses. Les microbes pathogènes peuvent être emportés par le bouillard ou l'aérosol formé par la dérive du vent ce qui peut engendrer un risque sanitaire pour les ouvriers, les habitants de la ferme et des zones résidentielles voisines.

- Si l'eau usée traitée n'a pas la qualité sanitaire et/ou environnementale acceptable, il faut mélanger l'eau usée traitée avec l'eau d'irrigation conventionnelle, si elle est disponible, pour permettre d'atteindre les prescriptions pour un certain usage.

Les méthodes d'irrigation doivent également être examinées par rapport à l'ampleur de leur pratique dans une zone ou un pays, l'expérience des agriculteurs avec certaines méthodes et l'ampleur de la contamination qu'elles peuvent induire sur les cultures, en particulier sur les parties comestibles.

L'irrigation gravitaire ou irrigation de surface consiste donc à distribuer l'eau à partir d'un canal dans lequel l'écoulement est gravitaire et à répartir cette eau vers les parcelles au moyen de divers dispositifs de régulation. Dans la parcelle celle-ci s'infiltré à partir de bassins, rigoles ou autres zones de réduction de la vitesse de l'eau permettant son infiltration. Cette méthode est très rustique et ne demande pas de matériel particulier.

L'irrigation localisée est un terme général pour désigner un ensemble de techniques d'apport d'eau au pied des plantes, par doses faibles et fréquentes, sous forme de gouttes ou de jet à très faible pression (n'engendrant pas de dispersion). Les distributeurs d'irrigation localisée peuvent être posés en surface du sol ou plus ou moins enterrés (de quelques mm à 30 cm de profondeur). Cette méthode est très exigeante en matière de conditionnement de l'eau (filtration) et de maintenance des installations pour en prolonger la durée de vie. (Réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation des

cultures, l'arrosage des espaces verts par aspersion et le lavage des voiries
.Avis de l'Anses .Rapport d'expertise collective .mars 2012).

3 -LES RISQUES :

La banque Mondiale a défini trois niveaux de risque qui facilitent la sélection des cultures à irriguer.

3.1 Faible risque : pour le consommateur mais protection requise pour les travailleurs aux champs :

- Cultures industrielles non destinées à la consommation humaine (coton, sisal, etc.).
- Cultures transformées par la chaleur ou séchage avant la consommation (graines, huiles, sucres).
- Légumes et fruits cultivés exclusivement pour la conserve ou autres procédés qui détruisent de façon animale séchées au soleil et récoltées avant la consommation animale efficace les pathogènes.
- Cultures fourragères et autres cultures destinées à l'alimentation.

3.2 Risque moyen : pour les consommateurs et les manutentionnaires

- Pâturage et fourrages verts.
- Cultures pour la consommation humaine qui ne sont pas directement en contact avec les eaux recyclées (arboriculture Cultures pour la consommation humaine normalement consommées après cuisson (pommes de terre, betteraves, asperges, etc.).
- Cultures pour la consommation humaine dont la pelure n'est pas consommée (agrumes, bananes, noix, etc.).
- Toutes cultures non identifiées comme haut risque si l'irrigation par aspersion est utilisées, vignes, etc.).

3.3 Risque élevé : pour les consommateurs, les travailleurs et les manutentionnaires.1

Toutes les cultures consommées sans cuisson et cultivées en contact avec les eaux recyclées (légumes frais tels laitue, carottes, etc.).

Irrigation par aspersion quel que soit la culture à une distance de moins de 100 mètres des aires résidentielles ou des places publiques.

Les principaux risques liés à la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation peuvent être classés en trois catégories :

- **Risques sanitaires,**
- **Risques agronomiques et environnementaux,**
- **Risques opérationnels de dégradation de la qualité de l'eau recyclée dans les systèmes de distribution et de colmatage des équipements d'irrigation.**

Par principe, la majorité des normes plus récentes exigent au minimum un traitement biologique des eaux usées destinées à la réutilisation de l'eau pour l'irrigation. Dans certains cas, comme au Mexique par exemple, la priorité peut être donnée à la préservation de la valeur fertilisante des eaux usées par un traitement primaire avancé (ex. coagulation, floculation et décantation lamellaire), suivi de filtration ou/et de désinfection pour l'élimination prioritaire de la pollution microbologique, tout en préservant le carbone et les nutriments pour les cultures irriguées.

Un traitement tertiaire complémentaire est souvent indispensable pour les usages à haut risque sanitaire, comme par exemple l'irrigation de cultures maraîchères consommées crues et l'irrigation d'espaces verts. Une filtration complémentaire est également nécessaire pour éviter les dépôts dans le système de distribution et/ou de réduire le risque de colmatage des dispositifs d'irrigation, notamment les buses d'aspersion et les systèmes goutte-à-goutte.

Le développement et la mise en place de nouvelles filières de traitement des eaux usées pour l'irrigation a contribué également à l'amélioration de la qualité esthétique de l'eau recyclée - avec l'élimination des problèmes d'odeurs et de coloration des eaux recyclées - qui a freiné plusieurs projets en raison d'une perception négative de la part des usagers.

Contrôle des risques sanitaires :

Le risque majeur pour la santé publique associé à l'irrigation avec de l'eau recyclée est la contamination par des microorganismes pathogènes, notamment des virus, des bactéries, des helminthes et des protozoaires. Comme a été souligné par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) dans ses lignes directrices pour l'utilisation des eaux usées dans l'agriculture de 2006, un risque de transmission d'infections existe lorsque les conditions suivantes sont remplies:

- La population, les ouvriers agricoles ou les animaux sont exposés à des agents pathogènes dans l'eau recyclée par contact direct ou indirect dans les zones irriguées ou en consommant des cultures contaminées;
- Le nombre d'agents pathogènes ingéré est plus élevée que la dose infectieuse;
- L'hôte devient infectée;
- L'infection résulte dans un déclenchement de maladie et / ou d'une transmission de pathogènes à d'autres personnes ou des animaux.

Par conséquent, le principal objectif des mesures de protection de la santé publique dans les projets de réutilisation de l'eau est d'empêcher les deux premières conditions de se produire. Cela signifie que des pratiques appropriées doivent être appliquées pour réduire le nombre de pathogènes dans l'eau recyclée, ainsi que de mettre en œuvre plusieurs barrières et d'autres mesures visant à réduire la probabilité de contact avec les microorganismes qui sont potentiellement infectieux. Le choix de ces bonnes

pratiques pour la protection de la santé humaine et animale dépend des conditions locales et des préoccupations économiques.

Les mesures principales de contrôle des risques sanitaires pour l'irrigation avec de l'eau recyclée comprennent les quatre groupes suivants de bonnes pratiques :

- Traitement des eaux usées et contrôle de la qualité lors de la distribution et de stockage;
- Contrôle de l'application des eaux usées par le choix de méthodes d'irrigation appropriées et des pratiques culturales;
- La restriction du type de cultures irriguées et restriction de l'accès publique, notamment pour l'irrigation d'espaces verts;
- D'autres mesures, y compris le contrôle de l'exposition humaine (e.g. mesures de protection des ouvriers agricoles comme gants, masques, etc.), des mesures de récolte, l'éducation du public concerné et la promotion de bonnes pratiques d'hygiène.

Le traitement des eaux usées est unanimement reconnu comme la mesure la plus efficace pour réduire les risques sanitaires associés à l'utilisation d'eau recyclée pour l'irrigation. Pour cette raison, toutes les réglementations nationales ou internationales fixent ou recommandent un niveau de qualité que le traitement des eaux usées doit assurer en fonction de l'usage prévu et du degré de risque. Le degré de risque dépend de plusieurs facteurs, y compris l'état sanitaire endémique local, les méthodes culturales, les conditions climatiques, le risque de contact direct, la faisabilité économique, etc.

Durant les dernières années, plusieurs pays et états fédéraux ont inclus le recyclage de l'eau dans leur politique nationale de gestion des ressources en eau avec des règles, des obligations et des incitations financières. En plus d'un niveau de qualité par rapport aux indicateurs microbiologiques et

physico-chimiques, certaines normes préconisent également des filières de traitement et des barrières complémentaires pour réduire les risques sanitaires. e des risques agronomiques et environnementaux

En règle générale, les risques environnementaux sont surtout des risques chimiques agronomiques liés à la présence potentielle dans l'eau recyclée des éléments traces, de métaux lourds et des micropolluants organiques. Les mesures préventives pour la protection des risques sanitaires sont plus que suffisants pour protéger les sols, les eaux de surface et les eaux souterraines.

Les risques environnementaux pour la pollution des ressources en eau sont, par principe, prises en compte dans les réglementations sur la protection des zones de captage pour la production d'eau potable et pour la protection des zones sensibles.

Par conséquent, et comme démontré par l'état de l'art, les risques agronomiques majeurs sont comme suit :

- Salinité excessive du sol qui affecte la transpiration et la croissance des cultures sensibles. Le risque de salinisation des sols est important dans les zones arides et peut être évalué par le suivi de la concentration des matières dissoutes, de la conductivité électriques et des chlorures.
- Excès de sodium qui dégrade la structure des sols argileux et qui peut provoquer une diminution de sa perméabilité. En plus d'une quantité excessive de sodium échangeable, cet effet nocif est favorisé aussi par un ph élevé et une faible conductivité électrique.
- Toxicité pour les cultures liée surtout aux concentrations élevées de bore, de sodium et des chlorures, ainsi que parfois de certains éléments traces (y compris des métaux lourds) apportés le plus souvent par des effluents

industriels. La toxicité affecte la croissance des plantes, comme en témoigne l'apparition de brûlures et/ou la perte des feuilles.

- Excès d'azote qui peut affecter l'équilibre de nutriments des cultures et la qualité des eaux de surface ou souterraines.

Du fait que le traitement des eaux usées n'a pas d'effet sur ces composés chimiques, la meilleure solution consiste dans le contrôle à la source des rejets d'effluents salins, de l'intrusion d'eau de mer dans les réseaux d'assainissement, de l'usage de détergents contenant du bore et des rejets industriels.

Les bonnes pratiques d'irrigation avec de l'eau recyclée pour le contrôle des risques agronomiques consiste dans la combinaison de plusieurs mesures préventives ou correctives, y compris :

- Sélection d'une méthode d'irrigation adéquate,
- Choix approprié des cultures irriguées qui ont une tolérance adéquate du sel, du bord, du sodium et des chlorures,
- Pratiques de gestion des sols appropriées (préparation, amendements, etc.),
- Lessivage et drainage suffisant du sol pour drainer l'eau et évacuer les sels en excès,
- Calendrier adéquat pour faire à la fois l'irrigation et le lessivage,
- Bonne utilisation des engrais.

Contrôle de la qualité de l'eau recyclée dans les systèmes de distribution et d'irrigation :

Le principal problème lié à la distribution des eaux usées épurée est la dégradation potentielle de la qualité microbiologique, en particulier dans les

climats chauds et les réseaux de distribution à longueur importante. Pour cette raison et pour les usages à haut risque sanitaire, il est recommandé de maintenir un résiduel de chlore pour empêcher la croissance bactérienne. Par contre, la concentration de chlore résiduel ne doit pas dépasser 0,5-1 mg/L pour éviter les effets toxiques sur des plantes sensibles.

La présence de matières en suspension dans l'eau recyclée induit des risques de dépôts dans les réseaux, de dégradation organoleptique de la qualité de l'eau et de colmatage des systèmes d'irrigation localisée. Pour pallier à ces inconvénients, les bonnes pratiques d'entretien des réseaux de distribution incluent des purges hydrauliques périodiques, voire un nettoyage mécanique en cas de dépôts important.

Il faut noter que les systèmes d'irrigation goutte-à-goutte nécessitent souvent une filtration complémentaire après stockage et des protocoles de nettoyage spécifiques avec des produits chimiques.

Conclusion :

Entreprendre un projet de REUE est une démarche longue et délicate. Les eaux usées brutes sont très concentrées en polluants et leur utilisation présente un risque sanitaire potentiel élevé.

Mais il existe des traitements suffisamment puissants pour permettre d'abaisser les concentrations en polluants, et donc le risque sanitaire, à un niveau acceptable. La qualité obtenue est même parfois meilleure que celle d'approvisionnements plus conventionnels (rivières, sources, etc.). Les eaux usées épurées permettraient de couvrir toute une gamme de besoins : agriculture, usages industriels, domestiques, etc. Chaque besoin a des exigences différentes en termes de qualité. Il existe dans plusieurs pays, ainsi qu'au niveau international, différentes réglementations qui déterminent ces niveaux de qualité en fonction des risques sanitaires inhérents à ces usages.

Une opération de REUE peut être une réponse à deux types de situations critiques : la rareté des ressources en eau et la mauvaise qualité des masses d'eau naturelles.

D'un point de vue : il se peut qu'une réutilisation autre qu'agricole se révèle plus intéressante dans certains cas (d'un point de vue économique, écologique, etc.).

Referance bibliographiques :

1- Etude réalisé à l'ORS Ile-de-France (ENSAT).

2- Les sites :

<https://www.eaufrance.fr/lassainissement>http://uved-ensil.unilim.fr/co/Compo_des_eaux_usees.html#:~:text=Les%20concentrations%20moyennes%20d'une,variant%20de%206%2C8%20%C3%A0-des-eaux-usees-domestiques

<https://www.eaufrance.fr/lassainissement-des-eaux-usees-domestiques>

<http://uved->