

CHAPITRE 1: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralités sur l'eau d'irrigation

I.1. Définition d'irrigation

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides et semi-arides (**El-Asslouj et al. 2007**).

I.2. Importance de l'irrigation

I.2.1. Avantages

Tant qu'on ne saura pas faire pleuvoir où et quand on veut, l'irrigation restera le seul moyen d'augmenter les rendements et de les régulariser dans bien des régions du monde. En effet, selon les espèces et variétés cultivées, selon les terres, et selon les techniques utilisées, l'irrigation peut permettre d'obtenir de deux à cinq fois plus (et même dix en zone aride) de production (**Plauchu, 2004**).

L'irrigation n'est pas uniquement un apport d'eau sur une terre cultivée en vue de compenser l'insuffisance des précipitations et de permettre le plein développement des cultures. Elle est considérée plutôt comme un ensemble d'actions de développement intégré des milieux agricole et rural qui doit se traduire non seulement par l'augmentation de la production et l'amélioration du niveau de vie de l'agriculteur, mais doit se traduire également par la préservation du milieu, notamment des terres agricoles, et par une économie de l'eau d'irrigation qui elle-même se traduit par une économie dans l'utilisation de l'énergie (**Plauchu,2004**).

I.2.1.1. Apport sur le plan économique

Depuis les années soixante le pratique de l'irrigation est à l'origine d'une augmentation de la production alimentaire globale dans l'ensemble des pays du tiers monde (**De Regt, 1990**).

Répondant ainsi à une demande de produits alimentaires qui a considérablement augmentée par suite de l'essor démographique qui s'est manifesté dans la plupart des pays en voie de développement où, dans certains, la population double tous les 25 ou 30 ans.

L'irrigation n'a pas été seulement un atout dans l'augmentation de la production, elle a favorisé l'extension des surfaces agricoles mais également une diversification de produits plus large consommation que dans le passé (**De Regt, 1990**).

I.2.1.2. La satisfaction

Tous les pays cherchent à satisfaire la demande nationale, mais ceux qui le peuvent s'efforcent d'exporter leurs surplus agricoles ou la totalité de certaines productions qui ne trouvent pas ou peu de débouchés sur le marché national. Certaines cultures de plantations irriguées, souvent héritage d'une colonisation, donnent des produits qui doivent être nécessairement exportés, c'est le cas par exemple de l'Algérie et le Maroc qui doivent trouver des clients pour leurs agrumes (**Conac, 1978**).

I.2.1.3. L'irrigation un rempart à la famine

L'irrigation bien maîtrisée est un rempart utilisé de longue date pour endiguer la sous-alimentation et renforcer la sécurité alimentaire des sociétés, la preuve en est que :

- Le boom de la production agricole mondiale entre 1950 et 1990 doit beaucoup à l'irrigation (**FAO, 1975**). Entre ces deux années le rendement en céréales a plus que doublé et la récolte a presque triplé. Au début des années 50 on a étendu la surface cultivée, mais le boom, sans précédent historique, de la croissance des rendements et de la production est associé au doublement des surfaces irriguées, soutenue à partir des années 60 par la mise au point de nouvelles variétés de riz et de blé réagissant de manière optimale aux engrais et à l'eau (**Tiercelin, 1998**).
- la surface minuscule à l'échelle de la planète, fournit 55% des produits alimentaires de base, dont le riz et le blé. «...C'est l'irrigation qui a le plus contribué à l'accroissement de la production agricole enregistré dans une grande partie de l'Asie, de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient» (**Maton, 2006**).

En conclusion, nous pouvons dire que l'usage de l'irrigation présente de nombreux avantages. Il permet d'augmenter la superficie des surfaces cultivées, en particulier dans les zones arides, d'assurer parfois deux récoltes (ou plus) au lieu d'une seule dans l'année, notamment dans certaines zones tropicales humides, d'améliorer les rendements, et d'une façon générale d'intensifier et stabiliser la production en se libérant des variations climatiques. Enfin, les techniques modernes d'irrigation permettent aussi dans le même temps de fertiliser les sols.

I.2.2. Inconvénients

L'irrigation présente deux inconvénients majeurs sur les eaux souterraines. Elle est grande consommatrice d'eau et peut accélérer la désertification de certaines régions. L'agriculture irriguée rencontre de nos jours de nouveaux problèmes tels que le risque de salinisation qui peut être apprécié par la conductivité électrique (CE) et celui de l'alcalinisation des sols. Cette dernière, due aux échanges ioniques, concerne surtout le sodium, le calcium et le magnésium, entre l'eau et les argiles du sol; il est évalué par le coefficient d'absorption du sodium (**Bouaroudj, 2011**).

Mal conduite, elle peut être néfaste pour les sols. Lorsqu'ils sont trop secs, l'infiltration de l'eau se fait mal et si l'apport est trop important, une grande partie de l'eau stagne ou ruisselle le long des pentes. En s'évaporant, l'eau stagnante laisse en dépôt les sels qu'elle contient, favorisant une salinisation des sols qui deviennent progressivement incultes et doivent être abandonnés; c'est un phénomène que l'on observe surtout dans les régions arides et semi-arides. Quant au ruissellement de l'eau, il favorise l'érosion des sols, surtout lorsqu'ils sont secs. À l'inverse, des sols trop imbibés sont néfastes pour la plupart des végétaux dont ils asphyxient les racines. Les sols doivent donc être convenablement drainés afin de permettre à l'eau en excès de s'évacuer (**Bouaroudj, 2011**).

L'irrigation est l'activité qui consomme le plus d'eau, elle absorbe plus de 85 % de l'eau maîtrisée par l'homme (**Horning, 1973 et Plauchu, 2004**). D'importantes quantités d'eau sont en effet nécessaires pour compenser les pertes des plantes et des sols par évapotranspiration. En outre une majeure partie de l'eau d'irrigation retourne directement dans l'atmosphère, où elle est momentanément perdue pour d'autres usages. Cela est d'autant plus vrai que plus une plante dispose d'eau, plus son évaporation n'est importante.

Il existe cependant une limite à ce phénomène au-delà de laquelle un apport supplémentaire d'eau n'augmentera pas la transpiration végétale. Pour éviter d'utiliser trop d'eau, les quantités justes nécessaires aux cultures doivent donc être soigneusement estimées et l'irrigation contrôlée. (**Horning, 1973**).

Quoi qu'il en soit, pour irriguer les champs, il faut de l'eau et beaucoup d'eau, une eau que l'on doit parfois aller chercher très loin.

Au niveau mondial, les prélèvements en eau de l'irrigation représentent aujourd'hui environ 70 % des prélèvements totaux, ce qui est énorme. À l'échelle locale, la consommation

immodérée d'eau d'irrigation peut même parfois conduire à une réduction considérable des volumes disponibles. Ainsi, le lac Tchad, autrefois la plus grande réserve d'eau douce du continent africain, est aujourd'hui 20 fois plus petite qu'il n'était il y a 35 ans (**Plauchu, 2004**).

Les agriculteurs des pays limitrophes puisent en effet toujours plus d'eau pour irriguer leurs champs et lutter contre la sécheresse grandissante de cette région du globe. En outre, toute cette eau ne parvient pas aux plantes car les pertes sont importantes, surtout lorsqu'il s'agit de techniques d'irrigation traditionnelles. Or, celles-ci sont employées sur les deux tiers des surfaces irriguées du globe. Ces pertes sont dues soit à des fuites sur canalisations, soit à l'évaporation de l'eau qui stagne sur les sols. On estime qu'en Afrique, environ 40 à 60 % de l'eau d'irrigation est ainsi perdue (**Plauchu, 2004**).

Mal conduite, l'irrigation peut également avoir des conséquences dramatiques sur les sols, surtout dans les régions au climat sec et chaud où l'on irrigue toute l'année. En effet, si l'eau d'irrigation n'est pas drainée, elle stagne dans les champs, et s'évapore lentement, laissant en dépôt les sels dissous qu'elle contient. Cet excès de sels stérilise progressivement les terres qui doivent être abandonnées (**Plauchu, 2004**).

Le pompage abusif d'eau fluviale à des fins d'irrigation peut aussi progressivement conduire à l'assèchement des territoires situés plus en aval. À ce titre, l'exemple de la catastrophe écologique de la mer d'Aral, qui fut le quatrième lac du monde par sa superficie, est édifiant. Il illustre bien les très graves conséquences que peuvent engendrer des prélèvements excessifs d'eau.

Dans les années 1960, pour développer la culture irriguée du coton dans la région désertique du Kazakhstan, la majeure partie des eaux des deux fleuves qui alimentaient la mer d'Aral a été détournée. Ces prélèvements considérables ont abaissé de 15 mètres le niveau de la mer et diminué sa surface de 40 %. Dans le même temps, la salinité de ses eaux est passée de 10 à 30 grammes par litre. La faune a presque entièrement disparu et la pêche avec elle. Une mauvaise gestion de l'irrigation et une utilisation abusive d'engrais et de pesticides ont conduit à la salinisation des sols et à la désertification d'immenses étendues dans la région. La qualité des eaux souterraines s'est également dégradée et le niveau des nappes phréatiques a fortement baissé (**Plauchu, 2004**).

I.3. Les ressources en eau pour l'irrigation

Les ressources en eau destinées pour l'irrigation renferment deux types :

I.3.1. les eaux souterraines :

Les eaux souterraines proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Celles-ci s'insinuent par gravité dans les pores, les microfissures et les fissures des roches, humidifiant des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable. Là, elles s'accumulent, remplissant le moindre vide, saturant d'humidité le sous-sol, formant ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé aquifère. La nappe chemine en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant les pentes, parfois pendant des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre, alimentant une source ou un cours d'eau. Les nappes souterraines fournissent ainsi presque le tiers du débit total de tous les cours d'eau de la planète, soit environ 12 000 kilomètres cubes d'eau par an. les eaux souterraines sont exploités à partir des puits peu profonds et des forages. On ajoute également les eaux de sources. (Plauchu, 2004).

I.3.2. les eaux de surface : ce sont les ruisseaux, les petites rivières, les lacs, les mares d'eau, les retenues collinaires et les grands barrages. (Plauchu, 2004).

I.4. Les ressources d'eau en Algérie

I.4.1. Les ressource en eau souterraine

Les nappes phréatiques sont alimentées par les précipitations grâce à la perméabilité des sols et les infiltrations latérales au niveau des cours d'eau pendant son écoulement.

Dans le Nord du pays, les eaux souterraines sont estimées à 1,9 milliard de m³. Ces ressources qui sont relativement plus faciles à mobiliser, sont aujourd'hui exploitées à plus de 90% ; beaucoup de nappes sont même dans un état de surexploitation critique (Mitidja et autres périmètres urbains et industriels) (ANRH, 2003).

Actuellement, on estime à plus de 12 000 forages, 9 000 sources et 100000 puits qui sollicitent les nappes pour les besoins de l'agriculture et l'alimentation en eau potable et industrielle (ASPI). Les pompages agricoles restent faibles par rapport à ceux réalisés pour l'industrie et l'AEP (Loucif, 2003).

La répartition par région hydrographique des eaux souterraines du Nord se présente comme suit:

A l'inverse des ressources en eaux souterraines situées dans le Sud, les réservoirs du Nord du pays sont renouvelables, ils concernent au total 126 nappes principales.

Dans le Sud du pays, quelques nappes phréatiques, souvent saumâtres, existent dans les Lits d'oueds tels que les oueds Righ , M'Zab et Saoura, etc. Mais l'essentiel du potentiel en eau se trouve dans les nappes du Sahara septentrional (Loucif, 2003).

Tableau n°1: Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du Pays.

Bassin hydrographique	Oranie Chott Chergui	Chellif Zahrez	Algérois Souman Hodna	Constantinois Seybous Mellègue	Total
Ressources pot. (Hm³/an)	375	231	745	28,9	1379.9
Pourcentage (%)	19,7	12,2	39,2	28,9	100

Source: Rapport CNES 2000.

I.4.2. Les ressources en eau de surface

Provenant des précipitations annuelles, elles sont estimées à 12,4 milliards de m³ (ANRH, 2003), qui hélas pour la plupart vont se déverser dans la mer méditerranée. La répartition des écoulements superficiels est hétérogène à travers le territoire national. Le Nord qui représente 7 % du territoire national, reçoit un pourcentage très élevé de précipitations de l'ordre de 92 % du total.

De même cette hétérogénéité s'observe d'Est en Ouest dans le tell, les bassins du centre et de l'Est reçoivent 80 % de l'apport, tandis que dans la steppe et Sahara les écoulements superficiels sont extrêmement faibles, elles se présentent sous forme de crues épisodiques (Loucif, 2003).

Ces ressources en eau sont réparties par bassin hydrographique selon le tableau ci-après, les débits sont irréguliers au cours de l'année avec des étiages nuls et des crues de courtes

périodes mais violentes, causant une érosion à l’amont et des inondations à l’aval, l’irrégularité interannuelle est aussi marquée.

Les besoins en eau ont tendance à être à forte composante saisonnière: l’irrigation, la population, ainsi que la part du tourisme concentré dans les zones littorales concourent à déterminer une forte saisonnalité des utilisations de l’eau. A l’inverse de la variabilité saisonnière des ressources: les demandes en eau sont maximales quand les ressources sont minimales. Ce déphasage entre le régime des ressources et des demandes se produit également à l’échelle interannuelle, ce qui accentue les risques de pénurie conjoncturelle. (Loucif, 2003).

Tableau n°2: Répartition spatiale des eaux de surface de l’Algérie.

Bassin hydrographique	Oranie Chott Chergui	Chéllif Zahrez	Algérois Soumam Hodna	Constantinois Seybous Mellègue	Sahara	Total
Ressources pot. (Hm³/an)	1 025	1 840	4 380	4 500	600	12 345
Pourcentage (%)	8,7	15,7	37,3	38,3	0,48	100.48

Source: Rapport CNES 2000.

I.5. L’irrigation en Algérie

I.5.1. Superficies irriguées

Les études pédologiques qui ont été faites par l’Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) durant ces dernières décennies, ont montré que le potentiel des terres irrigables atteint environ 850 000 ha, soit 11 % des terres arables (7,5 millions d’ha) (Loucif,2003). En Algérie, les zones irriguées sont classées en:

- 1- Grands périmètres d’irrigations (OPI), infrastructure moderne d’irrigation, desservis essentiellement par de grands barrages, de taille supérieure à 3 000 ha environ.
- 2- Petits et moyens périmètres (PMH) d’irrigation, s’étendant entre la centaine et quelques milliers d’ha, avec des réseaux modernes ou traditionnels d’irrigation, desservis à partir de petits barrages, dérivations d’oueds ou de forages.

3- Les secteurs d'irrigation individuelle, desservis à partir de puits, de sources ou par épandage de crue.

Les superficies irriguées s'élevaient en 1989 à 378 000 ha; en 1995, elles ont atteint 454 000 ha (y compris les épandages de crues), soit 50 % du potentiel irrigable et se répartissent comme suit:

- 38 000 ha (8,4 %) périmètres gérés par les offices de périmètres irrigués (OPI) et irrigués à partir des barrages,
- 142 000 ha (31,3 %) dans les wilayas du sud,
- 274 000 ha (60,3 %) à travers la petite et moyenne hydraulique (PMH) dans le Nord.

La superficie irriguée n'a pratiquement pas évolué de 1960 à 1970. Au cours de 1980-84, environ 40000 ha nouveaux ont été mis en irrigation, soit 8 000 ha/an; 10 000 ha existants ont on outre été réhabilités (**Loucif, 2003**).

A la faveur de la relative disponibilité de l'eau et de l'installation de nouveaux équipements d'irrigation dans le cadre du Fond National de la Relance et du Développement Agricole (FNRDA), les superficies des cultures irriguées en Algérie ont sensiblement augmenté.

Tableau n°3 : Répartition des superficies irriguées selon la spéculation.

Spéculations	1999-2000	2000-2002	Moyenne 1991 à 2003	
			Ha	%
Céréales	60240	72470	51014	11.26
Cultures fruitières	179430	189900	161746	35.71
Cultures maraîchères	193380	198710	189716	41.88
Cultures industrielles	25510	23980	19805	4.37
Vignes	3220	5750	2915	0.64
Divers	27310	21890	27567	6.09
Total	489090	512700	458425	100

Source : MADR, 2003

Par ailleurs sur un total de 512700 ha irrigués les quatre wilayas du Sud s'accaparent 30 % de la SAU irriguée. La wilaya de Biskra occupe la première place avec 13,24 %, suivi de la

Wilaya de M'Sila avec 5,64 % puis la Wilaya d'Adrar avec 5,54 % et celle d'El Oued avec 5,3 %. Ce sont particulièrement ces zones d'irrigation qui nécessitent une rénovation de leur technique d'irrigation (**Enmouffok, 2003**).

L'agriculture telle que pratiquée depuis longtemps a montrée ses limites face à des besoins croissants et des changements fondamentaux y sont apportés régulièrement. Le ratio (SAU irriguée/habitant) n'a pas cessé de diminuer, de 0,009 ha/habitant en 2000, il serait seulement de 0,005 ha/hab. en 2025. Si les rendements agricoles ne s'améliorent pas et la superficie agricole (3 % de la surface du pays) n'augmente pas, la dépendance alimentaire ne ferait sans doute que s'élargir (**MADR, 2003**).

I.6. L'eau et l'agriculture

La relation eau-agriculture est une relation très ancienne, l'utilisation de l'eau à des fins agricoles ayant été pratiquée depuis plusieurs millénaires par des civilisations successives dans les régions méditerranéennes.

L'eau utilisée pour irrigation contient toujours des quantités mesurables de substance dissoutes qui, selon une terminologie collectivement admise, sont appelées sels.

On y trouve, en quantité relativement faibles mais ayant des effets importants, des corps provenant de l'altération des roches ainsi que de la dissolution de chaux, de gypse et autres sources de sels quand l'eau s'écoule sur le sol ou percole à travers (**Ayers R.S.et Westcol D.W.;1984**).

Une eau convient ou non à l'irrigation selon la quantité et le type de sels qu'elle contient. Avec une eau qualité médiocre, on peut s'attendre à divers problèmes pédologiques et agronomiques. Il faut alors mettre en œuvre des méthodes d'aménagement spéciales afin de maintenir une pleine productivité agricole. Avec une eau de bonne qualité les problèmes susceptibles d'influer sur la productivité seront très rares voire inexistant (**Ayers R.S.et Westcol D.W., 1984**).

I.7. Les caractéristiques des eaux d'irrigation

I.7.1. Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

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

De plus, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies, les agriculteurs, notamment dans les régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées. C'est ainsi que des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ont été établies. Une eau est conforme à l'irrigation est une eau dont les caractéristiques respectent les valeurs limites imposées par des textes de lois et inscrites dans des tableaux de normes. Les normes varient selon les pays, l'exemple du tableau 3 donne les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (Maynard et Hochmuth, 1997).

Tableau n° 4: Barème de qualité pour l'eau d'irrigation

Types de problèmes	Sévérité du problème		
	Aucun	Légère	Elevée
Conductivité (ms/cm)	< 0.75	0.75-3.0	> 3
Matières dissoutes totales	< 700	700-2000	>2000
SAR (Sodium absorption Ratio)	< 3	3-9	> 9
Alcalinité ou dureté	80-120	120-200	8 >200
pH (risque de colmatage)	< 7	7-8	> 8
Fe mg/l (risque de colmatage)	< 0.2	0.2-1.5	> 1.5
Mn mg/l (risque de colmatage)	< 0.1	0.1 -1.5	> 1.5

Source: Maynard et Hochmuth, 1997.

Les normes ont pour objectif de :

- ✓protéger le public et les ouvriers agricoles.
- ✓protéger les consommateurs des produits agricoles.
- ✓protéger les ressources en eau superficielle et souterraine et les sols.

- ✓protéger le matériel d'irrigation.
- ✓maintenir des rendements acceptables.

I.7.2. Les indicateurs de qualité

Selon (**Grosclaude, 1999**), les principaux moyens disponibles sur le terrain pour estimer la qualité de l'eau sont l'enquête sanitaire, complétée par l'analyse bactériologique et les analyses physico-chimiques.

I.7.2.1. Analyses physico-chimiques

Les paramètres à analyser dans une eau d'irrigation sont choisis en fonction de l'objectif recherché (tableau 05).

Tableau n° 5 : Les inducteurs de qualité

Objectifs	
Analyses en vue de caractériser le milieu (eau souterraine)	<ul style="list-style-type: none"> • conductivité • température • pH • Cations (calcium, magnésium, potassium et sodium) • Anions (chlorure, sulfate, nitrate et bicarbonate) • Eléments traces (Fer, Manganèse, Fluorure...)
Analyses en vue de caractériser le milieu(eau de surface)	<ul style="list-style-type: none"> • conductivité • température • turbidité • pH • Cations (amoniaque et potassium) • Anions (nitrate et nitrite) • Eléments traces (Fer / Manganèse) • oxydabilité et DBO

	<ul style="list-style-type: none"> • Oxygène dissous • Indice biologique
Analyses en vue de caractériser l'aptitude de l'eau à l'irrigation	<ul style="list-style-type: none"> • conductivité • Cations (calcium, magnésium et sodium)

Source: OMS, 1994

I.7.2.2. Analyse bactériologique

L'analyse bactériologique permet de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau d'irrigation. Elle permet également de contrôler l'efficacité des mesures de protection ou de traitement. L'analyse bactériologique est un outil complémentaire de l'enquête sanitaire: elle n'est que la photographie de la qualité de l'eau au moment du prélèvement: elle n'a donc pas valeur dans le temps et demande à être interprétée au regard de l'enquête sanitaire (**Allouche et al., 1998**).

L'étude des paramètres bactériologiques a porté sur la quantification des paramètres d'origine fécale: coliformes fécaux (CF), coliformes totaux (CT) et streptocoques fécaux (SF). Les prélèvements ont été effectués d'après la procédure de prélèvement et d'analyse de l'ONEP (2007), avec une fréquence mensuelle. Le dénombrement des CF, CT et SF a été effectué selon la méthode indirecte de fermentation en tube multiple dans un bouillon lactose; le nombre a été ensuite déduit statistiquement suivant la méthode du nombre le plus probable (**Rodier, 2009**).

On préfère alors chercher des germes qui sont toujours présents en grand nombre dans les matières fécales des hommes et des animaux à sang chaud, qui se maintiennent plus facilement dans le milieu extérieur et qui peuvent être aisément identifiés. Ces germes sont appelés germes indicateurs de pollution fécale, et leur présence dans l'eau témoigne de l'existence d'une contamination fécale au moment du prélèvement. Leur mise en évidence dans l'eau n'est pas la preuve de la présence de pathogène, mais permet de la suspecter fortement (**Destain et al., 2002**).

I.7.2.3. Enquête sanitaire

Par rapport aux autres indicateurs, l'enquête sanitaire permet d'avoir une approche beaucoup plus globale et donc plus significative de la situation. Elle permet, de mettre en évidence la vulnérabilité de l'eau par rapport à la pollution; elle a donc valeur dans le temps. Dans la plupart des cas, une enquête de terrain peut à elle seule donner une idée assez juste de la qualité bactériologique de l'eau et de sa vulnérabilité vis-à-vis de la pollution sanitaire (**Allouchef et al., 1998**).

I.8. Les propriétés des eaux d'irrigation

La qualité de l'eau d'irrigation peut être mieux déterminée par une analyse chimique en laboratoire. Les facteurs les plus importants pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture sont les suivants:

I.8.1. Les paramètres physiques

➤ La température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, etc. La température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profond (**Becissa, 2011**).

➤ Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est la salinité ou la concentration totale de l'eau est à l'origine des risques salins liées à une présence excessive de sels quelque soit leur natures.

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution (**Rodier et al., 2009**).

Le tableau ci-dessous présente des classes d'aptitude de l'eau à l'irrigation, modifié d'après (**US SALINITY LABORATORY, 1955**.) Le degré de salinité y est indiqué en

termes de conductivité électrique qui est une mesure facile à obtenir à l'aide d'appareils peu dispendieux (plus y a de sels dans l'eau plus la conductivité est grande).

Tableau n°6: Les classes d'aptitude de l'eau à l'irrigation

Classe	Indice de salinité	Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C	Remarques
C1	Basse salinité	$0 < C < 250$	- faible minéralisation de l'eau. - utilisation sur la plupart des cultures et des sols.
C2	Salinité modéré	$250 < C < 750$	- minéralisation moyenne. - utilisation sur sol modérément lessivé et plantes moyennement tolérantes au sel.
C3	Haute salinité	$750 < C < 2250$	- eau salée - utilisation sur sol bien drainé et plantes tolérantes au sel - contrôle de l'évolution de la salinité obligatoire
C4	Très haute salinité	$2250 < C < 5000$	-minéralisation forte - utilisation non souhaitable en agriculture

Source: OMS,1994

➤ **Le pH**

Le pH (Potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14 ; 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau.

Tableau n° 7 : Les classes de pH mesuré

Ph < 5	- Acidité forte - Présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux
------------------	---

	naturelles.
5.5 < pH < 8	- Eaux souterraines
pH = 7	-pH neutre
7 < pH < 8	- Neutralité approchée, majorité des eaux de surfaces
pH > 8	- Alcalinité, évaporation intense

Source: OMS, 1994

➤ Résidu sec

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. Elle consiste à prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée et la déverser dans la capsule. Cette est dernière placée à l'étuve à 105°C pendant 1/4 d'heure au dessiccateur et peser immédiatement. Les résultats sont donnés en mg/l suivant l'expression suivante : (Rodier et al, 2005).

$$RS = (pp-pv) 10 \times 100$$

Pp : poids plein de la capsule

pv : poids à vide de la capsule

I.8.2. Paramètres chimiques

I.8.2.1. Les anions

➤ Chlorures (Cl⁻)

Les chlorures sont largement répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl); ils représentent environ 0,05 % de la lithosphère (Santé Canada., 2008), ils sont présents à l'état naturel dans les eaux souterraines en raison de l'altération météorique et la lixiviation des roches sédimentaires et des sols, ainsi que de la dissolution des dépôts de sel. Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. (Nechad et al., 2014).

➤ Bicarbonates (HCO₃⁻)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique (CO₂) de la minéralisation de la matière organique (**Mebarkia, 2011**). La réaction de dissolution est donnée par l'équation suivante :



➤ **Sulfates (SO₄²⁻)**

Le soufre se combine à l'oxygène pour donner l'ion sulfate, celui-ci existe à l'état naturel dans certains minéraux tel le gypse et la baryte. Sa présence dans des eaux phréatiques provoque une dissolution du gypse (**Meybeck et al., 1996**).

La nature géologique des formations des réservoirs, caractérisés d'une importance relative des formations gypsifères semble être à l'origine de ces variations locales et saisonnières des teneurs en sulfates des eaux ce qui se traduit par de très faibles concentrations en ions SO₄²⁻ (**Nechad et al., 2014**).

I.8.2.2. Les cations

➤ **Le sodium (Na⁺)**

Parmi les sels dissous dans l'eau, le sodium requiert plus d'attention. De hautes concentrations en sodium peuvent être dommageables pour le gazon en modifiant les conditions physiques du sol.

L'analyse de la concentration du sodium dans l'eau d'irrigation ne peut être faite seule. En effet, l'influence du sodium dépend des concentrations en calcium et en magnésium. Aussi, plutôt que de parler de concentration en sodium, nous parlons plutôt d'une valeur qui tient compte des effets mutuels du sodium, du calcium et du magnésium (**Couture, 2004**). La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'absorption du sodium (RAS). Le RAS décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux, peuvent être tolérés en relativement grande quantité dans l'eau d'irrigation (**Couture, 2004**).

Voici la façon dont on calcule le RAS (le sodium, le calcium, et le magnésium sont exprimé en meq/l):

$$SAR = Na^+ / \sqrt{\left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2} \right)}$$

➤ **Calcium (Ca²⁺)**

Le calcium s'introduit dans le système d'eau douce sous l'action de la météorisation des roches, particulièrement celle des roches calcaires, et par entraînement à partir du sol dans les eaux d'infiltration, par lixiviation et par ruissellement. La concentration du calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium (Nechad *et al.*, 2014).

➤ **Magnésium (Mg^{+2})**

Le magnésium est l'un des éléments les plus répandus dans la nature; il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre.

La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau, le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogencarbonates (Rodier *et al.*; 2009).

➤ **Potassium (K^+)**

Minéral blanc argenté, alcalin, radioactif, très réactif à l'eau, se trouve dans la nature sous la forme de chlorures doubles dans de nombreux minerais, tels que la carnallite (très minéralisée en contact avec certaines évaporites) et se trouve également dans les centres des végétaux sous forme de carbonate; Le potassium provient de l'altération des roches silicatées, des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK, à base d'Azote, Potasse et Phosphore) retrouvés dans les eaux usées agricoles (Mebarkia, 2011).

1.8.2.3. Dureté des eaux

La dureté d'une eau est due essentiellement à la présence des sels de calcium et de magnésium (Tardt-Henry & Beaudry, 1984). L'origine du Ca^{2+} et Mg^{2+} est attribuée à la dissolution des roches calcaires et dolomitiques en présence de CO_2 provenant de l'atmosphère et des couches superficielles du sol. Le calcium et le magnésium sont des éléments très solubles à l'état naturel et ils possèdent une grande mobilité aquatique. Il existe plusieurs manières d'exprimer la dureté, dans nos calculs on a utilisé le degré hydrotimétrique ou le degré français, avec $1^\circ F = 10 \text{ mg/l de } CaCO_3$. Elle est calculée par la formule suivante :

$$DT = (Ca + Mg) * 5 \quad \text{Où} \quad Ca^{2+} \text{ et } Mg^{2+} \text{ sont exprimés en meq/l.}$$

Tableau n° 8 : Dureté des eaux en °F

D.H.T (en °F)	0 - 7	7 - 22	22 - 32	32 - 54	> 54
Qualification de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

Source: (W. Theobald et A. Gama, 1969).

I.9. Les problèmes liés à la qualité des eaux d'irrigation

I.9.1. Risque de salinité

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), de potassium (K^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires (Yelle, 2003).

La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimées en mg/L ou, plus couramment, par la conductivité électrique. La conductivité électrique est exprimée en milli siemens/centimètre (ms/cm). L'ancien nom de cette unité est le mho. Un mmho/cm est l'équivalent de 1 ms/cm qui est l'équivalent de 1 de siemens par mètre (dS/m) et en moyenne, à 640 ppm de sel (Yelle, 2003).

I.9.2. Toxicité

Les problèmes de toxicité surviennent lorsque certaine constitution du sol ou de l'eau sont assimilés par les plantes et s'accumulent pour atteindre des concentrations préjudiciables aux récoltes et aux rendements, la brûlure des feuilles constitue en général le premier symptôme.

Le chlorure, le sodium et le bore constituent les principaux ions, les problèmes de toxicité peuvent survenir même lorsque ces ions présentent une faible concentration. La toxicité peut ainsi se produire en irrigation par aspersion à partir d'une absorption directe par les feuilles des ions toxiques (Abdelhafidi, 2005).

I.9.2.1. Risque de Sodium

Proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres. Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation.

Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau. La perméabilité des sols sableux peut ne pas se détériorer aussi vite que les sols plus lourds lorsqu'irrigués avec une eau de forte teneur en sodium, cependant un problème potentiel existe (**Couture, 2004**).

Le sodium contribue aussi directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour des cultures sensibles comme les carottes, les haricots, les fraises, les framboises, les oignons, pour en nommer quelques unes.

De grande quantité de sodium combiné avec du chlorure donne à l'eau un goût salé. Si l'eau passe par un système d'aspersion et que le calcium et le magnésium sont bas, des teneurs moyennes à élevées de sodium peuvent défolier les plantes sensibles (**Couture, 2004**).

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le rapport d'absorption du sodium (RAS). Le RAS décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux, peuvent être tolérés en relativement grande quantité dans l'eau d'irrigation.

De l'eau avec un RAS plus de 9, ne devrait pas être utilisée même si le contenu total en sel est relativement bas (**Couture, 2004**).

Un usage continu d'eau avec un RAS élevé provoque une déstructuration du sol. L'eau avec un RAS se situant entre 0 et 6 peut généralement être utilisée sur tout type de sol avec peu de problème d'accumulation de sodium. Quand le RAS se situe entre 6 et 9, les risques de problème reliés avec la perméabilité du sol augmentent. Dans ce cas, le sol devrait être échantillonné tous les 1 ou 2 ans pour déterminer si l'eau augmente la teneur en sodium du sol (**Couture, 2004**).

Lorsque l'eau d'irrigation est saline, une valeur de RAS encore plus basse devrait être utilisée. Les problèmes dus au sodium sont aussi reliés à la concentration totale en sel de l'eau d'irrigation. Par conséquent, des eaux d'irrigation avec des salinités entre 1,5 et 3,00 mS/cm avec un RAS au-dessus de 4 doivent être utilisées avec prudence. Des échantillons de sols doivent être prélevés annuellement afin d'éviter d'éventuels problèmes de salinité des sols (Couture, 2004).

1.9.2.2. Risques liés aux chlorures

Lorsqu'ils sont présents dans l'eau d'irrigation, ces éléments contribuent à augmenter la concentration des sels solubles. Des concentrations excessives de chlorures peuvent causer des brûlures sur le bout des feuilles du gazon et voire même entraîner la mort des plants.

Des concentrations de 250 à 400 ppm sont considérées comme indésirables pour l'irrigation des plantes sensibles aux sels. Heureusement, les sels de chlorure sont rapidement solubles. Ils peuvent donc être lessivés dans les sols qui se drainent bien (Nancy, 1997).

1.9.3. Risques liés aux carbonates et bicarbonates

Une forte teneur en carbonate (CO_3^-) et en bicarbonate (HCO_3^-) augmente la valeur du S.A.R (environ $>3-4$ meq/l ou $>180-240$ mg/l). Parce que les ions carbonate et bicarbonate combinés au calcium ou au magnésium précipiteront sous forme de carbonate de calcium (CaCO_3) ou carbonate de magnésium (MgCO_3) dans des conditions de sécheresse.

Lorsque la concentration de Ca et de Mg décroît, en comparaison la teneur sodium et l'indice SAR deviennent plus importants. Ceci causera un effet d'alcalisation et augmentera le pH.

Par conséquent, lorsqu'une analyse d'eau indique un pH élevé, ce peut être un signe d'une teneur élevée en ions carbonate et bicarbonate (Nancy, 1997).

1.9.4. Carbonate de Sodium Résiduel (RSC)

Le RSC se calcule grâce à l'équation suivante:

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$$

C'est un autre moyen de calculer la teneur en sodium grâce au Mg et au Ca. Cette valeur peu apparaître dans certains rapport d'analyse d'eau.

Si le RSC < 1.25, l'eau peut être utilisée pour l'irrigation.

Si le RSC > 1.25 l'eau n'est pas appropriée à l'irrigation.

I.11. Conclusion

Cette partie dépend de donner un aperçu de notre étude des propriétés physiques et chimiques de l'eau d'irrigation, qui permettent l'identification de la qualité et de la conformité aux normes autorisées.

Et tout cela dans le but d'évaluer l'eau d'irrigation pour notre région (M'sila).