

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Dimensionnement d'une unité de déminéralisation des eaux de captage du champ de Bredeah (w. d'Oran) par électrodialyse.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 1-0016-12

APA Citation (APA توثيق):

Cheballah, Dihya (2012). Dimensionnement d'une unité de déminéralisation des eaux de captage du champ de Bredeah (w. d'Oran) par électrodialyse[Mem Ing, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics.

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتقييم الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات بيداغوجية، مقالات الدوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE- ARBAOUI Abdallah -

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option : Conception des Systèmes d'Alimentation en Eau Potable

THEME :

**DIMENSIONNEMENT D'UNE UNITE DE
DEMINERALISATION DES EAUX DE CAPTAGE DUCHAMP
DE BREDEAH
(W.ORAN) PAR ELECTRODIALYSE.**

Présenté par :

M^{elle} : CHEBALLAH Dihya.

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M^r O.KHODJET-KESBA	M C.A	Président
M^r Y.DERNOUNI	M A.A	Examineur
M^{me} L.TAFAT	M A.A	Examinatrice
M^r R.KERID	M A.B	Examineur
M^r M.BELALI	M A.B	Examineur
M^{me} F. AMMOUR	M A.A	Promotrice

Septembre 2012

REMERCIEMENT

Avant tout, je remercie DIEU qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage pour achever mes études.

J'exprime ma gratitude à ma très chère famille...

Mes vifs remerciements vont à ma promotrice : M^{me} F.AMMOUR pour sa patience à mon égard durant les étapes de ce travail, pour ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.

Par la même occasion je remercie :

M^{me} E.AMAR, chef de service au niveau de S.O.E.R pour son aide.

A celle qui ma épaulé lors de mon voyage a Oran Marwa ABOURA.

A mes Enseignants de l'ENSH pour leurs contributions à ma formation d'Ingénieur d'état en hydraulique, plus particulièrement Mr B.SALAH pour son aide et sa disponibilité.

Mes remerciements vont également à : Soumai, Roukaya, Yanice , Makhlouf, Said DJ....

Ma gratitude va également aux membres du jury pour honorer ma soutenance et pour l'effort fourni afin de juger ce travail.

Qu'il me soit permis de remercier toutes les personnes qui ont contribuées de prés ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dihya CH

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail en guise de reconnaissance et de respect :

Spécialement à ma très chère mère pour ces Sacrifices, son amour, son aide et son soutien et me voir ainsi arriver à ce que je suis devenue aujourd'hui.

À mon cher père ;

À mes deux sources du bonheur, mes frangines Kahina et Alyssa ;

À mon grand Frère Azwaw ainsi que son épouse Lilia;

À mon petit Frère Massinissa ;

À ma très chère grande mère HALLIL Malha;

À la mémoire de mon grand père;

Spécialement à mes meilleures amies: Karima IHOUT, Asma CHEBROU;

Djouhar MESSAOUDI; Karima MOUKKAS ; Karima FLICI; Djemaa GUERRA; Amel AMEZIANE ...

À tout mes ami (es) de l'école ENSH

À toutes les personnes qui me sont chers.

Dihya CH

ملخص

إن الهدف من دراستنا هو تقدير محطة نزع الأملاح من المياه كهربائيا في حقل بريدعة ولاية وهران و ذلك من اجل التقليل من نسبة الأملاح من اجل جعلها صالحة للشرب. لقد قمنا باختيار طريقة نزع الأملاح كهربائيا و التي تسمح باستخراج الالكترونات من الماء بالمحافظة على المكونات المئينة.

Résumé

L'objectif de notre étude est le dimensionnement d'une station de déminéralisation des eaux de captage du champ de Bredeah (W.ORAN), en vue de réduire leur taux de sel de manière significative et les rendre potables. Nous avons opté pour le procédé d'électrodialyse qui permet d'extraire en partie ou la totalité les ions contenus dans l'eau, en conservant des substances pas ou très peu ionisées.

Abstrac

The objective of our study is the evaluation of a station of demineralisation of t waters catchment of the field of Bredeah (ORAN) with a view to reducing their rate of salt in a significant way and making them potable. We opted for the technic of electro dialyse which allows to extract partly or entirety ions from water, by keeping its contains.

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Les ressources en eau en Algérie	
I-1- Introduction	3
I-2- La problématique de l'eau	3
I-3- Les ressources en eau en Algérie.....	6
I-4- L'expérience Algérienne en matière de dessalement.....	6
I-5- Objectif et programme de dessalement.....	7
I-6- Conclusion.....	10
Chapitre II : Présentation de la région de Bredeah	
II-1- Introduction	12
II-2- Situation géographique.....	12
II-3- Superficie.....	13
II-4- Caractéristiques de la zone d'étude.....	13
II-4-1- Morphologie.....	13
II-4-2- La pluviométrie	13
II-4-3- Le climat.....	13
II-5- Etude géologique	14
II-6- Hydrogéologie	15
II-6-1- Aquifères miocène.....	15
II-6-2- Aquifère quaternaire.....	15
II-6-3- Piézométrie.....	15
II-6-4- Nappe de Bredeah.....	16
II-7- Historique de la salinité.....	16
II-8- Hydrochimie.....	17
II-9 Conclusion.....	17
Chapitre III : Classification des procédés de dessalement et de déminéralisation	
III-1- Introduction.....	19
III-2- Classification des différents procédés de dessalements.....	19
III-3- Les procédés de distillation.....	20

III-3-1 Distillation à simple ou multiple effet.....	20
III-3-2 Distillation à multiple effet (Multi Effet Distillation : MED).....	20
III-3-3 Distillation par détentes successives ou procédés FLASH (multi stage Flash distillation MSF).....	21
III-4- Les procédés membranaires.....	21
III-5- Choix d'un procédé de dessalement.....	24
III-6- Evolution des procédés de dessalements.....	25
III-7 Conclusion.....	26

Chapitre IV : Procédé d'Electrodialyse

IV-1- Introduction.....	28
IV-2- Principe de l'Electrodialyse.....	29
IV-3- Domaine d'utilisation.....	29
IV-4- Classification des membranes.....	30
IV-5- Les différents types de membranes	33
IV-6- L'électrodialyse conventionnelle	35
IV-7- Composition des piles	37
IV-8 –Avantages et inconvénients de l'électrodialyse.....	38
IV-9- Conclusion.....	38

Chapitre V: Dimensionnement de la chaîne de prétraitement

V-1- Introduction.....	41
V-2- Les étapes de prétraitement.....	41
V-3-Calcul du filtre à sable	44
V-4- Microfiltration.....	46
V-5- Nettoyage des membranes d'Electrodialyse.....	47
V-6- Conclusion.....	47

Chapitre VI : Dimensionnement de l'installation de déminéralisation

VI-1- Introduction.....	49
VI-2- Procède d'électrodialyse à inversion de polarité(EDR).....	49
VI-3- Présentation de la pile d'électrodialyse utilisé	50
VI-4- Détermination des paramètres de fonctionnement.....	52

VI-5- Calcul de la tension appliquée aux bornes d'une cellule (VP)	56
➤ 1 ^{ère} Etage	56
VI-5-1- Puissance de dessalement (P).....	57
VI-5-2- Énergie pratique de dessalement (W).....	57
VI-5-3- Prévion de la composition d'eau traitée.....	57
➤ 2 ^{ème} Etage.....	58
VI-6-1 Calcul de la tension appliquée aux bornes d'une cellule (Vp).....	58
VI-6- 2 Puissance de dessalement(P).....	59
VI-6- 3 Energie pratique de dessalement (W).....	59
VI-6-4Prévion de la composition d'eau traitée à la sortie du 2 ^{ème} étage.....	59
VI-7 Débit d'eau produit Q_p	60
VI-8 Débit du rejet Q_R	61
VI-9 Post-traitement (la chloration).....	61
VI-10 Récupération des résultats	61
VI-11 Conclusion.....	61

Chapitre VII : Adduction

VII-1- Introduction.....	64
VII-1-2- Choix du tracé.....	64
VII-1-3- Choix du matériau des conduites	64
VII-1-4- Type d'adduction	65
VII-1-5- Dimensionnement de l'adduction	65
VII-2 Station de pompage.....	69
VII-2-1 Définition.....	69
VII-2-2-1 Pompes volumétriques.....	70
VII-2-2-2 Les turbopompes.....	70
VII-2-3 Couplage des pompes.....	70
VII-2-4Choix du type de pompe.....	71
VII-2-5 choix du nombre de pompes.....	71
VII-2-6 le point de fonctionnement.....	72
VII-2-7 Description des pompes.....	73
VII-3 Protection de l'adduction contre le coup de bélier.....	75

VII-4- Protection des conduites contre la corrosion	78
VII-4-4 Protection des conduites contre la corrosion externe.....	79
VII-5 Pose de canalisation.....	80
VII-5-4 Organes de raccordement.....	86
VII-10 Conclusion.....	86

Chapitre VIII : Estimation du prix du mètre cube d'eau démminéralisé

VIII-1- Introduction	89
VIII-2- Composition du prix d'un mètre cube d'eau dessalée.....	89
VIII-3-Prix du revient du mètre cube d'eau dessalée.....	89
VIII-4- Estimation du prix du revient	91
VIII-4-1- Frais d'investissement.....	91
VIII-4-2- Frais d'exploitation.....	92
VIII-4-3- Charges financières.....	93
VIII-4-4- Prix du mètre cube d'eau dessalée.....	93
VIII-5 Conclusion.....	93

Conclusion générale

Bibliographie et Sito-graphie

Annexe

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1- Répartition des eaux de surface	4
Tableau I-2- Répartition spatiale des eaux souterraines du nord du pays.....	5
Tableau I-3- Stations exploitées par Sonelgaz.....	6
Tableau I-4- Stations exploitées par Sonatrach	7
Tableau I-5- Les 15 grandes stations réalisées ou en cours de réalisation.....	9
Tableau I-6- Les stations de déminéralisation de l'Algérie.....	10
Tableau II-1- Données climatiques, pluviométries (année 2007/2008).....	13
Tableau II-2- données Climatiques (T,ETP, Humidité) (année 2007/2008)	14
Tableau II-3- Evaluation régulière de la salinité (1889-1983)	17
Tableau III-1- Répartition de la production d'eau dessalée (eau de mer).....	26
Tableau VI-1- composition chimique des eaux brutes.....	49
Tableau VI-2- propriétés électriques des Membranes anioniques AR103.....	51
Tableau VI-3- Propriétés électriques des Membranes cationiques CR61.....	52
Tableau VI-4- Calcul de la concentration de l'eau brute en ppm NaCl.....	54
Tableau VI-5- Répartition des ions dans l'eau d'alimentation ($TDS_0=3204\text{ppm}$).....	58
Tableau VI-6- Répartition des ions dans l'eau traité à la sortie du 1 ^{er} étage ($TDS_1=1602\text{ppm}$)...58	58
Tableau VI-7- Répartition des ions dans l'eau d'alimentation ($TDS_1=1602\text{ppm}$).....	60
Tableau VI-8- Répartition des ions dans l'eau traitée ($TDS_2=400.5\text{ppm}$).....	60
Tableau VI-9- Caractéristiques de notre station de déminéralisation	62
Tableau VII-1- calcul de la HMT de l'adduction.....	68
Tableau VII-2- calcul des frais d'amortissement.....	69
Tableau VII-3- calcul des frais d'exploitation.....	69
Tableau VII-4- Bilan.....	69
Tableau VII-5- Caractéristiques des pompes en fonction de leurs nombres.....	71
Tableau VII-6- Les paramètres géométriques des différents organes de la pompe de la variante choisie.....	74
Tableau VII-7- Calcul de la célérité d'onde pour notre adduction.....	77
Tableau VII-8- Les résultats du calcul de volume de réservoir d'air.....	78
Tableau VIII-1- Composition du cout d'un mètre cube dessalée.....	89

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Répartition des stations monobloc.....	8
Figure III-1 : Classification des différents procédés de dessalement	19
Figure III-2 : Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple effet avec compression de Vapeur.....	20
Figure III-3 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets(MED).....	21
Figure III-4 : Principe de fonctionnement d'un système par détente successive (MSF) à 3 Etages.....	22
Figure III-5: Schéma d'un système de dessalement par osmose inverse	23
Figure III-6 : Salinité de l'eau à traiter en mg/l.....	25
Figure III-7 : Estimation de la capacité de production dans le monde.....	25
Figure III-8 : Consommation énergétique des procédés de dessalement.....	26
Figure IV-1 : Principe de l'électrodialyse	29
Figure IV-2 : Notion de rétentat et du dialysat (pérmeat).....	31
Figure IV-3 : Schéma représentatif d'une membrane échangeuses d'ions.....	34
Figure IV-4 : Schéma général d'une membrane bipolaire.....	35
Figure IV-5 : Représentation schématique de la configuration à deux compartiments.....	36
Figure IV-6 : Représentation schématique de la configuration à trois compartiments	37
Figure IV-7 : Montage à quatre circuits	37
Figure IV-8 : Représentation schématique d'une paire de cellule	35
Figure V-1 : Filtre à sable.....	42
Figure V-2 : Perte de charge dans le milieu filtrant.....	43
Figure V-3 : Schéma du réservoir d'ajout d'antiscalant	44
Figure VI-1 : Inversion de polarité pour un nettoyage automatique.....	50
Figure VI-2 : Schéma explicatif de différents composants d'une pile d'Electrodialyse	50
Figure VI-3 : Schéma du taux d'élimination des sels pour chaque étage	53
Figure VII-1 : Point de fonctionnement des pompes de la variante choisie.....	73
Figure VII-2 : Schéma d'une pompe centrifuge.....	74
Figure VII-3 : Réservoir d'air anti bélier.....	76
Figure VII-4 : Corrosion interne dans une conduite.....	79
Figure VII-5 : Corrosion externe dans une conduite	80
Figure VII-6 : Pose de canalisation.....	82

Figure VII-7 : Traversée d'oued.....	82
Figure VII-8 : Pose de canalisation dans un terrain peu consistant.....	83
Figure VII-9 : Pose de canalisation dans un terrain mouillé.....	83
Figure VII-10 : Les différents type de vannes.....	84
Figure VII-11 Schéma d'une ventouse à double orifice	85

Introduction Générale :

De nos jours, la recherche dans le dessalement de l'eau est capitale du manque d'eau croissant dans les pays où les ressources en eau sont trop faibles par rapport à la population et à l'agriculture. En effet, tandis que la terre est recouverte de 72% d'eau, on trouve seulement 3 % d'eau douce. Cette eau est inégalement répartie sur la planète : 10 pays se partagent 60 % des réserves d'eau douce alors que 29 pays subissent des cycles de sécheresse très sévère.

A l'instar de certains pays de la région, l'Algérie est touchée par le problème de la pénurie d'eau, cet élément indispensable au bien être de la population devient de plus en plus rare.

Pour palier à cette insuffisance, notre pays a adopté une stratégie de diversification de la ressource, en valorisant les eaux non conventionnelles, et en s'engageant dans un vaste programme comprenant le dessalement de l'eau de mer pour l'eau potable, la mobilisation, le traitement des eaux pluviales et même la réutilisation des eaux usées épurées, en l'irrigation.

Donc l'option du dessalement s'est imposée comme la meilleure alternative stratégique, permettant de sécuriser l'alimentation en eau de certaines villes côtières et des agglomérations avoisinantes. Notre étude s'inscrit dans cette perspective et porte sur le dimensionnement d'une station de déminéralisation des eaux saumâtres de la nappe de Bredeah, par le procédé d'électrodialyse, en vue de contribuer à l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran. .

Chapitre I :

Les ressources en eau en Algérie

I-1 Introduction :

De part sa rareté, l'eau en Algérie, comme dans la plupart des pays du Sud de la Méditerranée, est un facteur limitant du développement et source de tensions sociales. La rareté est appréhendée en termes de stress hydrique et d'irrégularité de la ressource, deux facteurs susceptibles de s'accroître avec le changement climatique.

Avec moins de 600 m³ par habitant et par an, l'Algérie (36 millions d'habitants en 2010) se situe dans la catégorie des pays pauvres en ressources hydriques, au regard du seuil de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m³ par habitant et par an.

I-2 La problématique de l'eau :

L'Algérie qui compte plus de 36 millions d'habitants, et qui se trouve dans une région semi aride, souffre actuellement plus que jamais du problème d'insuffisance des ressources en eau. Elle est caractérisée aussi par une irrégularité pluviométrique et sa distribution hétérogène : si la région de Collo (l'est du pays) reçoit plus de 2000 mm/an, les régions de l'ouest ne marquent que moins de 400 mm/an, alors que le Sahara qui s'étend sur les trois quarts de la superficie du pays ne reçoit que moins de 100 mm/an. Sur les 100 milliards de m³ que reçoit annuellement le territoire du pays, il ne s'écoule dans les oueds et cours d'eau que 12,5 milliards de m³, et la quantité mobilisable par les barrages et les puits est d'autant plus faible : 4,5 milliards de m³ environ. Vu la gravité des problèmes d'envasement des barrages, l'exploitation irrationnelle et la pollution, la quantité d'eau utilement mobilisée est beaucoup plus réduite. C'est pourquoi l'Algérie a été classée au 14^{ème} rang mondial parmi les pays qui souffrent de manque d'eau. [5]

I-3 Les ressources en eau en Algérie :**I-3-1- Les ressources en eau de surface :**

Les écoulements de surface avaient été estimés pendant la période coloniale à 15 milliards de m³ (XIX^{ème} Congrès géologique international ALGER – 1952) pour les bassins tributaires de la Méditerranée (123000 km²), c'est-à-dire sans tenir compte des bassins qui dépendent des chotts. Dans les dernières études menées dans le cadre du Plan National de l'eau par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) et de la Direction des Grands Aménagements Hydrauliques (DGAH) et qui intègrent des années de sécheresse, les ressources

en eau de surface sont évaluées à 12.4 milliards de m³ répartis par bassin hydrographique selon le tableau suivant :

Tableau I-1 : Répartition des eaux de surface

Bassin hydrographique	Oranie		Algérois		Constantinois	
	Chott	Cheliff	Soummam	Seybouse	Sud	Total
	Chergui	Zahrez	Hodna	Mellègue		
Ressources pot. (hm³/an)	1025	1840	4380	4500	600	12,34
Pourcentage (%)	8,7	15,7	37,3	38,3	0,48	100.0

Les débits sont irréguliers dans l'année avec des étiages souvent nuls et des crues de courtes périodes mais violentes, causant une érosion à l'amont et des inondations à l'aval. Avec une irrégularité interannuelle. [3]

I-3-2- Les ressources en eaux souterraines :

- **Dans le Nord du pays :**

Les eaux souterraines ont été évaluées par les services techniques de l'ANRH dans le cadre du Plan nationale de l'eau à environ 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.

Actuellement, on estime à plus de 12.000 forages, 9.000 sources et 100.000 puits qui sollicitent les nappes pour les besoins de l'agriculture et l'alimentation en eau potable et industrielle (AEPI).

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

Tableau I-2 : Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays.

Bassin	Oranie	Algérois	Constantinois	
hydrographique	chott	Cheliff	Soummam	Seybouse
	chergui	Zahrez	Hodna	Mellègue
Ressources pot.(hm³/ an)	375	231	745	543
Total (%)	19.7	12.2	39.2	28.9
				Total
				1894
				100

Si on peut considérer que l'évaluation des potentialités en eau souterraines (1,8 à 2 milliards de m³) est déjà faite, il reste que la connaissance de cette ressource est à parfaire. Pour ce qui est d'abord de l'évaluation, elle est basée selon l'ANRH sur des études de modèles, de bilans ou simplement sur la relation pluie-infiltration. A l'inverse des ressources en eau souterraines situées dans le Sud, les réservoirs du Nord du pays sont renouvelables, ils concernent au total 126 nappes principales. Les nappes ayant fait l'objet d'une modélisation sont au nombre de huit (8) et représentent 35% du potentiel des eaux souterraines de l'Algérie du Nord. Il s'agit des nappes du plateau de Mostaganem (27 hm³), de la plaine de Ghris (70 hm³), de la plaine de Sidi Bel Abbés (44 hm³), du Chott Chergui (42 hm³), de la plaine d'Ain Oussera (27 hm³), de la Mitidja (310 hm³), du Hodna (110 hm³) et de la plaine d'Annaba (32 hm³). [3]

- **Dans le Sud du pays :**

Le sud de l'Algérie couvre 85% du territoire globale du pays, avec une superficie d'environ 2 156 000 km², et une population qui a dépassé aujourd'hui les 3 millions d'habitants. Considérée comme une zone désertique, où les précipitations sont quasi nulles, les crues sont violentes et dévastatrices, le charriage est considérable et l'érosion des berges participe au transport solide dans les cours d'eau avec un débit appréciable.

Pour ce grand espace, l'essentiel des ces ressources en eau est localisé dans deux grands système aquifères ; la nappe du Continental Intercalaire qui est un grand réservoir d'eau fossile qui s'étend sur tout le Sahara Septentrional et la nappe du Complexe Terminal qui est un aquifère peu profond. Une étude initiée par l'UNESCO a été réalisée dans le cadre du projet ERSS (étude

des ressources en eau du Sahara septentrional) en 1962 sur la nappe du continental intercalaire à l'échelle du Sahara Algéro-tunisienne.

I-3-3- Les eaux de mer et les eaux saumâtres :

L'Algérie, pays méditerranéen avec un littoral de 1200 Km², la ressource est pratiquement inépuisable ;

- ✓ La population ainsi que les industries grandes consommatrices d'eau se trouvent à proximité de la mer, ce qui réduit davantage les prix de revient du m³ d'eau dessalée.
- ✓ Le domaine de dessalement de l'eau de mer a connu ces dernières années une avancée technologique remarquable grâce au développement des différents procédés.
- ✓ La disponibilité de la ressource énergétique ou la combinaison de sa production.
- ✓ Le coût du m³ d'eau dessalée est en nette régression alors que le coût du m³ d'eau conventionnelle est en nette progression.

Ce sont les avantages qui ont rendu le recours aux ressources non conventionnelles de plus en plus favorables.

I-4 L'expérience Algérienne en matière de dessalement :

L'expérience algérienne du dessalement date des années 1960 avec le développement de l'industrie pétrolière, des petites unités de dessalement et de déminéralisation ont vu le jour dans les régions d'Arzew, Skikda, Hassi R'mel et Hassi Messaoud. En 1964, une première station de 192 m³/j a été installée à Arzew. La deuxième, en 1969 avait une capacité de 4560m³/j. A l'époque, un certain nombre d'études sur le dessalement ont été lancées par différents secteurs.

Pour ces besoins de production d'énergie électrique SONELGAZ a doté chacune de ces centrales à vapeur, d'unité de dessalement d'eau de mer pour produire de l'eau nécessaire à l'appoint des chaudières (Tableau I-3).

Tableau I-3: Stations exploitées par Sonelgaz [1]

Centrale	Capacité (m ³ /j)	Technique	Année d'installation
Mers el Hadjadj	1500	Thermo compression	1977
Mers el Hadjadj	2000	MSF	1991
Mers el Hadjadj	500	Thermo compression	1989
Cap Djinet	2000	MSF	1985
Djijel	2000	MSF	1992
Djijel	500	Osmose inverse	1992

Le plus grand nombre de stations revient à la Compagnie SONATRAC, 31 centrales ont été construites entre 1964 à 1982 (Tableau I-4).

Tableau I-4 : Stations exploitées par Sonatrach [1]

Centrale	Capacité m ³ /j	Technique	Mise en service
Arzew	576	Multi effets	1964
Arzew	4560	MSF	1969
Skikda	1440	MSF	1971
Skikda	720	MSF	1971
Skikda	1440	Echangeurs d'ions	1971
Annaba	960	Echangeurs d'ions	1971
Annaba	3600	Echangeurs d'ions	1973
Ghazaouat	840	Echangeurs d'ions	1974
Arzew	3888	Electrodialyse	1975
Arzew	960	Echangeurs d'ions	1975
Hassi Messaoud	1000	Electrodialyse	1975
Hassi Messaoud	110	Electrodialyse	1976
Gassi Touil	55	Electrodialyse	1977
Arzew	350	Thermo-compression	1978
Annaba	14180	MSF	1978
Hassi Messaoud	350	Electrodialyse	1978
Bel Abbes	1500	Echangeurs d'ions	1978
Haoud Berkaoui	55	Electrodialyse	1979
Hassi Messaoud	300	Electrodialyse	1979
Rhourd El Baguel	25	Electrodialyse	1979
Arzew	960	MSF (5 étages)	1979
Annaba	144	Echangeurs d'ions	1979
Annaba	576	Echangeurs d'ions	1979
Bassi-Rmel	792	Osmose d'inverse	1979
Annaba	6240	Echangeurs d'ions	1980
Ghardaia	960	Osmose d'inverse	1980
Arzew	960	MSF (6 étages)	1980
Mostaganem	57600	Osmose d'inverse	1980
Rhourd El Baguel	300	Electrodialyse	1981

I-5 Objectifs et programme de dessalement :

Deux objectifs majeurs :

- Sécuriser l'AEP des grandes villes et des localités côtières
- Réaffecter les eaux de barrages existants pour promouvoir le développement de la région des hauts plateaux.

- Un programme d'action géant et très promoteur a été dressé par le Ministère des ressources en eau pour installer 15 stations avec une capacité totale de production de **2,5 millions m³/j** (soit près de 6% de la capacité mondiale).

I-5-1 En matière de réalisation immédiate : [1]

21 stations monoblocs de dessalement d'eau de mer pour une capacité globale de **57 500 m³/j** ont été réalisées au titre du programme d'urgence 2002, dans sept wilayas de la bande côtière (Fig. I-1)

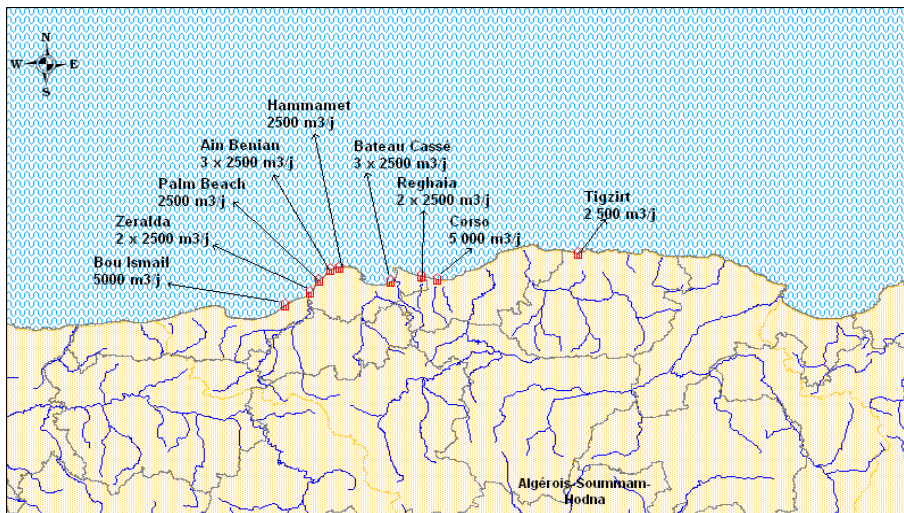


Figure I-1 : Répartition des stations monobloc.

I-5-2 En matière d'Etudes:

Dans le cadre du programme 2003, une étude générale sur le dessalement a été initiée: pour le choix de 23 sites. Le ministère des ressources en eau a étudié plusieurs scénarios pour projeter des unités de dessalement sur le littoral algérien.

OBJECTIFS DE L'ETUDE GENERALE :

- Recenser les centres et agglomérations situés sur le littoral algérien, touchés par le manque d'eau et ne pouvant satisfaire leurs besoins par des ressources conventionnelles.
- Dégager les déficits à combler ;
- Recenser les sites potentiels pour la réalisation d'unités de dessalement ;
- Définir un programme d'études complémentaires (qualité de l'eau de mer, bathymétrie, étude des courants marins, impacts) ;
- Arrêter le choix des procédés les plus appropriés en liaison avec les différents partenaires concernés (Sonelgaz, Sonatrach).
- Étudier les coûts de production et de commercialisation
- Proposer un programme de réalisation à court, moyen et long terme.
- Élaborer les études de faisabilité des sites retenus en première priorité.

Trois scénarios ont été retenus :

a) Scénario 1 : Prise en compte des villes côtières : 42 agglomérations (6 millions d'habitants), ayant des besoins totaux en 2010 : 1.200.000 m³/j. pour en répondre aux insuffisances, on vise à installer 16 stations modulables.

b) Scénario 2: Villes situées à 30 Km de la mer et à une altitude de moins de 300 mètres: 193 agglomérations, (9,75 millions d'habitants), ayant des besoins totaux en 2010 : 1.950.000 m³/j, pour en répondre aux insuffisances, on vise à installer 28 stations modulables.

c) Scénario 3:Villes situées à 60 Km de la mer et à une altitude de moins de 300 mètres : 235 agglomérations, (10,5 millions d'habitants), ayant des besoins totaux en 2010 : 2.100.000 m³/j, pour en répondre aux insuffisances, on vise à installer 34 stations modulables.

I-5-3 Programme de réalisation des usines de dessalement d'eau de mer:

L'objectif est la réalisation de 43 usines de dessalement opérationnelles d'ici 2019. 15 grandes stations sont en cours de réalisation, certaines ont déjà été réceptionnées ; leurs capacité de production dépassant les deux millions de m³/j (tableau I-6) une capacité plus importante que celle régularisée par le grand barrage de l'Algérie (Beni Haroune) qui est destiné à alimenter 5 wilayas à travers un transfert géant.

Tableau I- 5 : Les 15 grandes Stations réalisées ou en cours de réalisation :

Localité	Capacité (10 ³ m ³ /j)	Date de lancement des travaux	Date de mise en service Ou échéancier prévisionnel	Observations
Kahrama (Arzew)	90	Mai 2002	Aout 2005	centrale électrique d'une capacité de production de 300 mégawatts
Skikda	100	Aout 2005	Février 2009	Pole hydrocarbures et AEP
El Hamma (Alger)	200	Décembre 2003	Février 2008	
Béni Saf - A. Témouchent	200	Novembre 2004	Juin 2010	
Fouka - Tipaza	120	Mai 2007	Juillet 2011	- Alger: 60000 m ³ /j - Tipasa: 60000 m ³ /j
Souk Tleta - Tlemcen	200	Avril 2007	Février 2011	
Macta (Oran)	500	2007	2012	
Mostaganem	200	Juin 2006	2011	
Oued Sebt (Tipaza)	100	Janvier 2009 Octobre 2008	--	Accuse beaucoup de retard (Problème de remontée de la nappe)
Cap Djinet (Boumerdes)	100	Juillet 2008	Octobre 2012	
Tenes (Chlef)	200	Décembre 2009	--	Projet attribué à Befesa, est à l'arrêt depuis l'été 2011
Honaine (Tlemcen)	200	Juillet 2006	2012	
Echatt (El Taref)	50	Octobre 2006	2012	
Jijel	100	--	--	Le projet est différé
Bejaia	100	--	-	Le projet est différé
Total : 15 Stations	2460			

Avec la mise en service des 13 grandes stations de dessalement on arrive à mobiliser **2.260.000M³/j** ; soit **33%** des besoins en eau (7.000.000 M³/j).

I-5-4 Programme de réalisation des stations de déminéralisation des eaux saumâtres :

A part le dessalement de l'eau de mer au nord d'Algérie, il a été prévu la déminéralisation des eaux saumâtres dans les hauts plateaux et le sud.

Plusieurs stations de débit faible de traitement entre 100 et 200 m³/j existantes dans le sud, sont en exploitation par les collectivités locales et Sonatrach, dont l'information est non disponible.

Le volume mobilisé actuellement est celui de Brédeah qui est de 27 000 m³/j à 4g/l de sel au lieu de 34 000 m³/j à cause d'insuffisance d'eau produite et d'un module défectueux.

Tableau I-6 : les stations de déminéralisation de l'Algérie [10]

Nom des stations de déminéralisation	Wilaya	année de mise en service	Capacité (m³/j)	Volume traité
Brédeah	Oran	2006	34 000	20 000
Gharbouz	Ouargla	2009	5 000	4 320
Ain El Kheir	Ouargla	2009	9 000	7 920
Hai Bouzid	Ouargla	2009	10 000	9 000
Mekhadma	Ouargla	2009	3 000	4 608
Bamendil (El Khafedji)	Ouargla	2009	7 500	5 184
Village Bamendil	Ouargla	2009	3 000	1 440
Ifri - Gara	Ouargla	2009	10 500	7 560
Sokra	Ouargla	2009	3 000	1 440
Ruisset El Haddeb	Ouargla	2009	27 000	21 600
Touggourt	Ouargla	2009	34 000	28 800
El Oued	El Oued	2009	30 000	30 000
Totale			176 000	141 872

I-6 Conclusion

L'Algérie dispose d'un littoral de 1200 km, ce qui rend les ressources non conventionnelles de plus en plus favorables afin de satisfaire la demande de la population.

Chapitre II :

Présentation de la région de Bredeah

II-1- Introduction :

L'alimentation en eau potable de la ville d'Oran s'est faite antérieurement à 1880 par le captage de la source de Ras El Aïne débitant 50 l/s environ d'eau douce. L'accroissement des besoins a nécessité après cette date l'adduction des eaux de Brédéah jusque là de bonne qualité avec un débit voisin de 80 l/s. Les sources de Brédéah se sont ainsi transformées en station de pompage avec des débits allant progressivement jusqu'à 350 l/s. Ces pompes rabattant la nappe jusqu'à plus de 7 m ont provoqué une invasion d'eaux salées. Le résidu sec des eaux pompées augmente sans cesse avec l'intensité et la fréquence de ces pompages; il est passé de 0,76 g/l en 1888 à 7 g/l en 1999. La qualité de ces eaux de plus en plus salées est le résultat, sans aucun doute, d'un mélange eau douce - eau salée du à la présence de deux aquifères superposés sans limites étanches les isolant. L'intensité de plus en plus élevée des pompages le long du couloir Bou-Tlélis-Oran laisse supposer que ces nappes, "superposées" à ce niveau, souffrent d'un régime de surexploitation.

En effet, mis à part les quantités utilisées pour l'irrigation jusqu'à là non maîtrisées, le débit extrait pour l'alimentation eau potable d'Oran, Misserghin et Bou-Tlélis est évalué actuellement à 700 l/s. Les Adductions, prévues dans le cadre du programme d'urgence relatif au renforcement de cette alimentation en raison de la sécheresse, vont porter ce débit au-delà du mètre cube par seconde. Les entreprises chargées de la distribution des eaux potables pour la ville d'Oran dont les besoins sont de 320,000 m³/j ; mais dont la disponible en 1999 est de 105,000 m³/j, ce déficit de 2/3 des besoins pousse les gestionnaires à mélanger les eaux de brédéah avec celles qui arrivent du barrage de Beni-Bahdel (W . Tlemcen) et celles qui sont pompées aux forages F1 et F4. Pour résoudre ce problème il faudrait, une distribution rationnel des ressources existantes et implanter des forages comme les F1 et F4 sur le flanc sud de Murdjadjo et comme une amélioration de la qualité a pu être constaté e lorsque l'on s'éloigne de la zone de contamination que constitue Sebka, il faudrait multiplier des recherches pour retrouver plus en amont les eaux alimentant les quatre puits de Brédéah. Pour rendre l'eau de captage du champ de Brédéah potable, il est nécessaire d'installer une usine de déminéralisation de ces eaux.

II-2- Situation géographique :

La zone d'étude appelée communément « plaine de Bredeah » se situe à l'extrémité sud-ouest de la ville d'Oran entre les localités si dessous :

Elle est limité :

- Au nord par la ligne de crête du massif du Murdjadjo.
- Au sud par la bordure de la Sebka.
- A l'est par le sous bassin de Ain El Beida.
- Et à l'ouest par la plaine d'El Amira.

Elle se trouve inscrite dans le quadrilatère ayant pour coordonnées Lambert
X.1-X2=172-191 ; Y.1-Y.2=256-263

Cette plaine qui portait autrefois le nom de Plaine de Bou Yakor (voir cartes topographiques la concernant) englobe l'entité située entre El Amira et Boutlelis, la plaine de Bou Yakor et le Marais de la Cressonnière au Sud de Ain El Beida

II-3- Superficie:

La plaine s'étend sur près de 30 km de long sur 2 km de large en moyenne, soit une superficie globale de 60 km² au moins.

II-4- Caractéristiques de la zone d'étude :

II-4-1: Morphologie :

La plaine se présente sous la forme d'une étroite bande de 1500 à 3000 m de large insérée entre le massif du Murdiadjo et la grande dépression de la Sebhka. Légèrement inclinée au Nord, elle tend à une certaine horizontalité quand elle se déplace du Nord vers le Sud en direction du lac salé. La partie septentrionale de la plaine formée par les piémonts présente d'Est en Ouest, un vallonnement en douceur et qui enchante quand il y a présence de couverture végétale.

II-4-2- La pluviométrie :

La région possède un système hydrographique endoréique et digité ; les cours sont limités aux écoulements intermittents de quelques ravins (chàbète) qui se perdent dans les alluvions qu'ils alimentent, en bordure de la Sebhka.

Seul l'Oued Misserghine prétend posséder l'envergeure d'une rivière pérenne, puisqu'il est alimenté par des sources dites du ravin de la vierge. [5]

Tableau II-1 : Données climatiques, pluviométries (année 2007/08).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	juin	juil	Août
Pv(mm)	23,9	136,5	136,5	15,4	3,5	15,5	4,8	2,3	9,8	14,2	0,0	0,0

II-4-3- Le climat :

a) Les saisons :

- Les saisons sont peu marquées et leurs limites temporelles indéfinissables

Il est toujours possible que l'on pourrait se croire dans une saison autre que celle qui est installée et il n'est pas rare de vivre des journées complètement anormales.

b) Les vents :

- Les vents Dominant d'ouest, ils changent au cours de la journée et durant les saisons

Ils sont d'ouest d'octobre au juin, et du nord et le reste de l'année. L'ordre de fréquence décroissant des vents est :

W- SW –NE- N- NW –E - S et SE

Le sirocco, vent chaud et sec souffle 7 jours par an de juin à novembre

c) Les températures :

- Le climat de la région est typiquement méditerranéen, caractérisé par l'alternance très régulière d'une saison relativement froide et humide avec une saison chaude et sèche.

Tableau II-2 : Données climatiques, (T,ETP ,Humidité) (année 2007/08). [7]

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
<i>Tmoy(c°)</i>	23,1	19,1	14,7	11,6	10,8	11,9	13,3	15,2	18,2	21,6	24,7	25,5
<i>ETP (mm)</i>	130	86	56	42	43	54	85	110	138	154	168	156
<i>Humidité(%)</i>	18,1	14,1	11,3	17,3	9,8	10,4	13,8	14,2	16,7	22	25,3	27

II-5- Etude géologique :

- **Stratigraphie :**

La stratigraphie qui est très simple se résume en terrains holocènes constitués par des alluvions et néogènes représentant les formations du Miocène supérieur, calcaires, marnes bleues et gypses.

- **Alluvions de la Sebkha :**

Alluvions (as) : alluvions salées de bordure de la sebkha.

Alluvions (qb) : amas éoliens formés en majeure partie de cristaux de gypse et formant de petits monticules disséminés le long de la bordure de la sebkha.

- **Alluvions plio-quadernaires (2a,a3) :**

Alluvions actuelles englobant des sables de transport, des galets calcaires d'épandages et éboulis de pente.

Glacis d'ablation ou formation rouge argileuse (q1-2) :

Constituant le substratum imperméable de la nappe du plio-quadernaire :

- ✓ Calcaires à lithothamnées ,
- ✓ Marno-calcaires et marnes à tripoli,
- ✓ Gypse,
- ✓ Marne bleue formant substratum.

Tectonique :

La plaine de Brédéah constitue un des principaux éléments du complexe du Mardjadjo. Formé par des terrains à textures fines à grossières, celle-ci ne laisse transparaître aucune trace de tectonique visible.

Cette dernière s'était déjà manifestée ailleurs sur le massif du Mardjadjo et sur le Djebel Kahar après le Miocène supérieur.

On voit apparaître le horst du kahar et des clivages de schistosité qui se sont manifestés dans pratiquement tous les sens, particulièrement à la verticale et qui ont abouti à la formation de plissements et longitudinaux sur le plan incliné du massif.

Les compartiments néogènes ont une structure quant à eux, encore plus simple du fait qu'ils sont restés dans la position horizontale par opposition au plan incliné du Mardjadjo qui manifeste par son pendage un enjeu plio-quadernaire et des failles multiples probablement superposées sur les réseaux hydrographique en partie.

II-6- Hydrogéologie :

Il existe deux types d'aquifères: Miocène et Quaternaire [1,2].

II-6-1 Aquifères Miocène:

Cet aquifère est libre du Nord et peut devenir captif sous les argiles de la dépression de la Sebka. Les calcaires du Murdjadjo d'âge miocène contiennent la plus importante "nappe" de la région, aussi bien en ce qui concerne les dimensions, les capacités de réserve. La nappe se situe dans les calcaires hétérogènes, calcaires récifaux et calcaires à algues. La circulation des eaux se fait essentiellement par les fissures du Korst. En amont de l'aquifère calcaire du Murdjadjo, on note l'existence d'une nappe réduite en extension contenue dans les grès de base, conglomérat d'âge miocène. Elle draine ses eaux vers les calcaires. De même à l'Est, où on a une autre nappe contenue dans les calcaires à tripoli limités à leur partie inférieure par les marnes à tripoli de pierres jaunes silex jouant le rôle de substratum local. Ce contact est marqué par les extuaries des sources de Misserghin. Les forages F1, F2 et F4 traversent essentiellement les calcaires fissurés aquifères, leurs débits sont respectivement de 39; 11 et 29 l/s. Les sources importantes de la région étudiée sont celles de Brédéah, captées aujourd'hui par l'intermédiaire de puits en raison de l'abaissement du niveau statique qui se situe actuellement à près de 04 mètres au-dessous du niveau du sol, alors qu'à l'origine elles constituaient des émergences naturelles. Avant le captage le débit maximum était estimé à 24,000 m³/j. Le débit moyen journalier d'exhaure a atteint au mois de juin 1982, $Q = 43,337 \text{ m}^3/\text{j}$ (1800 m³/h).

II-6-2 Aquifère quaternaire:

Cet aquifère s'étend de la bordure de la grande Sebka au Sud du Murdjadjo, en occupant toute cette plaine. Les eaux de cet aquifère sont contenues dans les alluvions hétérogènes. L'eau est à une très faible profondeur (3 à 4 m). Les puits sont rares en bordure de la Sebka et plus nombreux au Nord, puisqu'on se rapproche du Murdjadjo où certains atteignent les calcaires sous un faible recouvrement alluvial. Une seule source a été reconnue, c'est la source de Sidi Mbark ($x = 189,70$; $y = 260,10$). c'est une source péenne, située en bordure de la grande Sebka, à l'extrémité Est de la carte d'inventaire des points d'eau, son débit est très faible, estimé à 0,5 l/s en janvier 1982, elle se déverse dans la grande Sebka.

Si ces deux aquifères sont individualisés à certains endroits du versant Sud du Murdjadjo à d'autres, ils se juxtaposent et les eaux sont alors en communication constante suivant des caractéristiques hydrodynamiques complexes et avec des alimentations multiples.

II-6-3 Piézométrie:

Lors de la campagne piézométrique effectuée les 23 et 24 janvier 1982, 88 puits ont été recensés et il s'agit de la piézométrie de la nappe située dans la plaine qui est bordée par la grande Sebka au Sud et les calcaires du Murdjadjo au Nord. Le tracé piézométrique de la nappe est relativement complexe, la surface apparaît très irrégulière. On remarque l'existence de protubérance qui peuvent atteindre des altitudes de 87 m à l'Ouest de Brédéah et des dépressions qui descendent jusqu'à 78,5 m, soit une différence de charge de 8,5 m. Le gradient hydraulique n'est pas constant, il varie d'un point à un autre en raison de l'hétérogénéité du terrain aquifère. L'écoulement se fait du Nord vers le Sud. Un écoulement inverse (Sud-Nord) a été observé à Daiet El-Hamra. La dépression de 78,5 m attire les eaux du Sud, ce qui peut indiquer une zone à plus grande perméabilité permettant aux eaux salées retenues dans la formation de la

Sebkha de s'écouler dans ce sens. Comme il peut aussi s'agir d'une zone qui appartenait auparavant à la Sebkha. La position de la station des eaux de Brédéah "explique le faible rabattement du niveau dynamique dans les forages (côte du forage central à l'arrêt était égale à 83,5 m). Ces forages se trouvent près d'une zone d'axes de drainages des eaux souterraines et de plus les assises calcaires constituant la nappe ne sont pas profondes. Les résultats obtenus d'après la piézométrie sont très significatifs, ceci malgré le non nivellement des puits. L'écoulement superficiel des eaux souterraines dominant se dirige du Nord vers le Sud et la nappe des calcaires du Murdjadjo alimentant les alluvions quaternaires. Le débit que fournissent les sources de Brédéah nous donne une idée sur le débit que peut fournir la nappe des "Calcaires Alluvions", puisque ces sources ne constituent qu'un seul point de débordement de cette nappe. Quant à l'écoulement inverse, Sud-Nord, observé à Daiet El Hamra il peut s'agir d'un écoulement préférentiel local provenant des eaux contenues dans la formation semi-perméable de la Sebkha

II-6-4 Nappe de Brédéah:

Le bassin d'alimentation des captages de Brédéah est limité à l'Ouest par les calcaires marneux de Bou-Tlelis, au nord par la ligne de crête du Murdjadjo. A l'Est la limite n'est pas franche, on ne note que quelques affleurements locaux du substratum qui remonte. Au Sud la limite n'est pas connue, on ignore ce qui se passe réellement sous le recouvrement de la grande Sebkha. Pour la limite Est on prend hypo-thétiquement comme limite la ligne d'émergence des sources de Misserghin. Pour la limite Sud, on a deux hypothèses: Soit les calcaires du Murdjadjo se prolongent sous la Sebkha formant un synclinal en affleurant de l'autre côté de la rive de la Sebkha, au Tessela avec un pendage vers le Nord. Soit par le phénomène subsidence, la limite Sud du bassin d'alimentation sera la limite actuelle de la Sebkha.

II-7 Historique de la salinité :

En 1879 date de la concession de Brédéah à la ville d'Oran, on prélevait entre 6 500m³/j et 7 500m³/j ce débit se stabilisa jusqu'en 1923. L'eau présentait alors un résidu sec avoisinant la norme admise de 1g/l. Avec l'augmentation de la demande, le débit a plus que doublé, après quelques années, provoquant ainsi un accroissement progressif de la salure de l'eau. Voici quelques chiffres illustrant l'évolution régulière de la salinité depuis le début de l'exploitation :

Tableau II-3 Evaluation régulière de la salinité (1889-1983) :

Années	Résidu sec (g/l)
1889	0.76
1899	1.19
1928	2.05
1948	4.3
1970	4.4
1973	4.1
1982	3.8
1983	3.7
1988	4.18
2000	4.30

II-8 Hydrochimie :

Le problème de la salinité des eaux des sources de Brédéah a attiré l'attention des organismes chargés de la gestion des eaux potables et les a amené à faire procéder à un certain nombre d'études. Malgré tous ces travaux échelonnés sur des nombreuses années aucune réponse définitive n'a pu être apportée. Pour certains auteurs la salinité serait liée à la proximité de la grande Sebka : les pompages intensifs ayant progressivement amené les eaux saumâtres au contact des forages d'exploitation, sans préciser d'où proviennent ces eaux salées. Cette hypothèse est fondée sur les observations faites en 1952 après la mise en service du barrage de Beni-Bahdel: une régression de la salinité des eaux ayant été constatée chaque fois que les pompages étaient mis à l'arrêt pendant un temps suffisamment long, la salinité augmentait dès que les pompages repris. D'autres auteurs sont de l'avis que la salinité provient des excès de pompage, ils ne précisent pas dans leurs rapports la provenance des eaux salées, se contentant d'affirmer que "les pompages importants ont attiré les eaux salées et rompues l'équilibre original".

L'étude la plus récente est celle effectuées par B. Sourisseau. Partant d'un avis contraire à celui de ses prédécesseurs il s'efforce de démontrer que la salinité des eaux ne provient pas de la Sebka; mais de la mise en solution par les eaux d'exhaure, de lentilles de gypse de sels interstratifiés dans les formations quaternaires. Il en donne comme preuve l'analyse "d'un échantillon de sel " pris du centre de la Sebka au mois d'août 1975 et analysé au laboratoire de l'INRH d'Oran. Dans cet échantillon la concentration des sulfates était plus faible que celle des eaux de la nappe des alluvions. Il conclut que la salinité des eaux de la nappe des alluvions qui s'accompagne toujours d'un enrichissement en sulfates, ne provient pas d'apport par la grande Sebka.

I-9 Conclusion

Vue les caractéristiques de notre région d'étude, on peut prévoir le projet de l'installation de la station de déminéralisation pour l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran.

Chapitre III :

Classification des procédés de dessalement et de déméralisation

III-1 Introduction :

Le dessalement est un procédé de déminéralisation. Il a pour but l'obtention d'eau de salinité voisine de celles des eaux douces naturelles à partir d'eau de mer ou d'eau saumâtre

Dans ce chapitre, nous nous attacherons à présenter les différentes techniques de dessalement existantes.

III-2 Classification des différents procédés de dessalements :

27 procédés de dessalement sont recensés. Ces différents procédés peuvent être classés en trois grandes familles :

1) Les procédés faisant intervenir un changement de phase :

- Evaporation
- Congélation

2) Les procédés de Perméation sélective à travers une membrane :

- Transfert d'ions sous l'action d'un champ électrique (électrodialyse) ou d'un gradient de pression (piezodialyse),
- Transfert d'eau sous l'action d'un gradient de pression (osmose inverse), sous l'action d'un gradient de température (thermoosmose).

3) Les procédés chimiques :

- échange d'ions
- extraction par solvant

IL faut toutefois signaler que la totalité des installations actuellement en service fait appel à deux grandes familles de procédés : les procédés de distillation et les procédés de séparation par membranes qui sont plus récents (Fig .III-1).

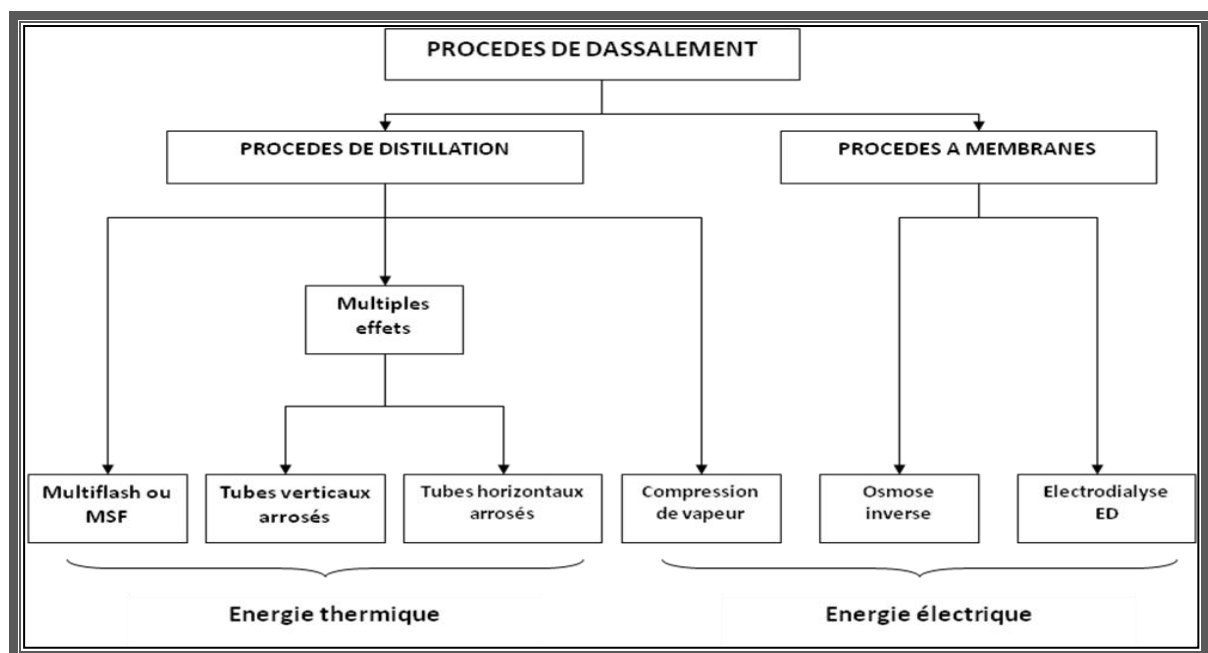


Figure III-1 : Classification des différents procédés de dessalement.

III-3 Les procédés de distillation :

Le principe de distillation consiste à chauffer l'eau de mer pour en vaporiser une partie. La vapeur ainsi produite ne contient pas de sels, il suffit alors de condenser cette vapeur pour obtenir de l'eau douce liquide. Il s'agit en fait d'accélérer le cycle naturel de l'eau. En effet l'eau s'évapore naturellement des océans, la vapeur s'accumule dans les nuages puis l'eau douce retombe sur terre par les précipitations. Ce principe de dessalement très simple a été utilisé dès l'Antiquité pour produire de très faibles quantités d'eau douce.

On distingue 4 procédés de distillation :

- Distillation à simple ou multiple effet ;
- Distillation par compression de vapeur ;
- Distillation par détentés successives appelé aussi MULTIFLASH ou FLASH;
- Distillation par énergie solaire.

III-3-1 Distillation à simple ou multiple effet :

L'eau de mer est chauffée dans un récipient étanche par la vapeur circulant dans un faisceau tubulaire. La vapeur formée est condensée sur un autre faisceau tubulaire placé dans la partie haute de l'enceinte et parcouru par de l'eau de mer froide.

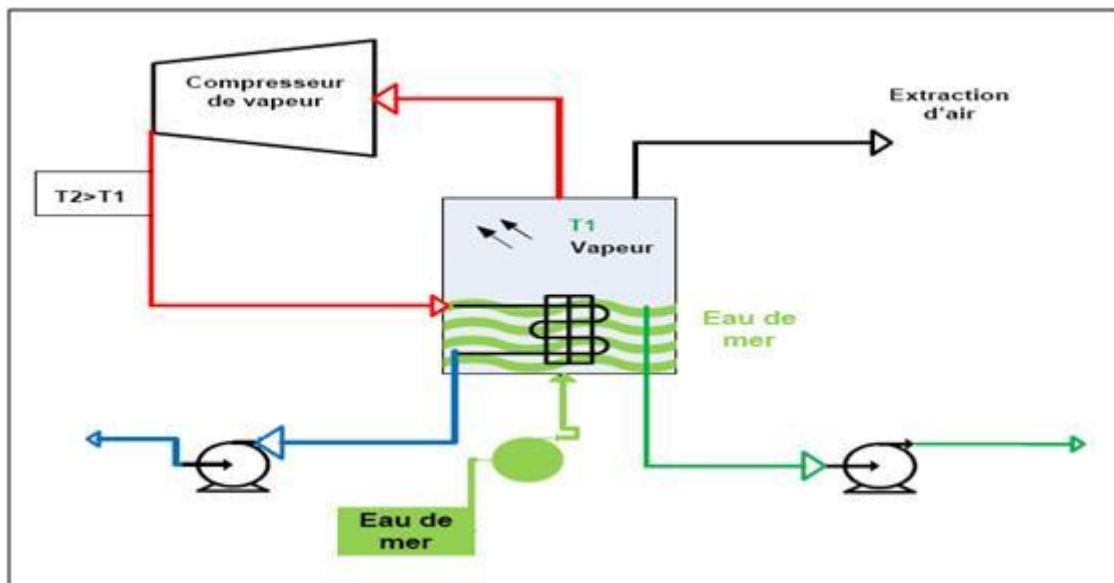


Figure III-2 : Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple effet avec compression de vapeur. [15]

III-3-2 Distillation à multiple effet (Multi Effet Distillation : MED) :

Le procédé Flash est relativement ancien, la première unité est installée en 1928 en URSS mais a connu un essor notamment dans les pays du Golfe à partir des années 1960 par l'installation d'une unité de 4500 m³ au Koweït en 1957. Ce procédé était développé à la suite des difficultés rencontrées dans la distillation à multiples effets par l'entartrage des surfaces d'échange d'ions. Il consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée de

chauffage, elle est introduite dans une enceinte où règne une pression réduite, il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash, cette vapeur va se condenser, le phénomène se reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression plus faible ; la vaporisation de l'eau est réalisée par détentes successives de températures excessives jusqu'à T_{max} et de pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle

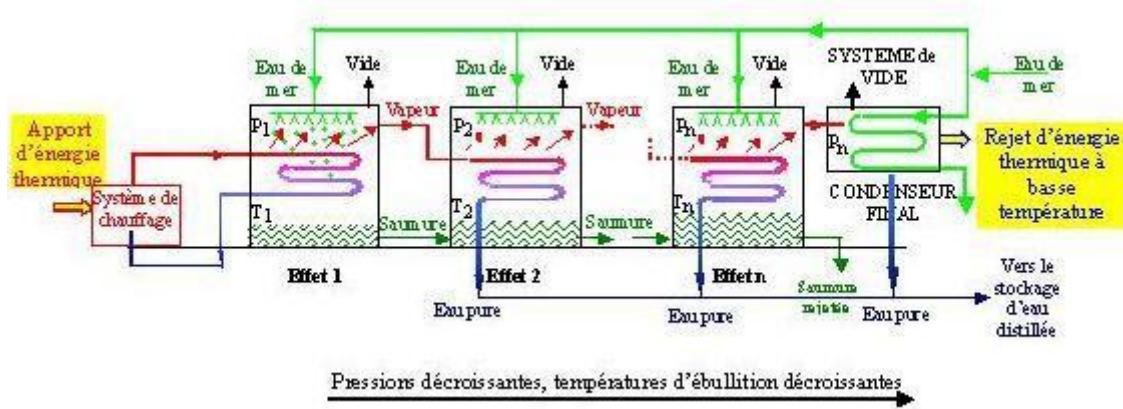


Figure III-3 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED). [16]

III-3-3 Distillation par détentes successives ou distillations MSF (multi stage Flash distillation) :

Ce procédé dit Flash consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage ; lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°C , elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore (voir figure III) puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des réceptacles en dessous des tubes. C'est l'eau de mer chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation, l'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Le phénomène de flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détentes successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.

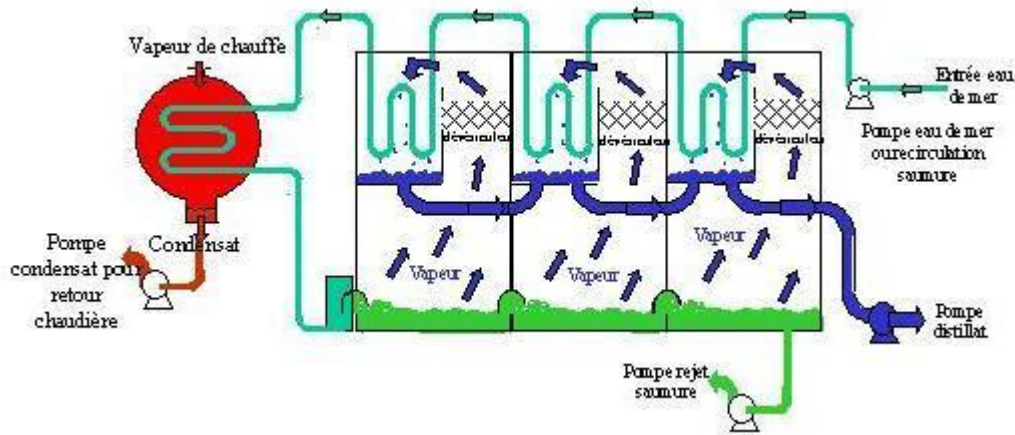


Figure III-4 : Principe de fonctionnement d'un système par détonées successives (MSF) à 3 étages. [16]

III-4 Les procédés membranaires :

III-4-1 L'osmose inverse :

L'osmose est basée sur le principe fondamental de l'équilibre. Lorsque deux liquides contenant différentes concentrations de solides dissous sont mis en contact, ceux-ci se mélangent jusqu'à uniformisation des concentrations. Lorsque ces deux liquides sont séparés par une membrane semi-perméable (laquelle laisse passer les liquides tandis que les solides dissous restent dans leur compartiment), le liquide contenant la plus faible concentration de solides dissous va traverser la membrane pour aller dans le liquide contenant la plus forte concentration de solides dissous. Après un temps donné, le niveau de l'eau sera plus élevé d'un côté de la membrane. La différence de hauteur est appelée pression osmotique.

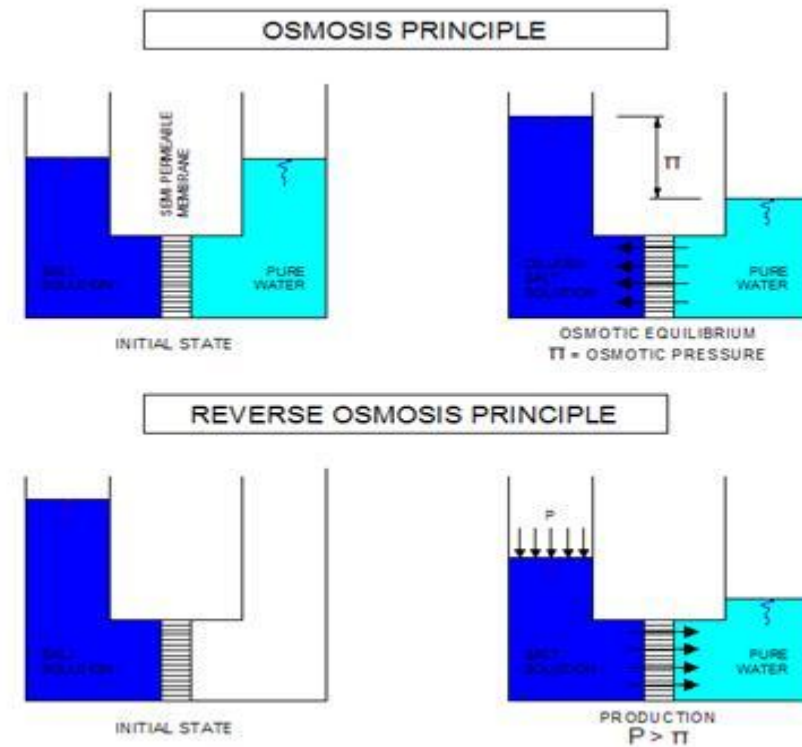


Figure III-5 : Schéma d'un système de dessalement par osmose inverse

En appliquant une pression supérieure à la pression osmotique, l'effet inverse se produit. Les liquides sont refoulés au travers de la membrane, laissant les solides dissous derrière.

Pour purifier l'eau à l'aide de membrane d'osmose inverse, l'effet d'osmose naturel doit être inversé. Afin de forcer l'eau de la solution saumâtre (concentration en sels élevée) à aller dans la solution douce (concentration en sels basse), l'eau doit être pressurisée à une pression d'opération supérieure à la pression osmotique. Par conséquent, la saumure devient plus concentrée. C'est sur ce procédé que nous allons réaliser notre étude. En préambule, il convient de résumer les étapes de notre étude. Il faut tout d'abord se pencher sur la qualité de l'eau de mer à traiter, puis sur le lieu de pompage : distance des côtes, profondeur. Ensuite, étant donné que le procédé d'osmose inverse est très sensible au colmatage, il y a toute une batterie de prétraitements à mettre en œuvre pour obtenir l'eau la moins chargée possible. Vient ensuite le dimensionnement du module de dessalement à proprement parlé, avec comme objectif le meilleur rendement pour une qualité d'eau fixée. Pour conclure, pour être propre à la consommation, l'eau osmose devra passer par des post traitements comme l'élimination du bore ou une chloration.

III-4-2 L'électrodialyse :

L'électrodialyse consiste à faire passer de l'eau salée à travers différent compartiment séparé alternativement par des membranes anionique et cationique. Le tout est traversé par un courant électrique, ce qui fait migrer les ions. Les anions se déplacent vers la borne positive tandis que les cations vont vers la borne négative. Mais les membranes cationiques ne se laissent franchir que par des cations alors que les membranes anioniques ne sont traversées que par des anions. Ces membranes doivent être résistantes mécaniquement, imperméables à l'eau, chimiquement inattaquables, ne présenter qu'une faible résistance ohmique et posséder une haute sélectivité. Les membranes sont généralement constituées de fibres de polyamides et d'acétate de cellulose. Les ions se rassemblent alors dans les compartiments remplis de solution de lavage qui vont ensuite être vidés pour évacuer le sel.

Remarque :

Le procédé sera développé dans le chapitre qui suit, l'objet de la partie détaillée.

III-5- Choix d'un procédé de dessalement : [9]

Pour le choix d'un procédé de dessalement, plusieurs critères techniques et économiques rentrent en jeu, que l'on peut résumer comme suite :

- ✓ Composition physico-chimique de l'eau à traiter (salinité, turbidité, T°, ...);
- ✓ Qualité exigée de l'eau produite de l'unité;
- ✓ Conditions spécifiques du site d'implantation;
- ✓ Délais de construction;
- ✓ Durée de vie de l'unité;
- ✓ Cout des équipements
- ✓ Cout de l'énergie;
- ✓ Cout des produits chimiques;
- ✓ Cout de la main d'œuvre;
- ✓ Impact sur l'environnement.

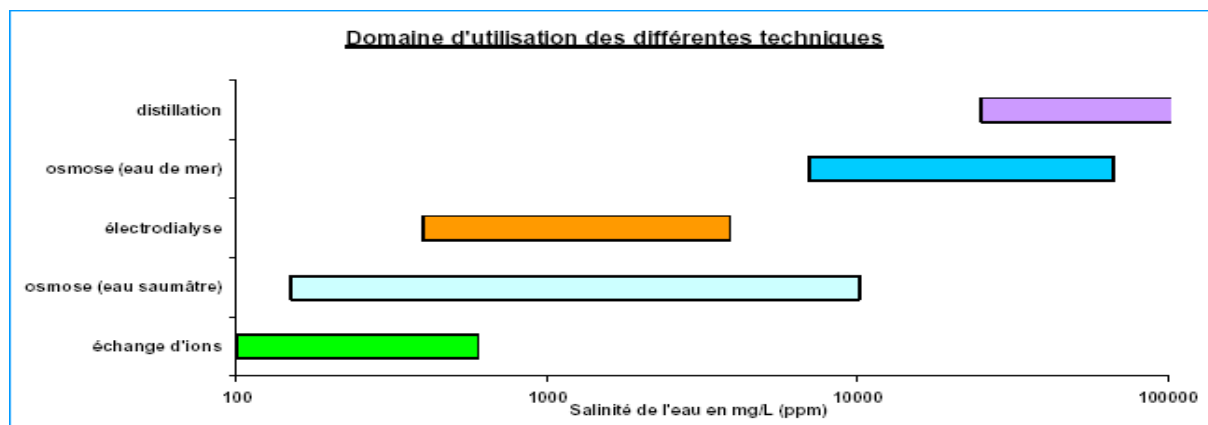


Figure III-6 : Salinité de l'eau à traiter en mg/l

III-6 Evolution des procédés de dessalements : [14]

Le dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres connaît un essor sans précédent, avec une hausse de près de 10% par an ; alors que le nombre de nouveaux contrats signés a explosé en 10 ans.

On estime la production totale d'eau dessalée à 52 Mm³/jour, soit 42Mm³ d'eau de mer dessalée et 10Mm³ d'eau saumâtre.

Les pays du golfe sont les plus gros producteurs d'eau dessalée dans le monde, mais les usines de dessalement se multiplient actuellement, sur tous les continents (Tab.1).

La figure2 illustre l'évolution de la capacité des usines de dessalement installées.

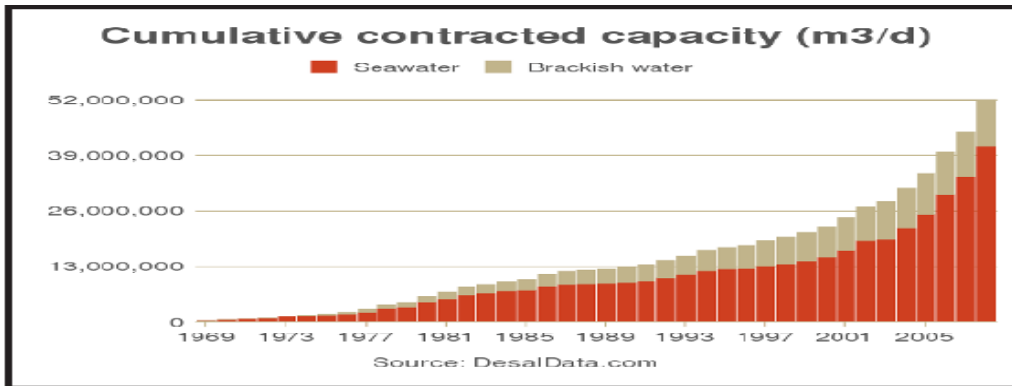


Figure III-7: Estimation de la capacité de production dans le monde

Tableau III-1 : Répartition de la production d'eau dessalée (eau de mer)

Région	Mm ³ /jour	%
Moyen orient	21	50
Amérique du nord	7,56	18
Asie	5,46	13
Europe	5,46	13
Afrique	2,52	6
Total 42 100	42	100

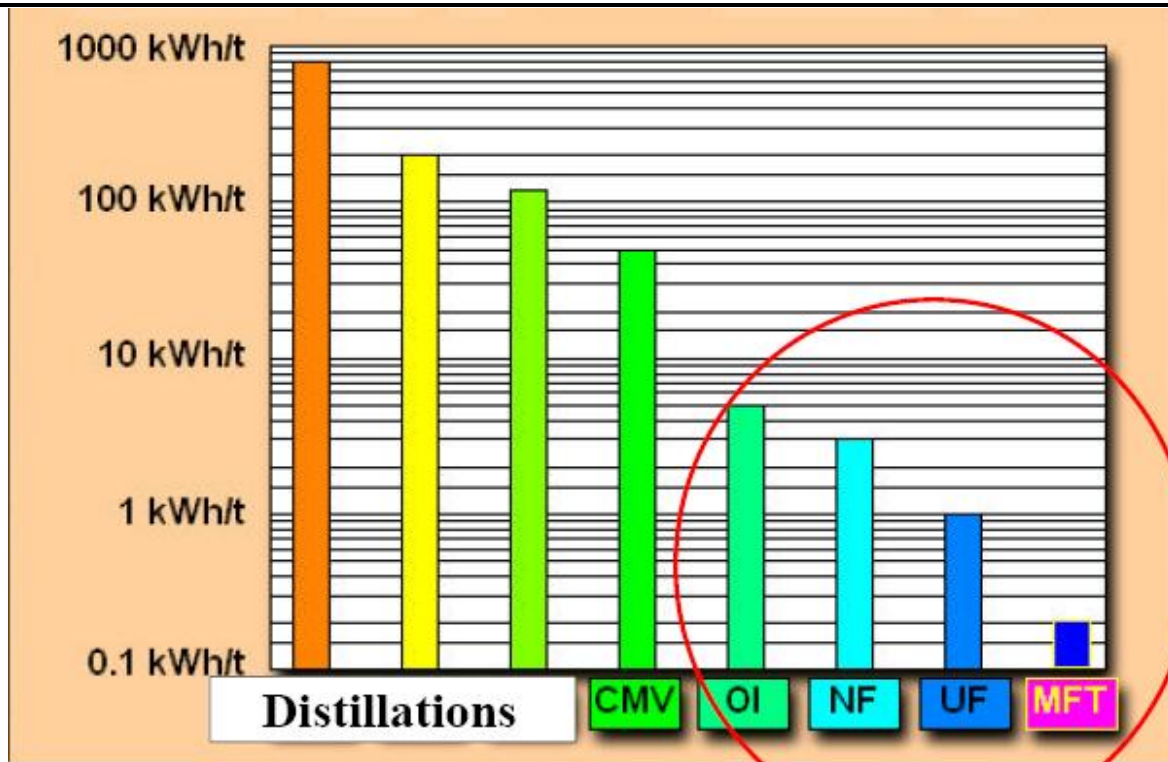


Figure III-8 : Consommation énergétique des procédés de dessalement

III-7 Conclusion

Les procédés de dessalement et de déminéralisation progressent d'années en années vue leur utilités dans le domaine de la production de l'eau potable.

Chapitre IV :

Procédé d'électrodialyse

IV-1- Introduction :

C'est pour faire face à des besoins en eau potable au Japon, en particulier, que l'électrodialyse a été développée en tant que procédé de dessalement de l'eau de mer à l'échelle industrielle. Au-delà du domaine du traitement de l'eau, de nouvelles applications ont ensuite été développées, comme la déminéralisation du lactosérum, qui représente une part importante de la surface installée. Les problèmes liés à la réduction de l'impact environnemental des procédés de production offrent des perspectives encore plus vastes pour des procédés physiques comme l'électrodialyse, vis-à-vis de procédés physico- chimiques, comme l'extraction liquide-liquide, la précipitation ou l'échange d'ions sur résine, plus polluants. En outre, la possibilité de réaliser une déminéralisation sélective, c'est-à-dire accompagnée d'une purification, devrait également ouvrir des perspectives de marché.

Le terme « **électrodialyse** » désigne le transfert d'ions à travers des membranes sous l'effet d'un champ électrique.

Il s'agissait à l'origine, dans les années 1930, d'utiliser un courant électrique pour accroître le transfert de matière des espèces chargées par rapport à celui obtenu par une simple dialyse. À l'heure actuelle, l'électrodialyse utilise des membranes spécifiques, disposées en alternance orthogonalement à un champ électrique. Le réacteur est constitué d'un empilement de membranes, souvent désigné par le terme « *stack* », lui-même composé d'une répétition de « **motifs élémentaires** » identiques, montés dans un arrangement type « **filtre-presse** ».

IV-2 Principe de l'Electrodialyse : [14]

On sait que lorsqu'on soumet un liquide contenant des espèces ioniques à un champ électrique grâce à deux électrodes plongées dans le milieu entre lesquelles on applique une d.d.p, les cations et les anions migrent respectivement vers les électrodes positives et négatives ou ils se déchargent : il y a électrolyse

Si l'on place sur le trajet des ions une série de membranes permselectives, les unes aux anions, les autres aux cations, alternativement, la migration est limitée dans les compartiments formés par cette série de barrières certains s'appauvrissant tandis que d'autres, dans le même temps, s'enrichissent en espèces ioniques .Ce procédé est appelé électrodialyse (par analogie à la dialyse qui se fait, ici, sous l'impulsion du champ électrique).

Fondée sur les propriétés des membranes échangeuses d'ions homopolaires à ne transférer qu'un seul type d'ions, l'application d'un champ électrique perpendiculairement au plan des membranes permet donc d'extraire en partie ou en totalité les ions contenus dans un fluide et d'opérer ainsi une séparation espèces chargée/espèces neutres. Un schéma explicatif permet de mieux comprendre le phénomène et les flux de transfert qui agissent pendant l'électrodialyse,

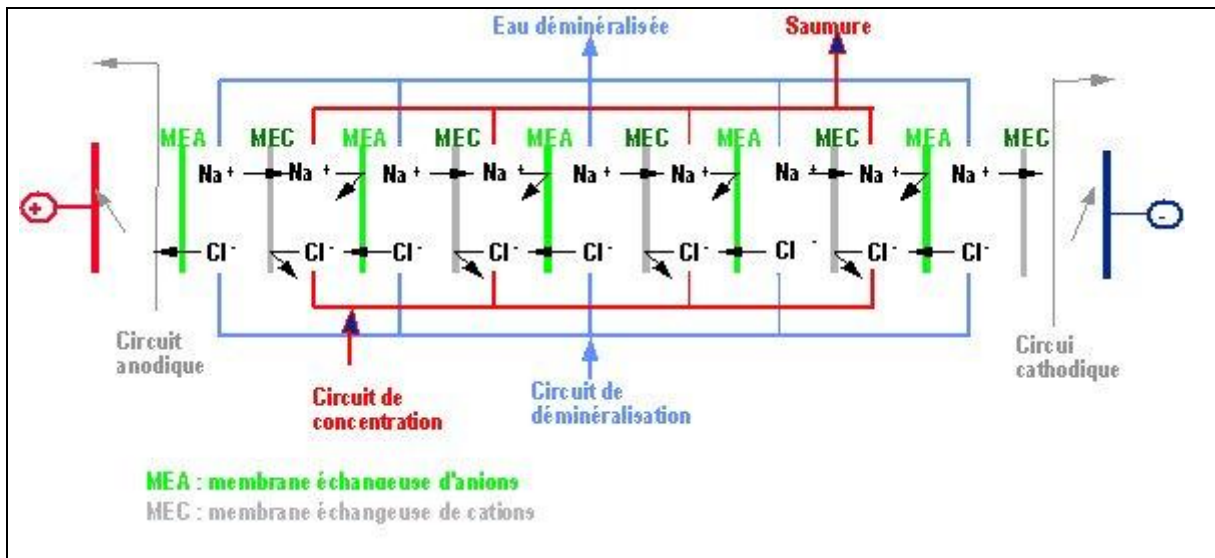


Figure IV-1 : Principe de l'électrodialyse

Les membranes sélectives aux anions (MEA) et aux cations (MEC) sont disposées alternativement entre deux électrodes situées aux extrémités du module. Une cellule élémentaire est constituée de deux compartiments (1) et (2). Lors du passage du courant électrique i , les cations sont attirés par le pôle négatif : ils peuvent quitter (1) en migrant à travers la MEC. Les anions migrant en série inverse. Donc, le compartiment (1) dans lequel arrive l'effluent brut s'appauvrit progressivement en espèces ioniques (la solution qui en résulte est dite diluée) tandis que le compartiment (2) s'enrichit en ces mêmes ions (concentré).

Les espèces neutres présentées dans l'alimentation ne sont pas modifiées et se retrouvent dans le dilué. Les électrodes sont maintenues au contact de circuits indépendants seulement destinés à assurer la conduction électrique. Dans les installations industrielles, les empilements peuvent atteindre plusieurs centaines de cellules élémentaires dans des assemblages de type filtre – presse.

IV-3 Domaine d'utilisation :

- ✓ Dessalement des eaux saumâtres ;
- ✓ Déminéralisation du lactosérum ;
- ✓ Concentration ionique de solutions ionisées ;

- ✓ Elimination des nitrates en fabrication d'eau potable ;
- ✓ Purification des eaux non douces ;
- ✓ Elimination d'ions en trop forte concentration en traitement d'eau potable ;
- ✓ Dessalement de l'eau de refroidissement circulante, en vue de sa réutilisation ;
- ✓ Régénération de solutions d'acide fluorosilicique en acide fluorhydrique ;
- ✓ Recyclage de l'eau de rinçage ;
- ✓ Traitement des flux d'effluents d'acides aminés.

IV-4 Classification des membranes :

IV-4-1 Définition d'une membrane :

Une membrane est une barrière, de très faible épaisseur à travers laquelle on fait passer, des fluides ou des solutions, sous l'effet d'une force d'entraînement. Elle diffère selon le procédé de séparation : cela peut être la gravité, la pression, un gradient de concentration ou un champ électrique.

Polymères organiques ou inorganiques, métaux, matières céramiques, couches de produits chimiques (liquide ou gaz) peuvent constituer des membranes : elles sont dites hétérogènes.

La séparation par membrane est fondée sur le concept du déplacement sélectif de certains composants à travers une membrane, composant sur lequel, nous l'avons vu, il faut appliquer une force. Dans un système de séparation par membrane, un flux d'alimentation pénètre dans le système membranaire alors même que l'on met en œuvre une force qui favorise un déplacement à travers la surface de membrane. Les composants du flux d'alimentation qui passent à travers la membrane sont connus sous le nom de « perméat ». Le fluide retenu, appelé « rétentat » constitue le flux contenant les composants qui ne peuvent pas traverser la membrane ; pour chaque application, le flux ou les composants présentant un intérêt sont déterminés.

Les procédés de séparations à membranes peuvent être utilisés pour clarifier ou purifier en éliminant les particules indésirables d'un fluide (suspension, couleur, bactéries...) concentrer, fractionner ou séparer plusieurs constituants. (Voir figure IV-2)

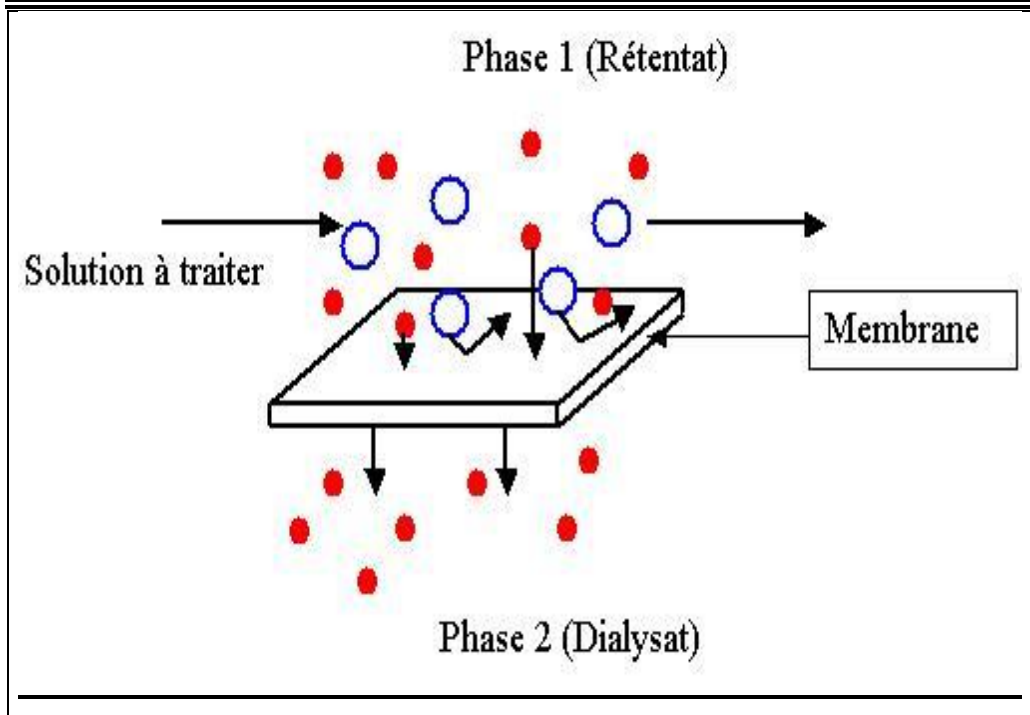


Figure IV-2: Notion de rétentat et du dialysat(ou p rmeat)

IV-4-2 Classification d'après le mécanisme de séparation :

Les mécanismes de séparation dans les membranes sont complexes et encore partiellement compris. Les processus qui jouent un rôle dans la séparation membranaire sont : le tamisage, la friction sur les parois des pores des membranes, la diffusion dans le matériau membranaire ou dans les pores des membranes, les forces de surface répulsives ou attractives, notamment la répulsion électrostatique. La classification la plus répandue des membranes d'après le mécanisme de séparation est la suivante :

- Membranes poreuses (MF, UF, NF), où les effets de tamisage et de friction jouent des rôles importants mais où les forces de surface peuvent aussi jouer un rôle important comme en NF; les pores peuvent être subdivisés en plusieurs catégories :
 - plus grands que 50 nm (MF);
 - 2   50 nm (UF);
 - plus petits que 2 nm (NF).
- Membranes non poreuses (perméation de gaz, pervaporation, osmose inverse (OI)); ces membranes peuvent être considérées comme des milieux denses où la diffusion des espèces a lieu dans les volumes libres situés entre les chaînes moléculaires du matériel de la membrane;

- Membranes échangeuses des ions. Ces types de membranes considérées comme un type spécial de membranes non poreuses, consistant dans des gels denses ayant une charge positive (échangeuses des anions) ou négative (échangeuses des cations).

Il faut remarquer que toute la communauté scientifique ne s'entend pas sur cette classification. Par exemple, certains auteurs considèrent que les membranes d'OI sont des membranes poreuses. Il faut aussi noter que la plupart des membranes polymériques sont chargées même si leur charge est plus faible que celles des membranes échangeuses d'ions.

IV-4-3 Classification d'après la morphologie :

Les membranes peuvent être classées en fonction de leur structure :

- Membranes à structure symétrique : ces membranes denses ou poreuses ont la même structure sur toute leur épaisseur (structure isotrope);
- Membranes à structure asymétrique : la structure de la membrane varie d'une couche à une autre (membranes anisotropes); on peut distinguer deux sous-types de membranes asymétriques :
 - membranes préparées à partir du même matériau (membrane polymérique préparée par inversion de phase par exemple);
 - membranes composites : ce sont des membranes constituées principalement de deux couches :
 - peau : une couche de très faible épaisseur en contact direct avec l'eau à traiter. Cette couche donne à la membrane sa sélectivité;
 - couche support : une couche plus épaisse, d'une perméabilité beaucoup plus grande, qui supporte la peau et confère à la membrane sa résistance mécanique.

La plupart des membranes commerciales de MF, UF et de NF sont des membranes à structure asymétrique car ce type de structure permet d'avoir des perméabilités plus élevées.

IV-4-4 Classification d'après la géométrie de préparation des membranes :

Les membranes peuvent être classées en fonction de la forme sous laquelle elles sont fabriquées :

- Membranes planes;
- Membranes cylindriques :

- tubulaires (ayant le diamètre interne plus grand que 3 mm);
- creuses (ayant le diamètre plus petit que 3 mm).

La forme des membranes conditionne la manière dont elles sont assemblées pour fabriquer des modules.

IV-4-5 Classification d'après la nature chimique :

Les membranes sont fabriquées à partir de polymères organiques et de matières inorganiques. Bien qu'il existe des membranes mixtes faites de polymères et de matériaux inorganiques (membranes polymériques avec des zéolites par exemple), (Aptel et Buckley, 1996), la plupart des membranes disponibles commercialement sont faites à partir de polymères ou de matériaux inorganiques. Les principaux polymères utilisés pour la fabrication de membranes sont :

- dérivés de la cellulose : ces polymères considérés généralement comme plus hydrophiles sont peu coûteux et ont une faible tendance à l'adsorption;
- polyamides ayant des propriétés thermiques et chimiques supérieures à celles des dérivées de la cellulose (quoique ces polymères sont très sensibles à certains oxydants comme le chlore);
- polysulfone (PS) et polyethersulfone (PES), qui ont une tendance à l'adsorption plus élevée que les membranes ci-dessus, mais avec une meilleure stabilité chimique, mécanique et thermique.

Les membranes inorganiques sont faites de céramique (oxydes d'aluminium, de zirconium ou de titane). Ces membranes ont une stabilité chimique, mécanique et thermique supérieure aux membranes polymériques, mais, par contre, elles sont friables et beaucoup plus coûteuses que les membranes organiques (Aptel et Buckley, 1996).

IV-5 Les différents types de membranes :

IV-5-1 Membranes d'électrodialyses :

La membrane d'électrodialyse est une paroi mince, dense et insoluble constituée d'un matériau polymère perméable aux ions qui, disposée entre deux solutions, permet un transfert sélectif d'ions d'une solution vers l'autre sous l'action d'un champ électrique.

Le couple de membrane mis en œuvre se compose d'une membrane cationique et d'une membrane anionique.

La membrane cationique est un polymère permettant le passage préférentiel des cations.

La membrane anionique est un polymère permettant le passage préférentiel des anions.

Les membranes d'électrolyse sont employées pour la stabilisation du vin vis-à-vis des précipitations tartriques.

IV-5-2 Membranes échangeuses d'ions :

Les membranes échangeuses d'ions permettant le transfert sélectif d'espèces chargées selon leurs signes de charge, le transfert de cations dans le cas des membranes échangeuses de cations (MEC), transfert d'anions dans le cas des membranes échangeuses d'anions (MEA).

Le transfert sélectif des espèces chargées s'effectue suivant un mécanisme d'échange d'ions de site en site entre les ions de la solution et les contre ions de la membrane. Ainsi, par exemple, les MEA portent des groupements fonctionnels de charge négative. Ces mécanismes d'échange d'ions, donc la nature chimique des matériaux constituant les MEI, sont très proches de ceux des résines échangeuses d'ions.

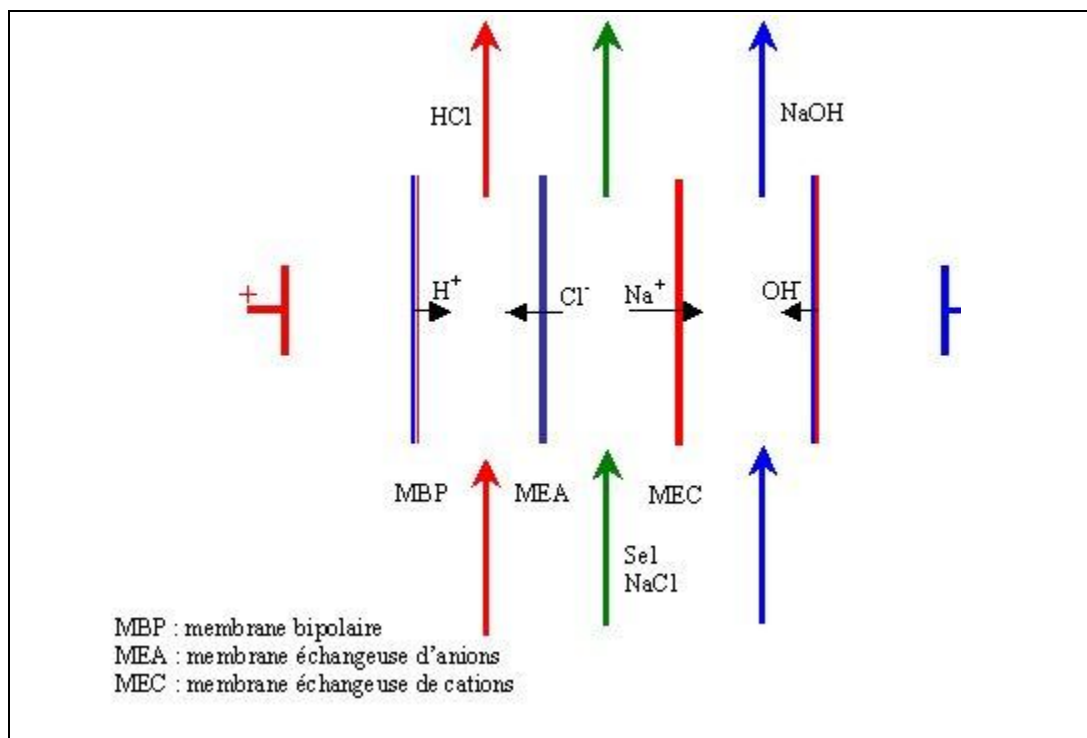


Figure IV-3 : schéma représentatif d'une membrane échangeuses d'ions

IV-5-3 Membranes bipolaires :

Les membranes bipolaires résultent de l'accolement de deux membranes échangeuses d'ions de perméabilité opposée. Leur description ne peut être dissociée de l'application à laquelle elles sont employées : la dissociation des molécules d'eau en protons et ions hydroxydes sous l'effet d'un champ électrique dans le but de leur recombinaison avec les anions et les cations pour obtenir acide et base à partir d'un sel.

La structure principale d'une membrane bipolaire dans sa configuration d'utilisation est illustrée par un schéma (figure IV-4).

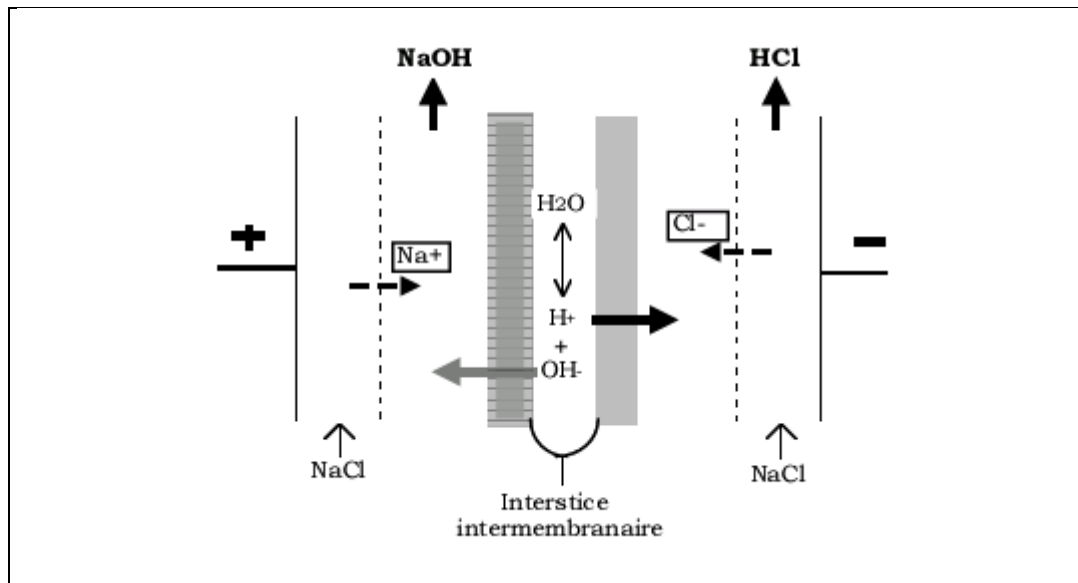


Figure IV-4 : Schéma général d'une membrane bipolaire

IV- 6 L'électrodialyse conventionnelle :

C'est la plus ancienne et reste encore la plus utilisée. Elle repose sur l'utilisation de membranes échangeuses d'ions (homopolaires). Différentes configurations peuvent être employées pour constituer le motif élémentaire afin de permettre diverses opérations de transformation.

IV-6-1 Configuration à deux compartiments :

Le principe de fonctionnement d'un motif élémentaire à deux compartiments (.../MEA/MEC/...) est représenté schématiquement sur la figure IV-5. Les deux compartiments sont alimentés avec une solution saline MX (M^+ , X^-) de concentration donnée C_0 , qui peut être une solution de chlorure de sodium $NaCl$, par exemple. Sous l'effet du courant, les cations M^+ , qui migrent vers la cathode, traversent les MEC et sont stoppés par les MEA. De la même manière,

les anions X^- , qui migrant vers l'anode, en sortie d'empilement, deux solutions : une solution MX « **déminéralisée** », appelée **diluât**, dont la concentration est inférieure à la concentration d'entrée, et une solution MX « **concentrée** », appelée **concentrât**, dont la concentration est supérieure à la concentration d'entrée.

Cette configuration, permet de concentrer et/ou de déminéraliser des solutions contenant des espèces chargées, qui peuvent être des espèces minérales ou organiques.

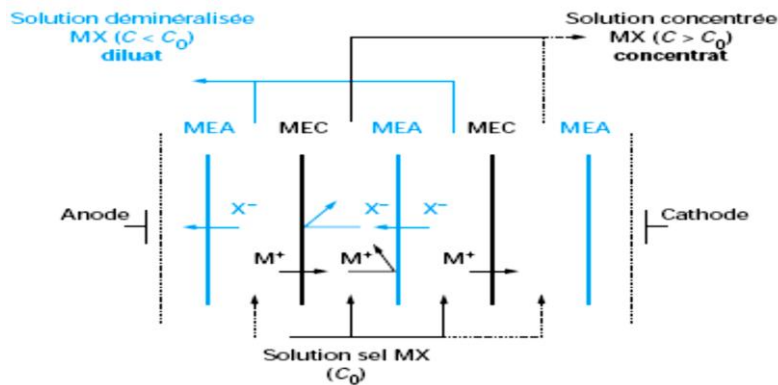
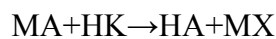


Figure IV-5 : Représentation schématique de la configuration à deux compartiments

IV-6-2 Configuration à trois compartiments :

Le principe de fonctionnement d'un motif élémentaire à trois compartiments (.../MEC/MEC/MEA/...) est représenté schématiquement sur la figure dans le cas général d'une transformation du type :



Cette configuration permet donc de réaliser une substitution sur le cation M^+ contenu dans la solution MA alimentée dans le compartiment central délimité par les deux MEC. Cette substitution, par des protons H^+ dans l'exemple représenté, est réalisée dans le compartiment central. Les deux compartiments adjacents sont respectivement alimentés avec des solutions de type HX et MX. La solution récupérée en sortie du troisième compartiment est une solution MX de concentration supérieure à la concentration de la solution introduite dans le système. Dans l'exemple choisi, la substitution de M^+ par H^+ constitue une acidification. D'autres types de substitution, par des cations autres que le proton H^+ , peuvent être réalisés. Par ailleurs, un empilement de type (.../MEA/MEA/MEC/...) permet d'opérer une substitution sur un anion. Elle est utilisée, par exemple, pour substituer des ions chlorures, qui posent des problèmes de rejet dans l'environnement, par des ions sulfates.

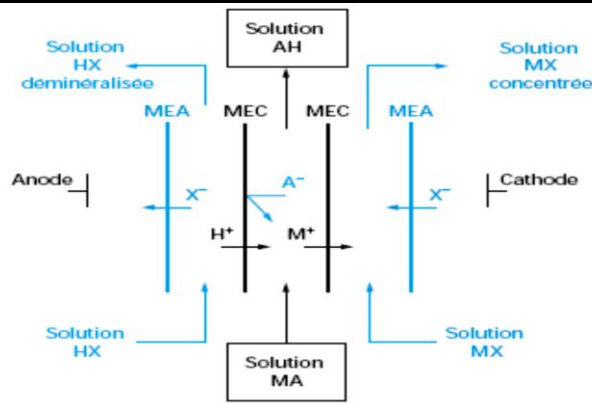
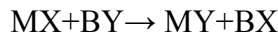


Figure IV-6 : Représentation schématique de la configuration à trois compartiments

IV-6-3 Configuration à quatre compartiments :

Le principe de fonctionnement d'un motif élémentaire à quatre compartiments (.../MEC/MEA/MEC/MEA/...) est représenté schématiquement sur la figure dans le cas général d'une transformation du type :



Cette configuration permet d'effectuer une double substitution entre les ions de deux solutions MX et BY alimentées dans les compartiments 1 et 3. Les autres compartiments, 2 et 4, sont alimentées avec de l'eau ou une solution très diluée des sels MY et BX. La migration des ions M et Y provenant des compartiments 1 et 3 permet d'obtenir en sortie, dans le compartiment 4, une solution de sel BX. Cette double substitution s'accompagne d'une déminéralisation des solutions dans les compartiments 1 et 3.

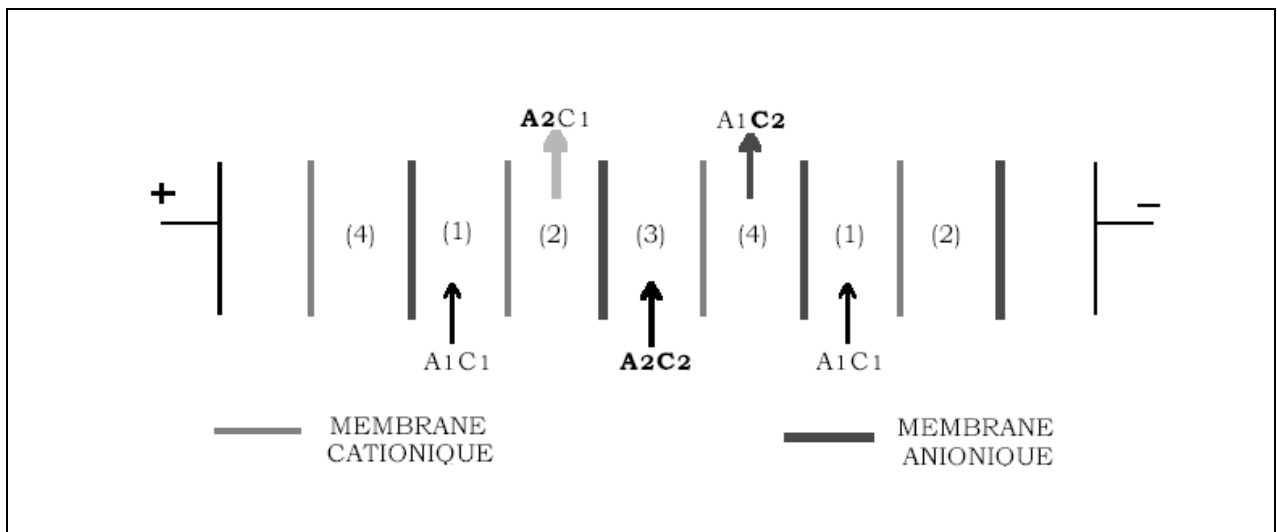


Figure IV-7 : Montage à quatre circuits

IV-7 Composition des piles :

Une paire de cellule d'une pile à membrane (la forme de base), est composée de :

- Membrane d'échange anionique ;
- Espaceur du flux concentré ;
- Membrane d'échange cationique ;
- Espaceur du flux déminéralisé.

Plusieurs centaines de paires de cellules sont assemblées dans des couches horizontales entre deux électrodes pour former une pile membrane.

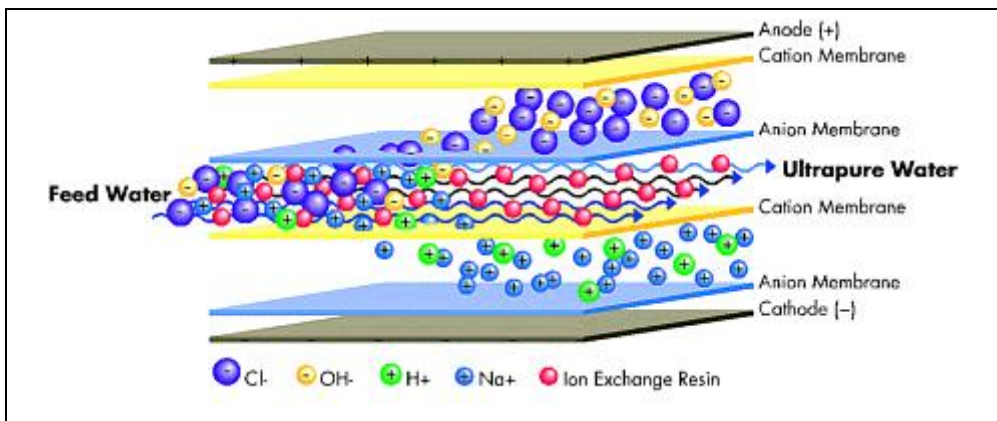


Figure IV-8 : Représentation schématique d'une paire de cellule

IV-8 Avantages et inconvénients de l'électrodialyse :

a) Avantages :

- Diminution de débit de rinçage ;
- Rendement de 95% à 97% ;
- Economie sur le traitement anti-pollution ;
- Concentrations des solutions ;
- Limitation du nombre de rinçage ;
- Meilleur respect de la réglementation ;
- Recyclage immédiat des matières récupérées ;
- Bien adaptée à la récupération des électrolytes chauds qui présente une évaporation naturelle.

b) Inconvénient :

- Procède non sélectif ;
- Elle ne marche par les solutions ayant une forte concentration en sel ;
- Coûts d'investissements élevés si les TDS ≥ 3000 ppm ;
- Concentration des produits parasites ;
- Mise en place impérative d'un rinçage statique ;
- Membrane sensibles aux variations de débits, aux MES.

- Préfiltration nécessaire pour les particules solides et les huiles ou graisses qui pourraient colmater la membrane.

IV-9 Conclusion

Le procédé d'électrodialyse a connu un vrais progrès vue le vaste domaine de son utilisation.

Chapitre V :

Dimensionnement de la chaîne de prétraitement

V-1- Introduction :

Le prétraitement est l'ensemble d'opérations de correction effectuées sur l'eau brute, Afin d'assurer un bon fonctionnement et une intégrité des modules, un prétraitement de l'eau brute est nécessaire pour protéger les membranes, l'eau arrivant aux modules doit satisfaire certains critères de qualité physico-chimiques et bactériologiques.

V-2- Les étapes de prétraitement :

Les étapes de prétraitement de notre installation sont :

V-2-1 Traitement chimique : Ce traitement consiste à l'ajout d'un coagulant $FeCl_3$, dans le regard qui lie les conduites des trois forages, avant de passer aux autres étapes de prétraitements.

V-2-2- Filtration sur sable : [11]

Pour le cas d'une installation d'électrodialyse on utilise le filtre à sable rapide, qui est le type de filtre le plus utilisé dans le traitement des eaux de consommation. Le matériau filtrant est maintenu en place dans les réservoirs et l'écoulement de l'eau à lieu de haut en bas. Lorsque le milieu filtrant est encrassé on lave le filtre en inversant le sens de l'écoulement de l'eau, le milieu filtrant est alors en expansion, et les particules d'impureté, beaucoup moins denses que les grains de sable, sont décollées et évacuées vers l'égout à l'aide des goulottes de lavage.

a. Description d'un filtre à sable :

Les principaux éléments d'un filtre à sable rapide sont : le fond de filtre, le gravier de support et le milieu filtrant.

• Le fond de filtre :

Le fond de filtre est la structure qui sépare le milieu filtrant de l'eau filtrée. Il doit donc être suffisamment solide pour supporter le milieu filtrant, il permet en outre :

- De collecter et d'évacuer les eaux filtrées ;
- De distribuer uniformément l'eau de lavage.

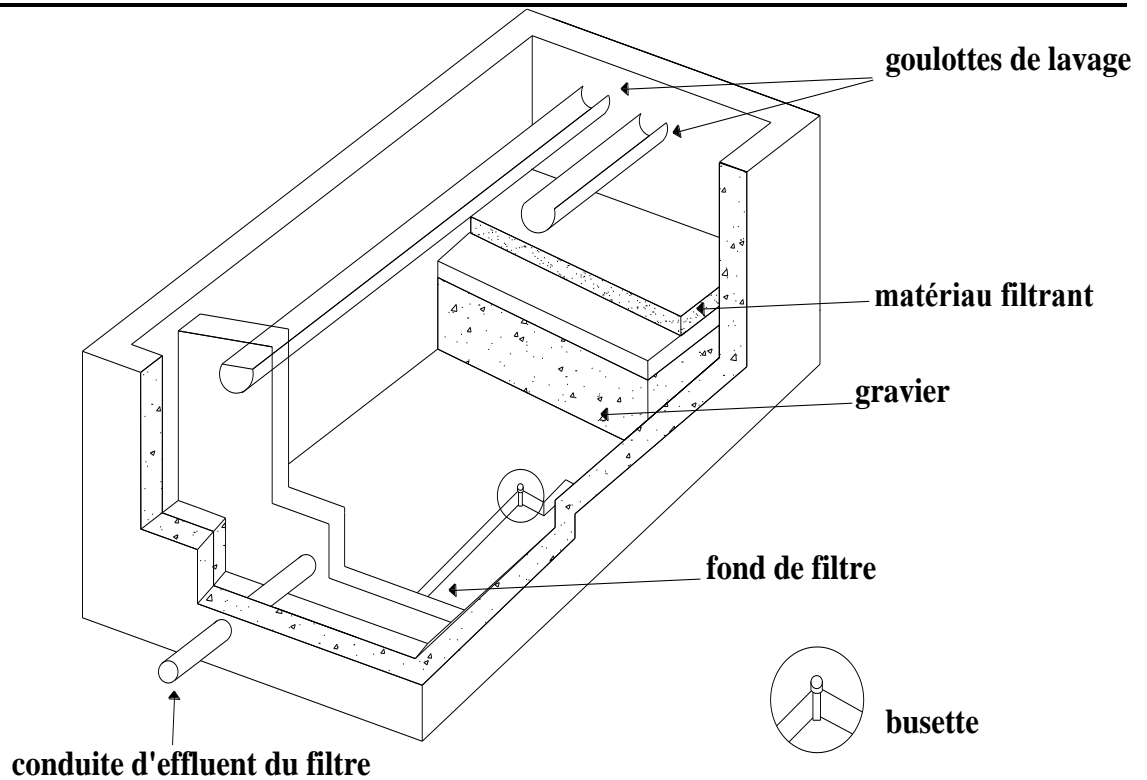


Figure V-1- Filtre à sable

- **Gravier de support :**

Le gravier de support situé immédiatement au dessus du fond de filtre, permet :

- De retenir le sable du milieu filtrant ;
- D'améliorer la répartition de l'eau de lavage dans le filtre.

L'épaisseur et les caractéristiques granulométriques de la couche de gravier de support dépendent des caractéristiques du fond de filtre et de celles du milieu filtrant.

- **Milieu filtrant :**

Les matériaux filtrants les plus utilisés sont le sable et l'antracite.

b. Lavage des filtres :

L'encrassement progressif des filtres entraîne une augmentation de la perte de charge. La durée des cycles de filtration est déterminée par la perte de charge admissible sur le filtre.

De même la vitesse de filtration est liée à la granulométrie et la perte de charge admise, conduisant à des cycles plus ou moins longs entre lavages.

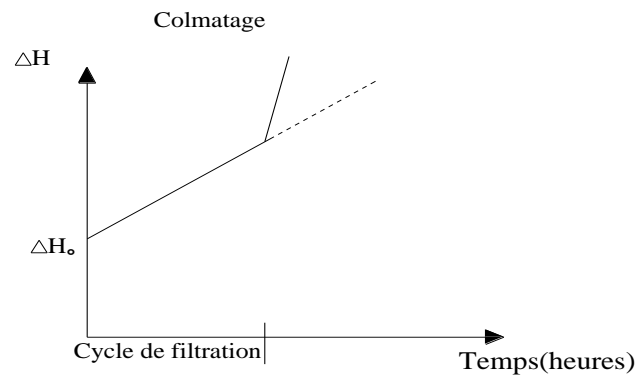


Figure V-2- Perte de charge dans le milieu filtrant

Sans lavage adéquat, les passages préférentiels qui en découlent conduisent à la dégradation de la qualité du filtrat et au raccourcissement de la durée du cycle.

La meilleure façon d'y parvenir est de procéder à un lavage à contre courant, par :

- Injection de l'air pour décoller les particules qui colmatent les pores du filtre ;
- Injection de l'eau et de l'air si les particules sont décollées ;
- Injection de l'eau de lavage, avec une vitesse de 38 m/h ou plus pour permettre de chasser convenablement les impuretés vers les goulottes et de reclasser le milieu filtrant.

[11]

V-2-3 Traitement chimique :

Afin d'éviter le tartrage et la formation de fouling de composants chimiques ou métalliques suite à la précipitation des sels peu solubles tels carbonate de calcium, sulfate de calcium, sulfate de baryum, sulfate de strontium et fluorure de calcium dans les membranes l'ajout d'un antiscalant est recommandé en amont de la chaîne des micro-filtres .



Figure V-3 : Schéma du réservoir d'ajout d'antiscalant.

V-2-4 Microfiltration : L'étape de microfiltration est nécessaire dans le but d'élimination des particules de plus en plus fines jusqu'à 0,5 microns et pour la prévention de toute perte de matériaux filtrants.

V-3- Calcul du filtre à sable :

Données :

- Débit d'eau à traiter : 28 320 m³/j ;
- Porosité du sable : $\varepsilon = 0,45$;
- Diamètre des particules de sable : $\varnothing=0,8$ mm ;
- La vitesse de passage de l'eau à travers le filtre est de 5 à 10 m/h ;
- Viscosité dynamique du fluide : $\eta = 1,026.10^{-3}$ kg/m.s ;
- Hauteur totale du lit filtrant L=1,5 m.

Pour un bon rendement de filtration, on prévoit généralement de point de vue hauteur 1/3 de sable et 2/3 de gravier.

Choix de la vitesse :

La vitesse de passage doit être choisie de façon à ce que la perte de charge dans le filtre soit faible (<1 m).

V-3-1- Calcul de la perte de charge : [11]

Le modèle poreux de Kozeny Carmen permet de calculer la perte de charge à travers un lit de particules de porosité ε et d'un diamètre d_p , par la formule suivante :

$$\Delta h = \frac{k \cdot \nu \cdot U \cdot (1 - \varepsilon)^2}{g \cdot d_p^2 \cdot \varepsilon^3} \dots\dots\dots(V.1)$$

Δh : perte de charge à travers le milieu filtrant ;

k : constante de Kozeny Carmen ($k=200$) ;

μ : viscosité dynamique de l'eau, elle est de $1,026 \cdot 10^{-3}$ Kg/m.s ;

v_f : vitesse de passage de l'eau choisie 9m/h ;

Avec : ν = viscosité cinématique de l'eau, $\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{1,026 \cdot 10^{-3}}{10^3} = 1,026 \cdot 10^{-6}$ m²/s.

$$\Delta h = \frac{k \cdot \nu \cdot V (1 - \varepsilon)^2}{g \cdot d_p^2 \cdot \varepsilon^3} = \frac{200 \cdot 1,026 \cdot 10^{-6} \cdot 9 \cdot (1 - 0,45)^2}{3600 \cdot 9,81 \cdot (0,8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0,45^3} = 0,27 \text{ m.}$$

$\Delta h = 0,27 \text{ m} < 1 \text{ m}$ (acceptable)

$\Delta h = 0,27 \text{ m}$

V-3-2- Calcul de la surface filtrante : Ω

$$\Omega = \frac{Q_T}{V_F} = \frac{28320}{9.24} = 131.11 \text{ m}^2$$

$\Omega = 131.11 \text{ m}^2$

On prend $n=13$ filtres, d'où la surface d'un filtre sera égale à :

$$S = \frac{\Omega}{n} = \frac{131.11}{13} = 10.08 \text{ m}^2$$

$S = 10.08 \text{ m}^2$

$$\text{On a } S = \frac{\Pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\Pi}}$$

$$D'ou\ D = \sqrt{\frac{4.10.08}{3,14}} = 3.58 \approx 4\text{ m}$$

$$D = 4\text{m}$$

On recalcule S avec la nouvelle valeur de D

$$S = \frac{\Pi.D^2}{4} = \frac{3.14 * 4^2}{4} = 12.56\text{ m}^2$$

V-4- Microfiltration :

- **Calcul des filtres à cartouches :**

Ces filtres travaillent sous pression, il existe deux types de microfiltres ou filtres à cartouches :

- Cartouches consommables ;
- Cartouches régénérables (nettoyables).

Le filtre à cartouches choisi pour cette installation est de type consommable avec les caractéristiques suivantes :

- Longueur : $L = 0,9144\text{ m}$;
- Surface effective de filtration : $S = 0,3716\text{ m}^2$;
- Vitesse effective de filtration : $V = 234,68\text{ m}^3/\text{j.m}^2$;
- Perte de charge : $\Delta P = 0,204\text{ bars}$.

Le débit par cartouche est :

$$Q_c = S.V = 0,3716. 234,68$$

$$Q_c = 87,21\text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_c = 87,21\text{ m}^3/\text{j}$$

Sachant que le débit à traiter est de $28\ 320\text{ m}^3/\text{j}$ d'eau, donc le nombre de cartouches placées :

$$N = \frac{28320}{87,21} = 324,73, \text{ on prend } N = 325.$$

Le nombre de cartouches par filtre est : $N = \frac{325}{13} = 25$

On prend : **N=25 cartouches par filtre.**

Le nombre totale des cartouches sera de :

$N=13.25=325$ cartouches.

La perte de charge par filtre est :

$\Delta P = 25.0, 204 = 5.1$ bars.

$\Delta P = 5.1$ bars.

$\Delta P = 5.1$ bars

V-5- Nettoyage des membranes d'Electrodialyse:

Différents agents colmatants tels que matières en suspension, développements bactériens, sels insolubles (silice, carbonate ou sulfate de calcium) peuvent être à l'origine d'un encrassement progressif des membranes.

Cet encrassement se manifeste par les paramètres suivants :

- Augmentation du passage de sels (SP) ;
- Augmentation de la perte de charge ($\Delta P=3-4$ bars) ;
- Diminution du débit d'eau à traité.

Pour cela un nettoyage des membranes est indispensable, le nettoyage peut être basique ou acide.

- **Nettoyage acide :**

Pour l'ajout d'un acide : élimination des polluants inorganiques.

- **Nettoyage basique :**

Pour l'ajout d'une base : élimination des dépôts organique.

V-6 Conclusion

Le prétraitement choisi pour notre station, c'est le filtre à sable vue son efficacité.

Chapitre VI :

Dimensionnement de la station de déminéralisation

VI-1- Introduction :

L'unité d'électrodialyse à dimensionner doit traiter un débit de 28 320 m³/j d'eaux saumâtres de Bredeah d'une salinité de 3204 ppm, a fin de produire une eau déminéralisée de bonne qualité (TDS varie de 800 à 1500ppm). Le calcul de conception de l'unité s'effectue sur la base de la qualité de l'eau, de sa quantité, et des caractéristiques des membranes utilisées.

Tableau VI-1 : composition chimique des eaux brutes :

composition chimique de l'eau	concentration moyenne des ions (ppm)	Concentration moyenne des ions (Eq.g)
Ca ²⁺	283	14.15
Mg ²⁺	76	6.33
Na ⁺	725	31.52
K ⁺	16	0.41
Cl ⁻	1527	43.01
SO ₄ ²⁻	160	8.17
NO ₃ ⁻	25	0.40
HCO ₃ ⁻	392	2.62
total	Salinité= 3204	100.62

VI-2 Procède d'électrodialyse à inversion de polarité (EDR) :

Ce procédé breveté par la société IONICS, présente beaucoup d'avantages par rapport à l'électrodialyse classique ; selon le constructeur, ce procédé :

- Ne nécessite aucun prétraitement chimique (comme par exemple, l'acidification, l'inhibition...);
- L'inversion de polarité contrôle continuellement les phénomènes de polarisation et d'entartrage par les sels CaCO₃, CaSO₄....
- Prévoit une durée de vie des membranes d'environ 15ans ;
- Permet des taux de conversion très élevés ;
- N'utilise pas de hautes pressions ;
- L'installation est compacte (encombrement réduit) ;
- Convient pour le traitement des eaux dont la salinité totale est comprise entre 1000mg/l et 4000mg/l.

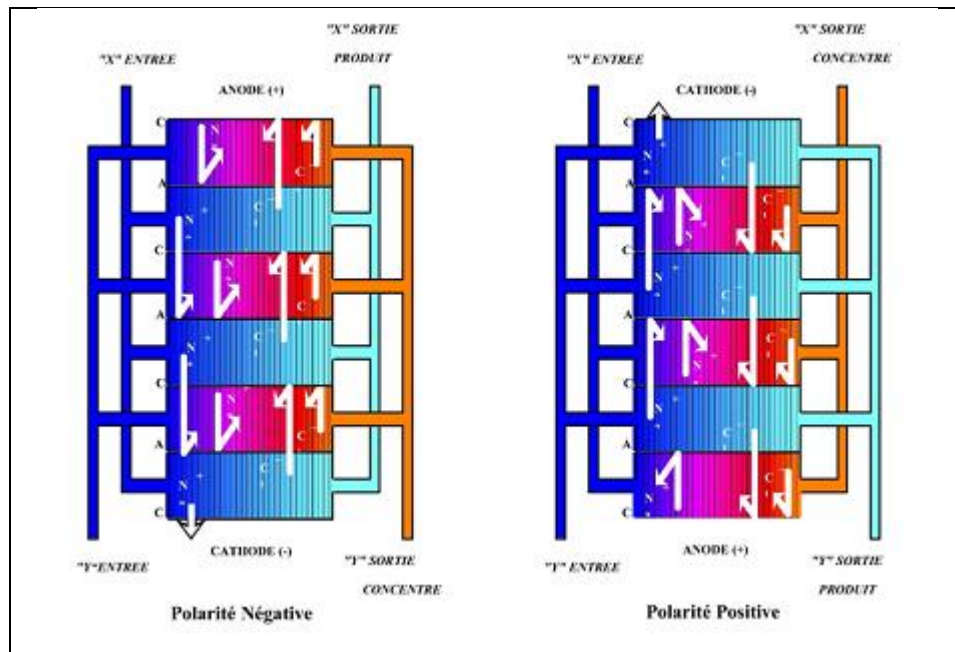


Figure VI-1 : Inversion de polarité pour un nettoyage automatique.

VI-3 Présentation de la pile d'électrodialyse utilisée : [4]

On utilise la pile IONICS-MARK III qui :

- Utilise des espaceurs de dimension $102*46 \text{ cm}^2$;
- Débit maximum d'eau à traiter : 250000 GPD ($946 \text{ m}^3/\text{j}$) ;
- Pertes de charge maximale : 60 psi (4atm) ;
- Nombre de cellule : 400 ;
- Pourcentage de surface utilisé pour le transfert, $q=70\%$.

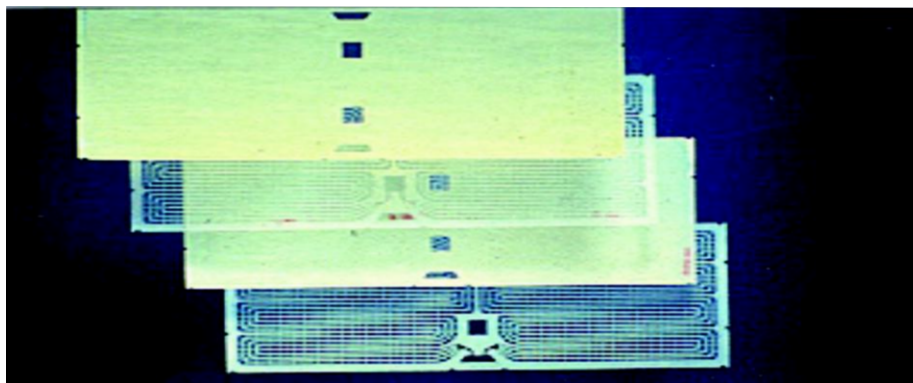


Figure VI-2 : Schéma explicatif de différents composants d'une pile d'Electrodialyse.

a) Type de membrane utilisée dans le dimensionnement :

On utilise les membranes NEPTON-IONICS qui présentent :

Un support inerte : fibre MODACRYLIQUE (copolymère de PVC 60% et d'acrylonite 40%) ;

Des sites actifs ;

- ✓ Pour la membrane anionique AR103 : type AMMONIUM ;
- ✓ Pour la membrane cationique CR61 : type SULFONIQUE ;

Du point de vue fabrication, les deux membranes sont de type homogène ; ces membranes présentent les avantages suivants :

- Faible résistance électrique ;
- Haute sélectivité ;
- Au point de rupture (force maximal de rupture) ;
- Insensible aux agents oxydants tels que (Cl_2 , ClO^- , ...) ;

b) Principales caractéristiques des membranes NEPTON-IONICS :

b-1 membrane anioniques AR103 :

➤ Caractéristiques physiques :

- T maximum admissible = 95°C (pour des brèves périodes) ;
- pH < 9 ;
- densité 13,7 psi (10kg /cm² ou 8,84 atm) ;
- point d'échange : 1.8meq /g de résine ;
- Transport d'eau : 8moles /eqg ;

➤ Propriétés électriques :

Tableau VI-2 : propriétés électriques des Membranes anioniques AR103 :

Concentration (eqg NaCl /l)	0,01	0,1	1	3
Résistance spécifique ($\Omega \text{ cm}^2$)	18	12	5	2
Conductance spécifique ($\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$)	3,3	5,4	12	30
Rendement du courant	0,99	0,95	0,81	----

➤ Dimensions :

- Longueur $L_0=102\text{cm}$;
- Largeur $l_0=46 \text{ cm}$;
- Epaisseur $e_0=0,6$.

b-2 Membrane cationique CR61 :

➤ Caractéristiques physiques :

- T=65°C ;
- T max admissibles =95°C (pour des temps brefs) ;
- pH < 11 ;
- densité : 13,7 mg /cm² ;
- Capacité d'échange : 2,7 meq/g de résine ;

- Transport d'eau : 13 moles /eqg.

➤ **Propriétés électriques :**

Tableau VI-3: Propriétés électriques des Membranes cationiques CR61

Concentration (eq.g NaCl /l)	0,01	0,1	1	3
Résistance spécifique (Ωcm^2)	12	11	4	2
Conductance spécifique ($\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$)	5	6	15	30
Rendement du courant	0,98	0,92	0,76	----

➤ **Dimensions :**

- Longueur $L_0=102\text{cm}$,
- Largeur $l_0=46\text{ cm}$,
- Epaisseur $e_0=0,6\text{ cm}$.

Nos calculs seront fait sur la base des hypothèses suivantes :

- ✓ Nous ramenons la salinité totale de l'eau à une concentration équivalente exprimée en eqg NaCl /l ;
- ✓ Les paramètres de fonctionnement tels que le taux de conversion de l'eau, la température, sont choisis de telle façon qu'on se rapproche de ceux utilisées pour les installations existantes, fabriquées par le constructeur IONICS utilisant le procédé EDR.

VI-4 Détermination des paramètres de fonctionnement :

VI-4-1 Choix du taux de conversion :

Le taux de conversion choisis est $Y=80\%$, c'est la plus grande conversion obtenue en utilisant le matériel IONICS.

VI-4-2 Choix du nombre d'étages :

Le nombre d'étages dépend de la qualité d'eau produite, le schéma VII-1 illustre le taux d'élimination des sels pour chaque étage.

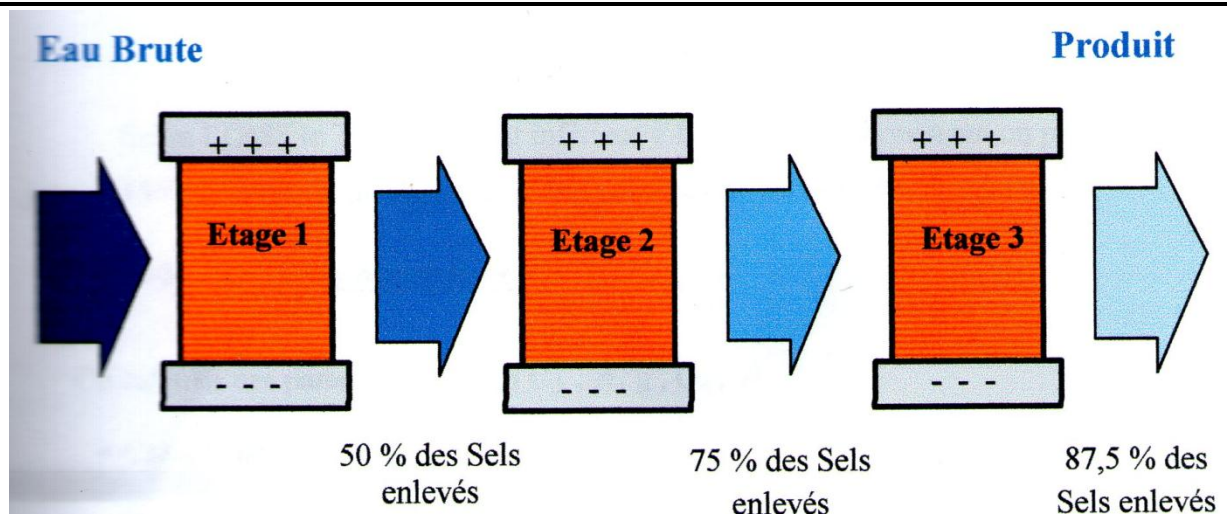


Figure VI-3 : Schéma du taux d'élimination des sels pour chaque étage.

VI-4-2-1 Choix de la variante :

a. Un seul étage :

Si on choisit un seul étage, le taux d'enlèvement de sel sera de l'ordre de $f_0=50\%$ et on aura TDS_1 (sels dessous dans les eaux produites à partir du premier étage).

Avec :

$$TDS_1 = TDS_0 \cdot 50/100$$

TDS_0 : sels totaux dessous dans les eaux brutes (ppm).

$$TDS_1 = 3204 \cdot 50/100 = \text{ppm}$$

$$TDS_1 = 1602 \text{ ppm}$$

b. Deux étages :

Si on choisit deux étages, le taux d'enlèvement de sel sera de l'ordre de $f_0=75\%$ et on aura TDS_2 (sels totaux dessous dans les eaux produites à partir du deuxième étage)

Avec :

$$TDS_2 = TDS_1 \cdot 25/100$$

$$TDS_2 = 1602 \cdot 25/100 = 400.5 \text{ ppm}$$

$$TDS_2 = 400.5 \text{ ppm}$$

c. trois étages :

Si on choisit trois étages, le taux d'enlèvement de sel sera de l'ordre de $f_0=87,5\%$ et on aura TDS_3 (sels totaux dessous dans les eaux produites à partir du troisième étage).

Avec :

$$TDS_3 = TDS_2 \cdot 12.5/100$$

Selon l'OMS le TDS limite est inférieur à 1000 ppm, pratiquement on peut aller jusqu'à 1500 ppm. Donc on choisit la deuxième variante (deux étage).

VI-4-3 Calcul des paramètres de base :

On calcule les paramètres de base suivants : C_{ci} , C_{di} , η , g , Q_d , β , et $(i/C_d)_0$.

- **Calcul des concentrations dans les circuits de concentration et de déminéralisation à l'entrée de la pile C_{ci} et C_{di} :**

Tableau VI-4 : Calcul de la concentration de l'eau brute en ppm NaCl.

Composition chimique	Concentration en ppm	Masse équivalente	Concentration en Eq g	Facteur de pondération	Concentration en ppm NaCl
Ca ²⁺	283	20	14,15	0,82	232,06
Mg ²⁺	76	12	6,33	1,42	107,92
Na ⁺	725	23	31,52	1	725
K ⁺	16	39	0,41	0,9	14,4
Somme (+)	-	-	52,41	-	1079,38
Cl ⁻	1527	35,5	43,01	1	1527
SO ₄ ²⁻	392	48	8,17	0,57	223,44
NO ₃ ⁻	25	62	0,40	0,55	13,75
HCO ₃ ⁻	160	61	2,62	0,26	41,6
Somme (-)	-	-	54,23	-	1805,79
TDS	3204	-	106,62	-	2885,17

$C_i=2885.17$ ppm NaCl (voir ABAQUE 1: Résistivité des filtrats et des eaux de formation).

$$C_{di} = C_i \frac{1}{1000 * 58.5}$$

A.N :

$$C_{di} = 2885.17 \frac{1}{1000 * 58.5} = 0.049 \text{ eq g NaCl/l.}$$

$$C_{di} = C_{ci} = 0.049 \text{ eq g NaCl/l (dans le premier étage)}$$

Avec :

C_{di} , C_{ci} : concentration respectives dans les circuits de concentration et de déminéralisation à l'entrée de la pile (eqg NaCl /l).

C_i : concentration de l'eau brute (ppm).

- **Calcul du rendement η :**

η_c : rendement électrique des membranes cationiques tiré de la figure n°1(annexe)=0,938=0,94

η_a : rendement électrique des membranes anioniques tiré de la figure n°2(annexe)=0,962=0,96

On prend le rendement le plus défavorable $\eta=0,94$ à $C_{di}= 0,049\text{eqg NaCl/l}$

- **Calcul du rapport g :**

Dans le premier étage on a $C_{di}= C_{ci} = 0,049 \text{ eqg NaCl/l}$

- **Nombre d'installations:**

Nous envisageons de traiter $28\,320 \text{ m}^3/\text{j}$ d'eau brute. Pour des raisons de sécurité et d'efficacité de fonctionnement, ce débit d'eau sera répartis sur cinq installations

identiques recevant : $\frac{28320}{5} = 5664 \text{ m}^3/\text{j}$

- **Nombre de piles par installation :**

Chaque installation comporte 6 piles ($\frac{5664}{946} = 5.987 = 6$), pour respecter le débit maximum par module qui est d'environ $946 \text{ m}^3/\text{j}$ (voir module MARK III).

- **Calcul du débit d'eau par cellule dans les circuits de déminéralisation Q_d :**

$$Q_d = \frac{946 * 1000}{24 * 3600 * 400} * 0,8 = 0.0218 = 0.022 \text{ l/s/cellule.}$$

Avec :

Q_d : débit d'eau dans les circuits de déminéralisation, le taux de conversion $Y=80\%$.

- **Calcul du rapport β :**

$$\frac{Q_c}{Q_d} = \frac{20}{80} = 0.25$$

Avec :

Q_c : Débit d'eau dans le circuit de concentration, représenté 20% du débit brute (l/s/cellule).

- **Calcul du rapport $(i/C_d)_0$:**

$$(i/C_d)_{lim} = 16500 * Q_d^{0.6} = 16500 * (0,022)^{0.6} = 1670.85 \text{ mA cm}^{-2}(\text{eq.g})^{-1}.1$$

i : densité du courant en (mA cm^2).

$$D'où (i/C_d)_0 = 0,5 * (i/C_d)_{lim} = 0,5 * 1670,85 = 835.43 \text{ mA cm}^{-2}(\text{eq.g})^{-1}.1$$

➤ Les paramètres de base sont donc :

- $T=25^\circ\text{C}$;
- $Q_d=0.022\text{l/s/cellule}$
- $C_{di}= C_{ci} = 0.049\text{eq.g NaCl/l}$
- $\eta=0,94$
- $k = \frac{ec}{ea} = \frac{0.6}{0.6} = 1$
- $g=1$

- $\beta=0.25$
- $(i/C_d)_0=835.43 \text{ mA cm}^{-2}(\text{eq.g})^{-1}.1$

VI-4-4 Résistance spécifique d'une cellule (R_p) :

A la température de 21°C (70°F), la résistance spécifique par cellule est 1,007Ω cm²/cellule (donnée par le constructeur IONICS). Pour calculer la résistance par cellule à la température T on utilise la formule suivante :

$$R_p(T) = R_p(T_0) / 1 + m(T - T_0) ;$$

Avec :

$m=0,012$, pour des membranes NEPTON ;

T_0 : température en (°F) ;

$$T (\text{°F}) = \frac{9}{5} \cdot (25\text{°C}) + 32$$

L'eau à traiter a une température de 25°C donc :

$$T (\text{°F}) = \frac{9}{5} \cdot (25\text{°C}) + 32 = 77\text{°F}.$$

$$\text{D'où : } R_p(77\text{°C}) = \frac{1,007}{1 + 0,012(77 - 70)} = 0,93\Omega \text{ cm}^2/\text{cellule}.$$

K_1 ; K_2 ; K_3 : constantes qui dépendent de la résistance spécifique et de la température

$$K_1 : 2,4. R_p(T) = 2,4 \cdot 0,93 = 2,23$$

$$K_2 : 45. R_p(T) = 45 \cdot 0,93 = 41,85$$

$$K_3 : 40. R_p(T) = 40 \cdot 0,93 = 37,2$$

VI-5 Calcul de la tension appliquée aux bornes d'une cellule (V_p) :

➤ 1^{ère} Etage ;

$$(V_p) = (i/C_d)_0 \cdot R_p \cdot C_{di}(1-f_0)/1000$$

$$R_{p0} = \frac{K_1}{2 \cdot C_{di}} \cdot \left[\frac{\beta \cdot (1 + g \cdot k) + f_0 \cdot g \cdot (1 - \beta \cdot k)}{(1 - f_0) \cdot (\beta + f_0 \cdot g)} \right] + k_2 - 2 \cdot k_3 \cdot C_{di} \cdot \left[\frac{(1 - f_0) \cdot (\beta + f_0 \cdot g)}{\beta \cdot (1 + g \cdot k) + f_0 \cdot g \cdot (1 - \beta \cdot k)} \right]$$

$$R_{p0} =$$

$$\frac{2.23}{2 \cdot 0.049} \cdot \left[\frac{0.25(1+1) + 0.5 \cdot 1 \cdot (1-1 \cdot 1)}{(1-0.5) \cdot (0.25 + 0.25 \cdot 1)} \right] + 41.85 - 2 \cdot 37.2 \cdot 0.049 \cdot \left[\frac{(1-0.5) \cdot (0.25 + 0.5 \cdot 1)}{0.25 \cdot (1+1 \cdot 1) + 0.5 \cdot 1 \cdot (1-1 \cdot 1)} \right]$$

$$= 85.54 \Omega \text{ cm}^2/\text{cellule}.$$

$$\text{D'où : } V_p = \frac{835.43 \cdot 85.54 \cdot 0.049 \cdot 0.5}{1000} = 1.75 \text{ Volt /cellule}.$$

VI-5-1-Puissance de dessalement (P) :

$$\frac{P}{n} = \frac{C_{di}^2 \cdot f_0 \cdot (1 - f_0) \cdot Rp_0 \cdot Qd \cdot (i/C_d)_0 \cdot F}{10^6 \cdot \eta}$$

Avec:

F: Constante de Faraday=96500 coulombs/eq.g

n : nombre de cellule.

$$\frac{P}{n} = \frac{0.0492^2 \cdot 0.5 \cdot (1 - 0.5) \cdot 85.54 \cdot 0.022 \cdot 835.43 \cdot 96500}{1000000 \cdot 0.94} = 0.097 \text{kw /cellule.}$$

D'où la puissance de dessalement $P = 0.097 \cdot 400 \cdot 6 \cdot 5 = 1164 \text{kw}$

VI-5-2 Energie pratique de dessalement (W) :

$$W = \frac{2,77 \cdot 10^{-7} \cdot (i/C_d)_0 \cdot Rp_0 \cdot C_{di}^2 \cdot f_0 \cdot (1 - f_0) \cdot F}{\eta}$$

$$W = \frac{2.77 \cdot 0.0000001 \cdot 835.43 \cdot 85.54 \cdot 0.0492^2 \cdot 0.5 \cdot (1 - 0.5) \cdot 96500}{0,94} = 1.21 \text{kw/m}^3.$$

W=1.21kw/m³

VI-5-3 Prévision de la composition d'eau traitée :

Utilisant, l'hypothèse que la répartition des ions dans la solution à traiter et la solution traitée est la même, nous pouvons déduire la composition de l'eau traitée connaissant celle de l'eau brute

On détermine la fraction de chaque élément par la relation suivante :

$$C(\%) = \frac{C(ppm)}{TDS0} \cdot 100$$

Tableau VI-5 : Répartition des ions dans l'eau d'alimentation (TDS₀=3204ppm)

Elément Chimique	Concentration moyenne des ions en ppm, C (ppm)	Concentration moyenne des ions en %, C (%)
Ca ²⁺	283	8.83
Mg ²⁺	76	2.37
Na ⁺	725	22.63
K ⁺	16	0.50
Cl ⁻	1527	47.66
SO ₄ ²⁻	160	5
NO ₃ ²⁻	25	0.78
HCO ₃ ⁻	392	12.23
total	3204	100

Tableau VI-6 : Répartition des ions dans l'eau traité à la sortie du 1^{er} étage (TDS₁=1602ppm).

Elément Chimique	Concentration moyenne des ions en ppm, C (ppm)	Concentration moyenne des ions en%, C (%)
Ca ²⁺	141.5	8.83
Mg ²⁺	38	2.37
Na ⁺	362.5	22.63
K ⁺	8	0.5
Cl ⁻	763.5	47.66
SO ₄ ²⁻	80	4.99
NO ₃ ²⁻	12.5	0.78
HCO ₃ ⁻	196	12.23
total	1602	100

➤ **2^{eme} Etage :**

VI-6-1 Calcul de la tension appliquée aux bornes d'une cellule (V_P) :

$$(V_P) = (i/C_d)_0 \cdot R_p \cdot C_{di}(1-f_0)/1000$$

$$R_{p0} = \frac{K1}{2.Cdi} \cdot \left[\frac{\beta.(1+g.k) + f0.g.(1-g.k)}{(1-f0).(\beta + f0.g)} \right] + k2 - 2.k3.Cdi \cdot \left[\frac{(1-f0).(\beta + f0.g)}{\beta.(1+g.k) + f0.g.(1-g.k)} \right]$$

$$R_{p0} =$$

$$\frac{2.23}{2*0.049} \cdot \left[\frac{0.25(1+1) + 0.75*1*(1-0.25*1)}{(1-0.75)*(0.25+0.25*1)} \right] + 41.85 - 2*37.2*0.049 \cdot \left[\frac{(1-0.75).(0.25+0.75*1)}{0.25.(1+1*1) + 0.75*1*(1-0.25*1)} \right]$$

$$= 234.45 \Omega \text{cm}^2 / \text{cellule.}$$

$$D'ou: V_p = \frac{835.43 * 234.45 * 0.049 * 0.75}{1000} = 7.20 \text{ Volt / cellule.}$$

VI-6-2-Puissance de dessalement (P) :

$$\frac{P}{n} = \frac{C_{di}^2 \cdot f_0 \cdot (1-f_0) \cdot R_{p0} \cdot Qd \cdot (i/C_d)_0 \cdot F}{10^6 \cdot \eta}$$

Avec:

F: Constante de Faraday=96500 coulombs/eq.g

n : nombre de cellule.

$$\frac{P}{n} = \frac{0.049^2 * 0.75 * (1-0.75) * 234.45 * 0.022 * 835.43 * 96500}{1000000 * 0.94} = 9.05 \text{ kw / cellule.}$$

D'où la puissance de dessalement $P=9.05*400*6*5=108600\text{kw}$

VI-6-3 Energie pratique de dessalement (W) :

$$W = \frac{2.77 \cdot 10^{-7} \cdot (i/C_d)_0 \cdot R_{p0} \cdot C_{di}^2 \cdot f_0 \cdot (1-f_0) \cdot F}{\eta}$$

$$W = \frac{2.77 * 0.0000001 * 835.43 * 234.45 * 0.049^2 * 0.75 * (1-0.75) * 96500}{0.94} = 2.36 \text{ kw/m}^3.$$

$$\boxed{W=2.36 \text{ kw/m}^3}$$

VI-6-4 Prévision de la composition d'eau traitée à la sortie du 2^{ème} étage :

Utilisant, l'hypothèse que la répartition des ions dans la solution à traiter et la solution traitée est la même, nous pouvons déduire la composition de l'eau traitée connaissant celle de l'eau brute

On détermine la fraction de chaque élément par la relation suivante :

$$C(\%) = \frac{C(ppm)}{TDS1} * 100$$

Tableau VI-7 : Répartition des ions dans l'eau d'alimentation (TDS₁=1602ppm).

Elément Chimique	Concentration moyenne des ions en ppm, C (ppm)	Concentration moyenne des ions en%, C(%)
Ca ²⁺	141.5	8.83
Mg ²⁺	38	2.37
Na ⁺	362.5	22.63
K ⁺	8	0.5
Cl ⁻	763.5	47.66
SO ₄ ²⁻	80	4.99
NO ₃ ²⁻	12.5	0.78
HCO ₃ ⁻	12.5	12.23
total	1602	100

Tableau VI-8 : Répartition des ions dans l'eau traitée (TDS₂=400.5ppm) :

Elément Chimique	Concentration moyenne des ions en ppm, C(ppm)	Concentration moyenne des ions en%, C(%)
Ca ²⁺	35.375	8.83
Mg ²⁺	9.5	2.37
Na ⁺	90.625	22.63
K ⁺	2	0.5
Cl ⁻	190.875	47.66
SO ₄ ²⁻	20	4.99
NO ₃ ²⁻	3.125	0.78
HCO ₃ ⁻	49	12.23
total	400.5	100

VI-7-Débit d'eau produit Q_p :

$$Q_p = Y * Q_F$$

Avec :

Q_p : débit d'eau produit (m^3/j).

Q_{p1} : débit d'eau produit du 1^{ère} étage.

Q_F : débit d'eau d'alimentation (m^3/j).

$$Q_{p1}=0.8*28\ 320=22\ 656\ m^3/j.$$

$$Q_p=0.8*Q_{p1}=0.8*22\ 656=18124.8m^3/j$$

$$Q_p=18\ 124.8\ m^3/j$$

VI-8-Débit du rejet Q_R :

$$Q_R=Q_F-Q_P$$

Avec :

Q_R : débit du rejet (m^3/j).

$$Q_R=10\ 195.2\ m^3/j$$

$$Q_R=28\ 320 -18\ 124.8=10\ 195.2\ m^3/j$$

VI-9-Post-traitement (la chloration) :

La chloration de l'eau produite est l'ultime étape du traitement de dessalement. L'introduction de $2g/m^3$ de chlore titrant à 20° , est préconisée pour la désinfection, il ne reste que $0.5\ g/m^3$ de chlore libre dans l'eau de distribution. Il faut donc une quantité de chlore (q_{ch}) calculée comme suit :

$$q_{ch}=2*Q_p$$

$$q_{ch}=2*18\ 124.8=36\ 249.6\ g/j.$$

$$q_{ch}=36.25kg/j$$

VI-10- Récupération des résultats :

Ce tableau suivant assemble les caractéristiques de notre station de déminéralisation :

Tableau VI-9 : Caractéristiques de notre station de déminéralisation :

Caractéristiques	Grandeurs	
	1 ^{er} étage	2 ^{eme} étage
Température de l'eau a l'entrée (°C)	25	25
Débit d'entré (m ³ /j)	28 320	22 656
Salinité d'entrée (ppm)	3 204	1602
Salinité a la sortie	1602	400.5
Nombre de cellule par pile	400	400
Taux d'enlèvement de sel, f_0 (%)	50	75
Résistance spécifique d'une cellule, R_p (Ω cm ² /cellule)	85.54	234.45
Tension appliquée aux bornes d'une cellule, V_p (volts/cellule)	1.75	7.20
Puissance de dessalement d'une cellule, P (Kw/m ³)	1164	10 6800
Energie pratique de dessalement, W (Kwh/m ³)	1.21	2.36
débit de production (m ³ /j)	180124.8	
débit du rejet	10 195.2	
Taux de conversion (%)	80	
Nombres d'étages	2	
Nombre de piles	30	
Nombre de poste de dessalement	5	
Quantité de chlore ajouté (kg/j)	36.25	

IV-11 Conclusion

Vue l'importance du débit de la station on recourt a deux étages pour avoir une salinité normalisée.

Chapitre VII :

Adduction

VII-1 INTRODUCTION :

Le transport de l'eau est nécessaire entre le point de captage et le point d'utilisation; dans la pratique ces points sont relativement éloignés l'un de l'autre, quelquefois ils peuvent se trouver à des distances considérables. Du point de vue technique, nous sommes conduits à séparer les ouvrages d'adduction et ceux de distribution.

Le dimensionnement d'une adduction sera établi après avoir soigneusement étudiés les besoins: quantité d'eau à fournir, site de distribution... Le transfert d'eau à partir de la station de déminéralisation de Brédéah vers Les deux réservoirs (2X50 000m³) de Ain El Baida a fin de satisfaire les besoins en eau potable de la ville d'Oran.

VII- 2 Choix du tracé [12]

Il est possible sur une carte (ou photo aérienne) d'établir un tracé théorique pour éviter les passages difficiles, mais le tracé définitif ne peut être arrêté qu'à la suite de visite sur terrain, en compagnie d'une personne qui connaît bien la localité. Pour définir le tracé définitif, il faut tenir en compte les problèmes suivants :

- Minimiser le nombre de passages difficiles : traversée de route, de ravine...
- Eviter les pentes trop fortes : difficulté d'ancrage des tuyaux,
- Eviter les zones rocheuses : une tranchée devra être creusée,
- Préférer les accessibles : le long des chemins existants par exemple,
- Apprécier les problèmes de propriété de terrain et d'autorisation : problème fonciers,
- Au niveau de la communauté, le tracé est généralement dicté par les contraintes liées à l'occupation des sols (jardins, maison...).

VII-3 Choix du matériau des conduites :

Le choix du type de matériaux des conduites constitue l'élément principal du réseau, leur choix doit répondre à certaines exigences, à savoir :

- Disponibilité du produit sur le marché national ;
- Facilité de la mise en œuvre ;
- Facilité d'entretien et d'exploitation ;
- pression interne supportée par la canalisation ;
- Durée de vie.

Les tuyaux les plus utilisés sont :

- Métalliques « Acier, Fonte » ;
- A base de ciment (amiante, ciment) ;
- En matière plastique (PVC, PEHD).

Nous avons opté pour la conduite en acier, cela en raison des avantages qu'elles représentent :

Malgré les avantages que présentent les conduites en plastiques, nous avons opté pour la conduite en acier, cela en raison des avantages qu'elles représentent :

- Elles absorbent plus de 29% du coup de bélier.
- Elles sont plus légères que les conduites en fonte, d'où l'économie de transport ;
- Leur résistance aux contraintes (chocs, écrasements, déplacement de terrain,..)
- Elles sont plus longues que les conduites en fonte ce qui diminue le nombre des raccords et rend la pose plus rapide. Néanmoins le seul problème réside dans la corrosion de ce matériau de conduite où une protection anti corrosive est nécessaire.

VII-4 Type d'adduction :

D'après leur fonctionnement, nous distinguons trois types d'adduction :

- Adduction gravitaire ;
- Adduction par refoulement ;
- Adduction mixte.

✓ Adduction gravitaire

Dans une adduction gravitaire, le point de captage se situe à une altitude supérieure à celle du réservoir de desserte de l'agglomération et l'écoulement peut être à surface libre, c'est-à-dire sans pression, grâce à la pente, ordinairement uniforme sur tout le parcours ou en charge, c'est-à-dire sous pression.

✓ Adduction par refoulement

Dans une adduction par refoulement, le point à alimenter se trouve à une altitude supérieure à celle du captage donc l'écoulement est en charge par pompage.

✓ Adduction mixte

C'est une adduction où la conduite par refoulement se transforme en conduite gravitaire ou l'inverse. Le relais entre les deux types de conduite est assuré par un réservoir appelé réservoir tampon.

Remarque :

Vue la topographie de la zone d'étude, on est appelé à choisir une adduction par refoulement.

VII- 5 Dimensionnement de l'adduction :

VII-5-1 Méthode de calcul :

Pour le calcul des diamètres économiques des conduites de refoulement, on utilise les deux formules approchées su:

❖ **Formule de BRESS :**

$$D = 1,5 \times \sqrt{Q} \dots\dots\dots (VII.1)$$

Q: Débit refoulé en m³/s.

❖ **Formule de BONNIN :**

$$D = \sqrt{Q} \dots\dots\dots(VII.2)$$

Q: Débit refoulé en m³/s.

D : diamètre en mètre (m).

Le diamètre économique sera compris entre les deux valeurs calculées par les formules précédentes, et sera celui qui présente un bilan minimal et une vitesse acceptable.

VII-5-2 Calcul des pertes de charge :

Les pertes de charges présentent une portion de l'énergie mécanique de l'eau qui se transforme en chaleur sous l'effet du frottement entre les particules de l'eau et les parois de la canalisation, elles se présentent sous deux formes :

- Les pertes de charge linéaires
- Les pertes de charge singulières

VII-5-2-1 Pertes de charges linéaires :

Pour un tronçon donné, les pertes de charge linéaires dépendent de:

- Diamètre D de la conduite en (m);
- Débit Q en (m3/s);
- La rugosité absolue Ks exprimée en mm;
- La longueur du tronçon L en (m).

Elles sont déterminées à partir de la formule de DARCY –WEISBECH suivante :

$$\Delta H_l = I * L = \lambda \frac{L V^2}{D 2g} \dots\dots\dots(VII.3)$$

Le coefficient λ est obtenu par les formules suivantes Nikuradzé suivante, dans l'hypothèse d'un régime turbulent rugueux :

$$\lambda = (1,14 - 0,86Ln \frac{K_s}{D})^{-2} \dots\dots\dots(VII.4)$$

La rugosité absolue est déterminée en mesurant l'épaisseur de rugosité des parois du tuyau.

$$K_s = K_0 + \alpha T \dots\dots\dots (VII.5)$$

D'où :

K₀: rugosité absolue des tuyaux neufs, égale à 0,8 mm.

α : vieillissement déterminé à partir de l'abaque de « PETER-LAMONT»

α = 0,04 mm/an

T: temps de service, T=15 ans.

Alors, K_s = 0,8 + 0,04 * 15 = 1,4mm

VII-5-2-2 pertes de charge singulières :

Les pertes de charge singulières, sont essentiellement occasionnées par des singularités dans une conduite (coudes, vannes, clapets, etc.). Ces pertes sont estimées pratiquement à 15 % des pertes de charge linéaires au refoulement.

$$\Delta H_s = 0,15 * \Delta H_l \dots\dots\dots(VII.6)$$

Les pertes de charge totales (ΔH_t) à considérer, représentent la somme des pertes de charge linéaires et singulières, alors:

$$\Delta H_t = \Delta H_l + \Delta H_s \Leftrightarrow \Delta H_t = \Delta H_l + 0,15 * \Delta H_l \Rightarrow \Delta H_t = 1,15 * \Delta H_l \dots\dots (VII.7)$$

VII-5-3 Calcul de la hauteur manométrique totale :

La station de pompage projetée à une cote de terrain de $C_{pt}=85m$ doit refouler un débit $Q=231$ l/s vers le réservoir de stockage dont la cote de radier est de $C_r=190m$.

La hauteur géométrique sera de : $H_g = (C_r + h) - C_{tp}$

Par conséquent, la pompe doit avoir une hauteur manométrique totale de :

$$H_{mt} = H_g + \Delta H_t$$

H_g : la hauteur géométrique (m)

ΔH_t : pertes de charges totales (m)

VII-5-4 Puissance absorbée par la pompe :

C'est la puissance fournie à la pompe, définie comme suit:

$$P = \frac{\rho * g * Q * HMT}{\eta} \quad [kw] \dots\dots\dots (VII.8)$$

η : rendement de la pompe en (%) ($n=81\%$)

Q : débit refoulé par la pompe en (m^3/s)

g : Accélération de pesanteur (9.81 m/s²)

ρ : masse volumique de l'eau (Kg /m^3)

VII-5-5 Energie consommée par la pompe :

$$E = P * t * 365 [Kwh] \dots\dots\dots (VII.9)$$

t : c'est le temps de pompage par jour en (heure); dans notre cas $t = 20h$

P : puissance de la pompe en (kW)

VII-5-6 Frais d'exploitation :

Les frais d'exploitation sont définis par :

$$F_{ex} = E * e \quad [DA] \dots\dots\dots (VII.10)$$

E : énergie consommée par la pompe en (Kw H)

e : prix unitaire d'un Kwh imposé par la SONELGAZ. ($e=4,17DA$)

VII-5-7 Frais d'amortissement :

Les frais d'amortissement sont donnés par :

$$F_{am} = P_{rc} * A \quad [DA] \dots\dots\dots (VII.11)$$

P_{rc} : prix de la conduite en (DA)

A: Amortissement annuel. Il est donné par la formule suivante:

$$A = \frac{i}{(i+1)^n - 1} + i \dots\dots\dots (VII.12)$$

i: Taux d'annuité annuel, i = 8 %

n: nombre d'années d'amortissement, n = 15 ans

$$A = \frac{0,08}{(0,08 + 1)^{15} - 1} + 0,08 = 0,1168 = 11,683 \%$$

- $Q_{exp} = \frac{Q_{max,j}}{t * 3600} \dots\dots\dots (VII.13)$

- Q_{exp} : Débit d'exploitation de la station vers les deux réservoirs 2*50 000m³. (m³/s)

- $Q_{max,j}$: Débit maximum journalier (m³/j) ; $Q_{max,j} = 20\ 000\ m^3/j$

- t : Durée de fonctionnement de la station par jour, t = 24 h.

- A.N: $\Rightarrow Q_{exp} = 231\ L/s.$

$$Hg = C_R - C_{ST} = 190 - 85 = 105m$$

Tableau VII-1 : Calcul de la HMT de l'adduction

Les résultats trouvés pour le calcul du diamètre économique de notre adduction sont regroupés dans les tableaux VII-1, VII-2, VII-3 et VII-4

Diamètre	Longueur	Débit	Vitesse	λ	ΔH totale	HMT
(mm)	(m)	(l/s)	(m/s)		(m)	(m)
550	20 000	231	0.97	0,0240	48.35	153.35
650	20 000	231	0.70	0,0231	20.17	125.17
700	20 000	231	0.60	0,0227	13.70	118.70
750	20 000	231	0.52	0,0224	9.56	114.56
800	20 000	231	0.46	0,0221	6.83	111.83

Tableau VII-2 : Calcul des frais d'amortissement

<i>Diamètre (mm)</i>	<i>Prix de ml (DA)</i>	<i>L (m)</i>	<i>A</i>	<i>Famort (DA)*10⁶</i>
550	9186.62	20000	0,1168	21.46
650	11527.06	20000	0,1168	26.93
700	12769.28	20000	0,1168	29.83
800	15367.72	20000	0,1168	35.90

Tableau VII-3 : Calcul des frais d'exploitation

<i>Diamètre en (mm)</i>	<i>P (K Watt)</i>	<i>E (KWh)</i>	<i>Fexploit (DA)*10⁶</i>
550	984.00	7183226.76	29.95
650	911.31	6652547.13	27.74
700	893.54	6522814.20	27.20
750	881.78	6436989.99	26.84
800	873.78	6378589.99	26.60

Tableau VII-4 : Bilan

<i>Diamètre en (mm)</i>	<i>Famort (DA)*10⁶</i>	<i>Fexploit (DA)*10⁶</i>	<i>BILAN*10⁶</i>
550	21.46	29.95	56.770
650	26.83	27.74	61.400
700	29.83	27.2	64.490
750	32.83	26.84	67.920
800	35.9	26.6	71.470

Selon la combinaison des frais d'amortissement et d'exploitation, le diamètre économique est de 550 mm, avec une vitesse de 0.94 m/s et sur une longueur de 20000 m.

VII-6 Station de pompage :

Dans les stations de dessalements ou bien de déminéralisation, la station de pompage est intégré à l'intérieur, ce qu'il ne reste à faire, c'est juste de voir les types de pompes qui doivent être installé à fin d'assuré un bon refoulement vers les deux réservoirs de capacités de 50 000m³ pour chacun.

VII-6-1 Définition :

Les pompes sont des machines hydrauliques dont le rôle consiste à relever le débit d'un point bas à un point haut.

Les pompes sont classées en deux grandes familles :

- Les pompes volumétriques ;
- Les pompes dynamiques (turbopompes) ;
- Les pompes immergées,

VII-6-2 Différents types de pompes et leurs caractéristiques :

VII-6-2-1 Pompes volumétriques :

Elles sont caractérisées par un déplacement de liquide du point d'aspiration vers le point de refoulement qui se fait par un mouvement de :

- Translation ;
- Rotation ;
- Mixte (translation et rotation).

Elles sont destinées au pompage des fluides visqueux, elles élèvent de faibles débits à des pressions élevées, on distingue :

- Les pompes volumétriques rotatives ;
- Les pompes alternatives (à piston) ;
- Les pompes à rotor excentré, à rotor oscillant, à palettes, à engrenage.

VII-6-2-2 Les turbopompes :

Une turbopompe est essentiellement constituée par un organe mobile ou une roue munie d'aubes ou d'ailettes animées d'un mouvement de rotation qui permet l'augmentation de l'énergie de fluide. Elle est précédée d'une entrée et suivie le plus souvent d'un diffuseur dans lequel une partie de l'énergie cinétique du fluide se transforme en pression. Ce sont les plus utilisées, on distingue :

- Les pompes centrifuges ;
- Les pompes à hélices ;
- Les pompes hélico-centrifuges.

Cette classification est basée sur la forme de la trajectoire à l'intérieur du rotor de la pompe (roues radiales, semi radiales, axiales). Les pompes centrifuges sont les plus utilisées pour des hauteurs d'élévations importantes (plusieurs dizaines de mètres). Les pompes à hélices élèvent des débits importants à des hauteurs faibles.

Les pompes centrifuges qui font partie de la famille des pompes dynamiques sont plus universellement utilisées. Le développement de ces dernières a été très rapide grâce au progrès réalisé dans l'emploi de la force motrice électrique, accouplées aux moteurs électriques, elles constituent des groupes légers, peu encombrants, peu coûteux et d'un très bon rendement.

VII-6-3 Couplage des pompes :

- Le couplage en série : ce type de couplage est utilisé en vue de l'augmentation de la hauteur d'élévation des pompes.
- Le couplage en parallèle : ce type de couplage est utilisé en vue de l'augmentation du débit d'eau refoulé par les pompes.

Le couplage des pompes se fait dans le cas où une pompe placée ne permet pas de fournir la charge ou le débit nécessaire pour l'élévation d'eau au point voulu.

VII-6-4 Choix du type de pompe :

Les critères de choix du type de pompe sont :

- ✓ Assurer le débit appelé Q_{app} et la hauteur Hmt ;
- ✓ Meilleur rendement ;
- ✓ Vérifier la condition de non cavitation ;
- ✓ Encombrement et poids les plus faibles ;
- ✓ Vitesse de rotation la plus élevée ;
- ✓ Puissance absorbée minimale ;
- ✓ Etre fabriquée en série.

*Pour le choix du type de pompe dans notre projet, on utilise un logiciel nommé CAPRARIE, il nous permet de déterminer avec précision les caractéristiques de différentes pompes en fonction du débit et de la hauteur manométrique voulue.

VII-6-5 Choix du nombre de pompes :

Les critères de choix du nombre de pompes sont :

- ✓ Meilleur rendement (η);
- ✓ Charge nette d'aspiration requise (NPSH)_r minimale ;
- ✓ Vitesse de rotation N élevée (tr/mn) ;
- ✓ Puissance absorbée minimale (P_{abs}).
- ✓ Nombre de pompes n minimal ;

➤ Station de pompage vers les deux réservoirs :

On a besoin de refouler un débit total d'eaux de 231 l/s sur une hauteur de 153.35 m (calculer ci-dessus).

Tableau VII-5 : Caractéristiques des pompes en fonction de leurs nombres.

n	Q appelé (m ³ /h)	HMT appelée (m)	Type de pompe	η %	Vitesse (tr/min)	P_{abs} (Kw)	(NPSH) _r (m)
1	235	158	PM150/6C	77.5	1450	131	2.32
2	118	168	PM100/10B	75.5	1450	68.5	1.91
3	71.6	146	PM80/3A	75	2900	55	2.96
4	61.1	158	PM100/11C	74.8	1450	37	1.95

Remarque : Vue les paramètres hydrauliques avantageux qu'elle présente la variante N°02, on opte pour une installation de deux pompes et une pompes de secours.

D'après l'étude faite dans ce chapitre, l'élévation de l'eau le long de la conduite de refoulement, nécessite :

- 02 pompes +1 pompe de secours ;

- Type de pompe : CAPRARI PM150/10B ;
- Diamètre de roue : 300 mm ;
- Vitesse de rotation de la roue : 1450 (tr/min)
- Accouplées à un moteur caractérisé par :
- Une fréquence 50HZ
- Une tension nominale 400V
- Une vitesse nominale 1450 tr/min
- Un nombre de pôles 4

VII-6-6 Le point de fonctionnement :

Le point de fonctionnement d'une pompe est l'intersection entre la courbe caractéristique de la pompe [H-Q] et la courbe caractéristique de la conduite.

La courbe caractéristique de la pompe est donnée par le constructeur ou par les essais de pompage tandis que la courbe caractéristique de la conduite est déterminée par l'installateur de la pompe.

Les groupes électropompes sont de série MP150 sachant que chaque groupe refoule un débit de 118 l/s c'est-à-dire presque la moitié du débit totale 231 l/s.

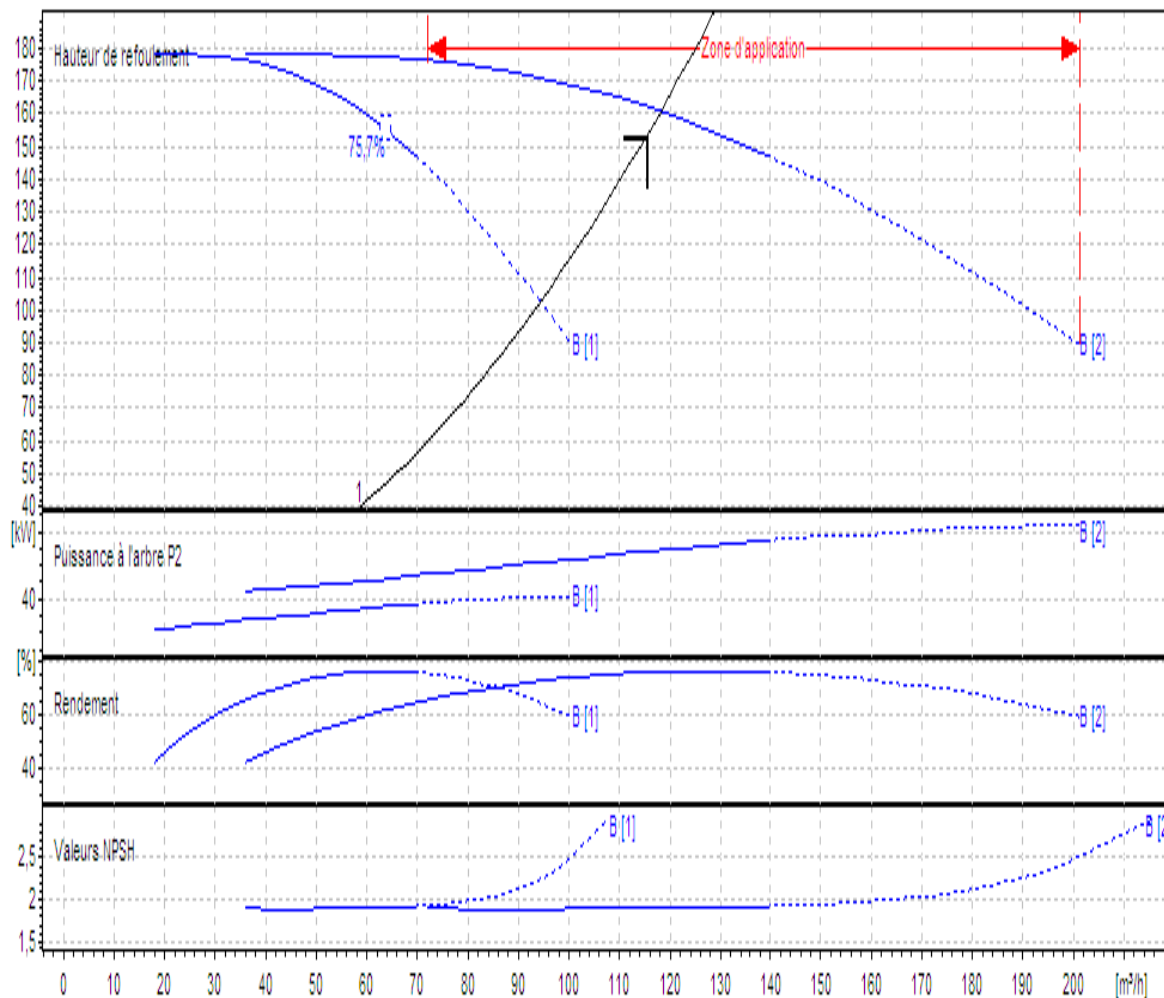


Figure VII-1 : Point de fonctionnement des pompes de la variante choisie.

VII-6-7 Description des pompes :

Matériaux des principaux organes de la pompe :

- Roues, diffuseur et corps de la pompe : en fonte
- Corps d'aspiration, refoulement et corps d'étage : en fonte
- Arbre en acier inoxydable entièrement protégé par une douille en acier inoxydable

Dimensions de la pompe :

Les dimensions de la pompe sont tirées directement du logiciel, les valeurs trouvées sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau VII-6: Les paramètres géométriques des différents organes de la pompe de la variante choisie

symbole	Dimension (mm)	symbole	Dimension (mm)
A	2197	I	600
B	1882	L	550
C	770	M	20
D	293	N	120
D _{Na}	125	O	42
D _{Nm}	100	P	345
E	210	Q	615
F	300	R	620
G	1282	V	270
H	510		

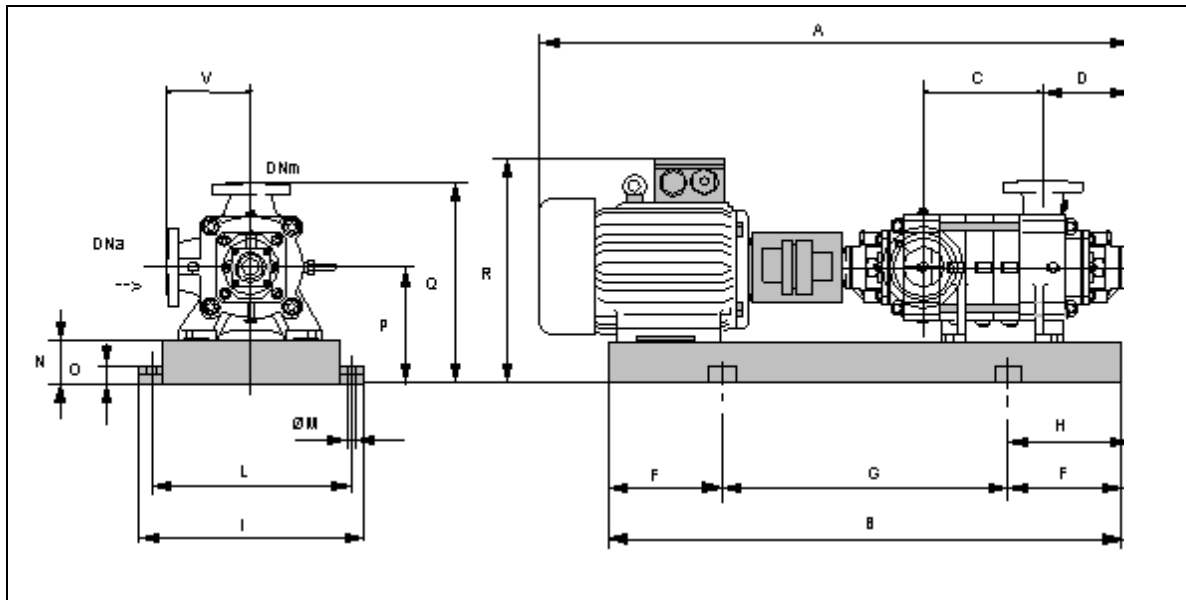


Figure VII-2 : Schéma d'une pompe centrifuge

VII-7 Protection de l'adduction contre le coup de bélier: [13]**VII-7-1 Définition :**

Le coup de bélier étant un cas particulier du régime transitoire, est un phénomène oscillatoire qui se manifeste dans les conduites en charge à écoulement gravitaire ou par refoulement.

VII-7-2 Les causes du coup de bélier :

Le coup de bélier est un phénomène oscillatoire dont les causes les plus fréquentes sont les suivantes :

1. L'ouverture ou la fermeture des vannes dans les conduites en charge à écoulement gravitaire.
2. La mise en marche ou l'arrêt des pompes dans les conduites en charge par refoulement.
3. Le remplissage ou la vidange d'un système d'AEP.
4. Modification de la vitesse d'une pompe.
5. Variation d'un plan d'eau.
6. La disparition de l'alimentation électrique dans une station de pompage qui est la cause la plus répandue du coup de bélier.

VII-7-3 Les conséquences du coup de bélier :

Les conséquences du coup de bélier peuvent être néfastes, elles deviennent de plus en plus dangereuses à mesure que les paramètres modificateurs deviennent importants (variation de pressions et de débits dans le temps).

Ces phénomènes se produisant dans une conduite en charge, peuvent provoquer des risques à la suite d'une dépression ou d'une surpression engendrée par les manœuvres brusques.

a) Cas de la surpression

C'est une conséquence du coup de bélier engendrée par une pression importante se produisant à la suite d'une fermeture instantanée ou rapide d'une vanne de sectionnement ou bien à la suite d'une dépression causée par l'arrêt brusque d'une pompe. Si la pression totale c'est-à-dire la pression en régime permanent majorée de la valeur de surpression due au coup de bélier dépasse la pression maximale admissible des tuyaux il y a risques de rupture de ces derniers et déboîtement des joints (les anneaux d'étanchéité seront délogés).

b) Cas de dépression

C'est une conséquence du coup de bélier engendrée par l'apparition d'une pression relative négative, à la suite d'un arrêt brusque d'une pompe ou d'une ouverture instantanée d'une vanne de sectionnement. Si cette pression devient inférieure à 10mce, il se produira une poche de cavitation. Si le profil en long de la canalisation est déformable la canalisation peut être aplatie par implosion et les joints aspirés. Le phénomène de cavitation, une fois apparu, peut provoquer la détérioration de la couche d'enduit intérieur du tuyau.

c) Fatigue de la canalisation

En régime transitoire les alternances des surpressions et dépressions qui sont une conséquence inévitable du phénomène provoquent la fatigue du matériau de la canalisation même si leur amplitude est faible.

VII-7-4 Protection de la conduite de refoulement contre le coup de bélier :

Ils existent différents moyens de protection des installations contre le coup de bélier :

a) **Réservoirs d'air** : L'alimentation continue de la veine liquide après disjonction du groupe peut être effectuée à l'aide d'une réserve d'eau accumulée sous pression dans une capacité métallique disposée à la station immédiatement à l'aval du clapet. Cette capacité contient de l'eau et de l'air.

Ce dispositif est le plus simple et protégera les installations aussi bien contre les surpressions que contre les dépressions.

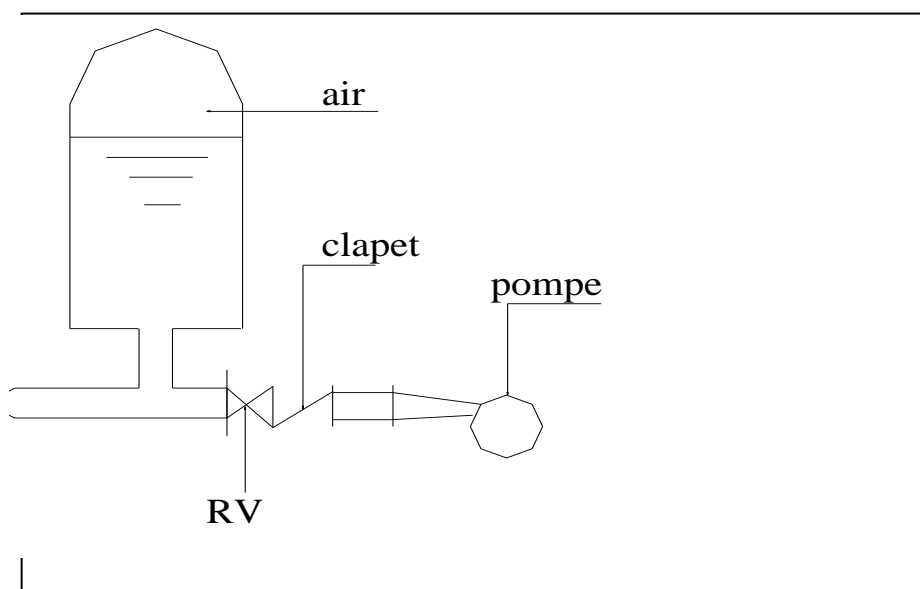


Figure VII-3: Réservoir d'air anti bélier.

b) **Volant d'inertie** : calé sur l'arbre du groupe, il constitue un moyen assurant l'alimentation de veine liquide, malgré l'arrêt du moteur actionnant la pompe grâce à l'énergie qu'il accumule pendant la marche normale. Le volant la restitue au moment de la disjonction et permet ainsi d'allonger le temps d'arrêt de l'ensemble, donc de diminuer l'intensité du coup de bélier. Au démarrage, le groupe électropompe, avec le volant d'inertie, consomme plus d'énergie.

Remarque :

Dans ce projet, on propose comme moyen de protection de notre installation, le réservoir d'air.

VII-7-5 Calcul du réservoir d'air :

Le calcul du réservoir d'air permet de déterminer les valeurs de la surpression et de la dépression maximales dans les conduites de refoulement et le volume du réservoir d'air.

Comme méthode de calcul, on distingue :

✓ Méthode de VIBERT

La méthode de **VIBERT** donne de bons résultats pour les petites installations et risque de donner des volumes de réservoirs d'air, important dans le cas de grandes installations.

✓ Méthode de BERGERON

La méthode de **BERGERON** est la plus répandue, elle donne de bons résultats que ce soit pour les petites ou pour les grandes installations.

VII-7-6 Dimensionnement du réservoir d'air :

On calculera la célérité d'onde à l'aide de la formule suivante (SALAH. B) :

$$C = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{K * 2 * a * (1 - \nu_m^2) * (1 - \nu_s)}{(1 - \nu_m^2) * a * E_s + E_m * e_m * (1 - \nu_s)}}} \dots\dots\dots (VII-14)$$

Avec :

- C: célérité d'onde en (m/s)
- K : Coefficient d'élasticité de l'eau ; K = 2,07*10⁹ Pascal.
- ρ : Masse volumique de l'eau ; ρ = 1000 kg / m³
- E_m : module de Young du matériau de la conduite ; E_m = 2*10¹¹ pour l'acier.
E_m = 3*10⁹ pour le PVC.
- E_s : module de Young du sol ; E_m = 2*10⁸ Pascal.
- ν_m : coefficient de poisson du matériau. ν_m=0,3 (acier), ν_m=0,46 (PVC)
- ν_s : coefficient de poisson du sol entourant la conduite. ν_s= 0.33
- e_m : Epaisseur de la conduite (m).
- a : rayon intérieur de la conduite (m).

A.N : **C=1260,33 m/s.**

Tableau VII-7 : Calcul de la célérité d'onde pour notre adduction :

K (Pa) (*10⁹)	P (Kg/m³)	a (m)	ν_m	ν_s	E_s (Pa) (*10⁸)	E_m (Pa) (*10¹¹)	e_m (m)	C (m/s)
2.07	1000	0,267	0.3	0.33	2	2	0.00792	1260,33192

✓ La charge tenant compte du coup de bélier:

$$Z = Hg + \frac{C * V_0}{g}$$

V₀: vitesse moyenne de refoulement en (m/s).
g: l'accélération de pesanteur.

✓ La charge statique absolue:

$$Z_0 = Hg + 10$$

✓ La charge maximale absolue:

$$Z_{max} = Z_0 + \frac{C * V_0}{g}$$

On a:

$$\left. \begin{aligned} \frac{Z_{\max}}{Z_0} \\ h_0 = \frac{V_0^2}{2 * g} \Rightarrow \frac{h_0}{Z_0} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{Abaque de VIBERT} \Rightarrow \frac{U_0}{L * S}; \frac{Z_{\min}}{Z_0} \quad (\text{voir annexe 04})$$

$$U_0 = \frac{U_0}{L * S} * L * S$$

$$U_0 * Z_0 = U_{\max} * Z_{\min} \Rightarrow U_{\max} = \frac{U_0}{\frac{Z_{\min}}{Z_0}}$$

U_{max}: volume du réservoir d'air.

VII-7-7 Calcul de la capacité du réservoir d'air :

N° de station	Z ₀	Z _{max} (m)	V ₀ (m/s)	g ₀ (m/s ²)	h ₀	$\frac{h_0}{Z_0}$	$\frac{U_0}{L * S}$	$\frac{Z_{\min}}{Z_0}$	U ₀	U _{max} (m ³)	Normalisé (m ³)	(litres)
SP	115	239.62	0.97	9.81	0.0479	0.000417	0.02	0.567	9.52	16.79	17788.84	

Tableau VII-8 : Les résultats du calcul de volume de réservoir d'air.

VII-8- Protection des conduites contre la corrosion :

VII-8-1-Définition:

Le contact de l'eau avec les canalisations peut engendrer diverses altérations dont la plus fréquente est la corrosion qui est un phénomène de détérioration des métaux sous l'effet des réactions chimiques et électrochimiques. L'accélération de ce phénomène se traduit par une perforation ou attaque sous forme de croûte ou de rouille, annonçant la diminution de l'épaisseur du métal. Dans notre étude nous avons opté pour des conduites en acier : toutefois nous citerons quelques types de corrosion avec leurs remèdes respectifs.

VII-8-2-Les différentes formes de corrosion :

a) Corrosion chimique :

Elle est due à la présence de gaz dissous tels que le CO₂ et l'O₂ dans l'eau. La baisse de pH due à l'augmentation de la concentration des ions (H⁺) engendre une attaque chimique dès qu'il y a une combinaison directe du métal et du milieu ambiant.

b) Corrosion électrochimique :

La corrosion électrochimique est provoquée par une électrolyse caractérisée par la circulation du courant électrique.

Les processus électrochimiques créés par les différences de potentiels engendrés par la juxtaposition de masse humide et saline (milieu ambiant ou beigne la conduite) de composition chimiquement différente et dans lesquelles le potentiel de la partie métallique en

contact (la surface des conduites) sera différent, cela provoquera une dissolution qui représente l'oxydation du métal qui va perdre des électrons dans le cas du fer, où l'état oxydé est plus stable que l'état réduit.

c) Corrosion biologique :

La corrosion biologique est l'attaque des métaux par des bactéries. Il peut alors y avoir formation de composés, tels que le dioxyde de carbone, l'anhydride sulfureux, ou des acides organiques qui détériorent le métal. La corrosion biologique intervient en particulier dans les canalisations enterrées.

VII-8-3 Protection des conduites contre la corrosion interne :

VII-8-3-1 Corrosion interne :

Elle est la conséquence des phénomènes chimiques apparaissant au contact des parois internes de la conduite avec l'eau. En effet, les eaux fortement minéralisées provoquent des dépôts, surtout si la vitesse de l'eau est faible. Ces dépôts constituent alors autant de petites piles dans un milieu bon conducteur et il en résulte des attaques locales du métal et éventuellement, des perforations.

En vue de remédier aux inconvénients cités précédemment, il est indispensable tout d'abord :

- ✓ D'exiger un revêtement intérieur des canalisations très soigné et constitué :
 - D'un enduit bitumeux ;
 - D'un enduit spécial.
- ✓ Eviter les faibles vitesses d'écoulement.
- ✓ Chasser l'air aux points hauts de la canalisation.
- ✓ Que la pose doit se faire avec soin.



Figure VII-4 : Corrosion interne dans une conduite

VII-8-4 Protection des conduites contre la corrosion externe :

VII-8-4-1 Corrosion externe :

Cette corrosion est caractérisée par une attaque du métal due à des phénomènes extérieurs en liaison, le plus souvent, soit avec la nature du sol, soit avec des installations électriques à courant continu situées au voisinage des réseaux d'alimentation en eau.

Si ces phénomènes sont importants, il peut se produire une destruction rapide des canalisations par formation de cratères qui mènent à une perforation, ou à une attaque sous forme de couche de rouille croûteuse ou filandreuse, annonçant une diminution de l'épaisseur du métal.

Il y a donc lieu d'attacher une grande importance à ces problèmes, en ce qui concerne plus particulièrement les réseaux de conduites en acier, lesquels, ordinairement, sont plus vulnérables que les conduites en fonte.



Figure VII-5: Corrosion externe dans une conduite

Il s'agit de garantir une certaine durée de vie de l'objet, pour un coût minimal, comprenant tant les frais d'investissement que l'entretien. La lutte contre la corrosion englobe les méthodes suivantes :

- Protection par revêtement
- Protection cathodique

VII-8-4-2. Les revêtements :

Pour que les réactions anodiques et cathodiques ne se produisent pas, on isole le métal du milieu corrodant à l'aide de revêtements, ces derniers peuvent être, soit d'un autre métal ou alliage moins sensibles à la corrosion, soit des matières plastiques où des peintures, soit des oxydes protecteurs formés à partir du métal lui-même (oxydation anodique), soit en fin, des couches passives obtenues en maintenant le métal à un certain potentiel.

Les principaux types de protection contre la corrosion extérieure sont :

- ✓ Couche de zinc avec revêtement ;
- ✓ Couche de zinc-aluminium avec revêtement ;
- ✓ Revêtement en mortier de ciment armé ;
- ✓ Revêtement en polyéthylène ;
- ✓ Revêtement en polyuréthane.

N.B :

Dans le cas de notre projet d'adduction, les conduites passent parfois, à proximité du terrain agressifs, elles devront être soigneusement protégées, c'est pour cela qu'on propose une couche de goudron ou une manche en polyéthylène.

VII-9 Pose de canalisation :

Dans cette partie, nous aborderons tous les cas qui vont se présenter dans notre projet afin d'éclairer à l'entreprise tous les obstacles qui risquent d'être confrontés pour mieux les gérer par la suite.

VII-9-1 Choix et type de pose de canalisation pour l'agglomération :

Afin de répondre au critère de bonne mise en œuvre, il existe plusieurs variantes de pose de conduites :

- la Pose en terre;
- la Pose en mauvais terrains ;
- la Pose en galerie ;
- la Pose en pentes ;
- la Pose des conduites traversées des routes et voies ferrées ;
- la Pose en immersion (cours d'eau) ;
- la Pose à proximité d'une conduite d'assainissement ;
- la Passage de ponts ;
- la Pose sans tranchée ouverte.

Le choix s'effectue en fonction de : la topographie du terrain et sa nature, la disposition des lieux et des différents obstacles qui peuvent être rencontrés. Selon ces facteurs on opte pour les poses suivantes :

VII-9-1-1 Pose en terre :

La pose en terre s'effectue dans une tranchée dont la largeur minimale est de 0.60 m permettant aux ouvriers d'y accéder.

La profondeur de la tranchée est déterminée comme suite :

- On laisse une distance suffisante au dessus de la génératrice supérieure de la conduite afin d'éviter les dégâts pouvant être causés par les charges. Cette distance peut varier de 0.80 à 1.20 m, suivant que les régions sont exposées aux gels importants ou non.
- On recouvre ensuite le fond de la fouille d'un lit de pose de 0.15 à 0.20 m d'épaisseur bien pilonné et aussi bien nivelé, suivant les côtes du profil en long.

Ce lit de pose est assuré :

- Par du gravier dans les terres ordinaires ;
- Par des pierres cassées à l'anneau de 5 cm pour former des drains dans les terrains rocheux ou imperméables ;
- Par un lit en béton maigre, dans les parties rocheuses possédant des pentes importantes.

Avant la descente en fouille, on examine les tuyaux afin d'éliminer ceux ayant subis des chocs.

Finalement, on passe au remblaiement de la tranchée en la bourrant soigneusement par couches successives arrosées et bien tassées en dessous et sur les flancs du tuyau avec une terre purgée de pierres.

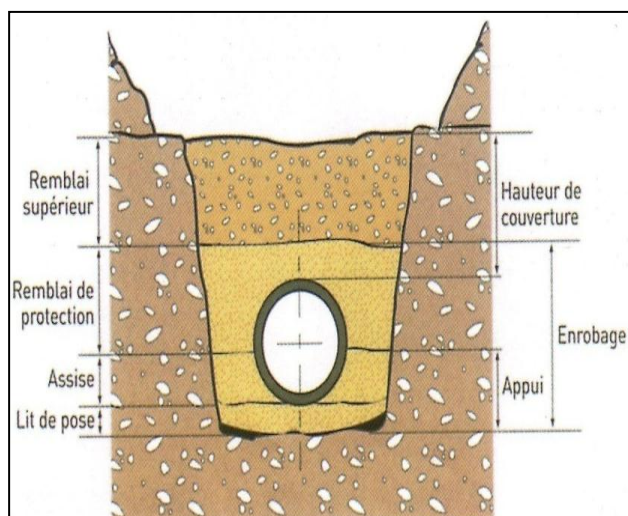


Figure VII-6 : Pose de canalisation.

VII-9-1-2 Traversée d'oued

La traversée de la conduite à travers un oued se fait en accrochant la conduite par des ceintures en acier sous le pont. Dans notre projet on a 3 traversés d'oued.

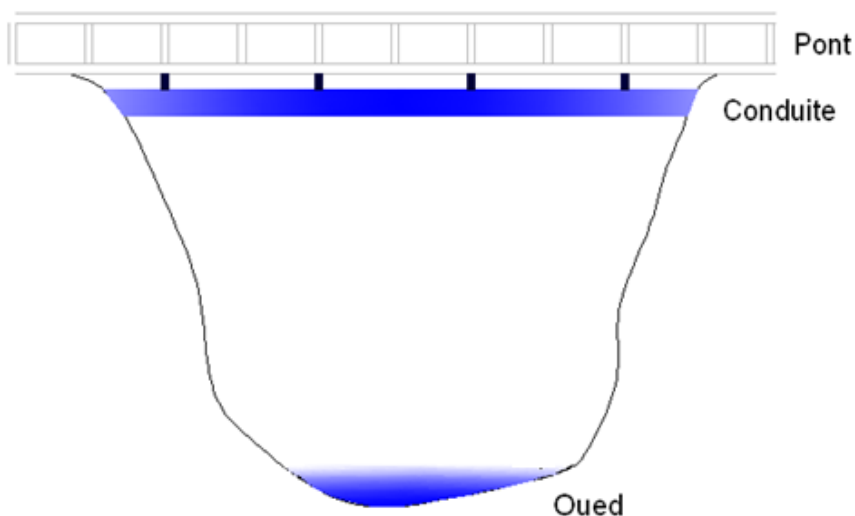


Figure VII-7 : traversée d'oued

VII -9-1-3 Pose de canalisations dans un mauvais terrain :

Lorsque la conduite traverse des terrains de mauvaise qualité, on prévoit quelques solutions :

- Cas d'un terrain peu consistant :

Pour éviter tout mouvement de la canalisation ultérieurement, celle-ci doit être posée sur une semelle en béton armé ou non avec interposition d'un lit de sable. La semelle peut être continue ou non en fonction de la nature du sol. Dans le cas où la canalisation repose sur des tasseaux, ces derniers doivent être placés plus proches des joints et soutenus par des pieux enfoncés jusqu'au bon sol (figure VI-8).

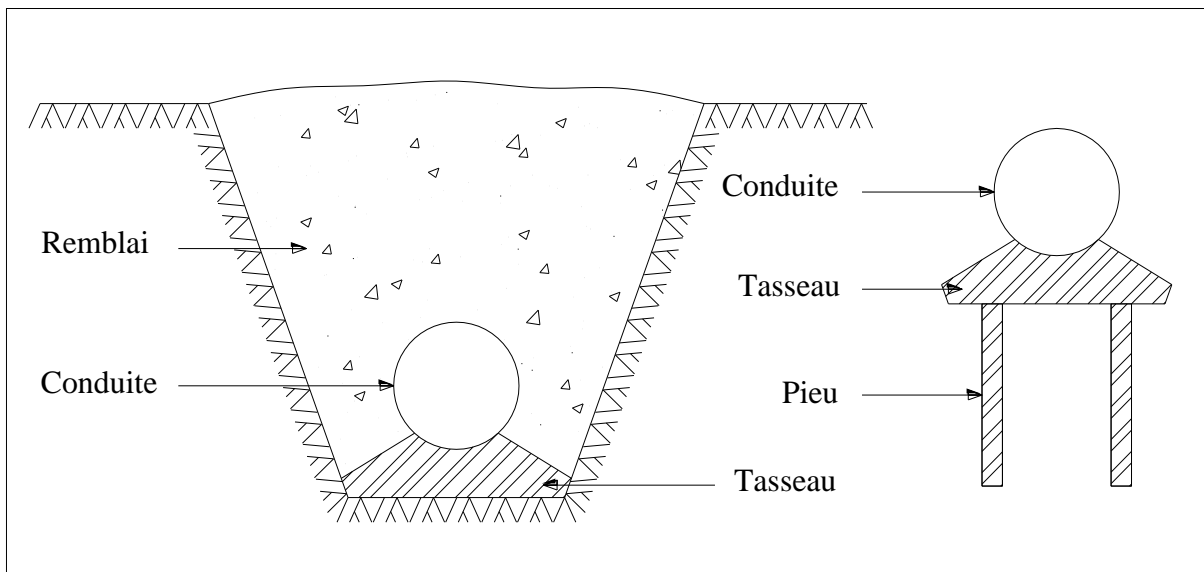


Figure VII-8 : Pose de canalisation dans un terrain peu consistant

- Cas d'un terrain mouillé :

Il est prévu dans la tranchée un moyen pour le drainage (conduite) couvert d'un lit de gravier de gros calibre, par la suite un lit en béton armé sur lequel repose la canalisation.

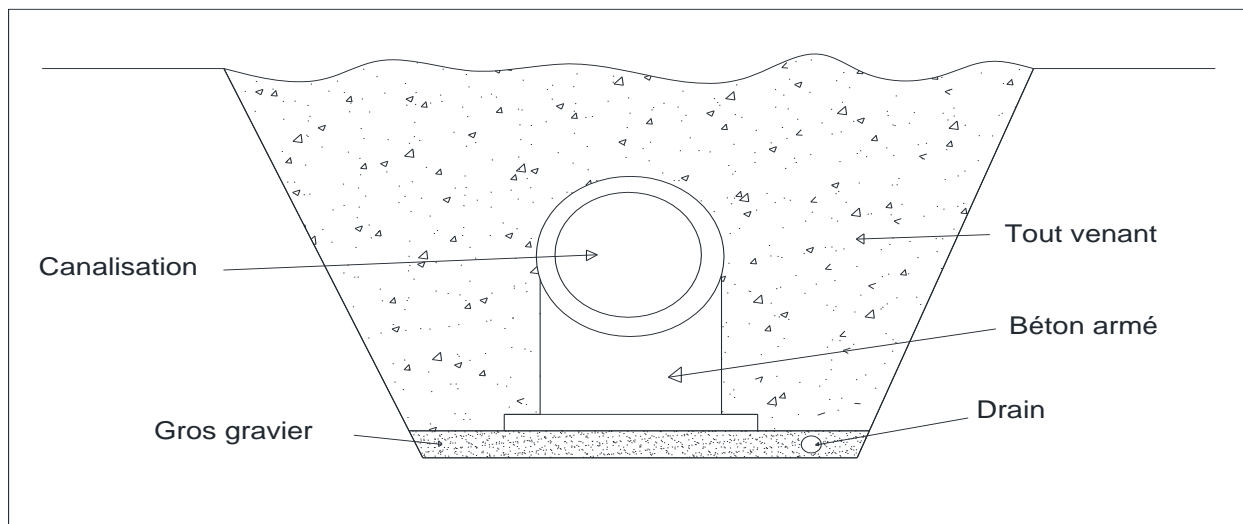


Figure VII-9 : Pose de canalisation dans un terrain mouillé

VII-9-2 Accessoires :

Le long d'une canalisation, divers organes et accessoires sont installés, parmi lesquels on distingue les robinets-vannes, les ventouses, les clapets, les organes de mesure (débitmètre, manomètre) et les accessoires anti-béliers afin de:

- Assurer un bon écoulement ;
- Régulariser les pressions et mesurer les débits ;
- Protéger la canalisation ;
- Vidanger une conduite ;

- Chasser ou faire pénétrer l'air dans une conduite.

VII-9-2-1. Vannes de sectionnement :

Ces vannes sont nécessaires pour l'exploitation du système de transfert et permettent d'en isoler une partie pour l'intervention sans arrêter totalement l'alimentation.

Il est prévu d'installer des vannes intermédiaires au départ de chaque raccordement sur le transfert ainsi que tous les 2500m.

Pour des raisons d'exploitation et de facilité la fermeture, les vannes de diamètre supérieur ou égal à 250mm seront du type papillon .elles seront associées à un by-pass pour permettre la remise en eau progressive.

Elles permettent également de maîtriser les écoulements dans le réseau, donc de mieux gérer celui-ci. Il existe plusieurs types de vannes qui satisfont à des besoins variés. :

- Les vannes d'isolement** : permettent d'isoler certains tronçons qu'on veut inspecter, réparer ou entretenir. On distingue deux types :
 - **Les robinets à papillon** pour les conduites de gros diamètres ;
 - **Les robinets-vannes** pour les conduites de petits diamètres.
- Les vannes à clapets de non-retour** : permettent de diriger l'écoulement dans un seul sens. Elles sont installées sur les conduites de refoulement.
- Les vannes de réduction de pression** : permettent de réduire la pression à une valeur prédéterminée.

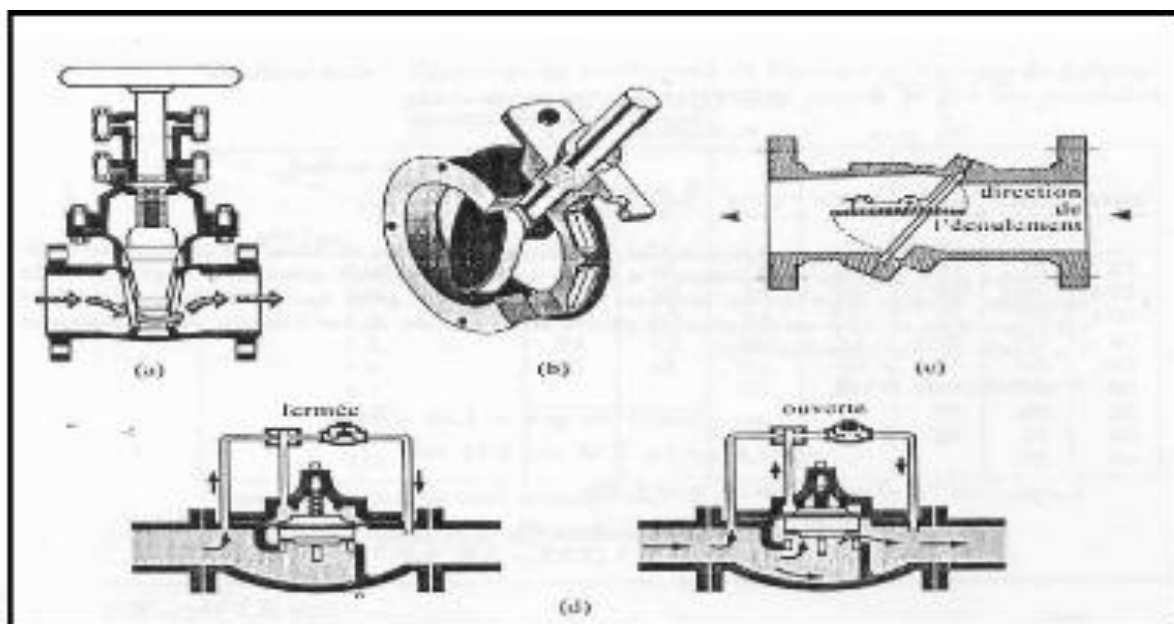


Figure VII-10: les différents types de vanne.

Avec :

- (a) : Robinet-vanne ;
- (b) : Robinet à papillon ;
- (c) : Vanne à clapet de non-retour ;
- (d) : Vanne de réduction de pression.

Remarque:

Dans notre cas, on prévoit :

- Les vannes à clapets de non-retour à la sortie de chaque pompe, sur chaque conduite d'arrivées et de vidange des réservoirs, sur la conduite d'aspiration de chaque pompe et au maximum chaque 400m de la conduite de refoulement.
- Les vannes d'isolement type papillon sur chaque conduite de départ du réservoir de stockage.

VII-9-2-2 Ventouses :

La ventouse est un appareil de dégazage qui est actionnée par la simple présence d'air. Une bille placée en dessous de la purge, vient boucher l'orifice quand elle est poussée par l'eau (poussée d'Archimède). Si de l'air s'accumule à cet endroit, le niveau d'eau descend et la bille également : l'orifice est alors libre d'évacuer l'air emprisonné. Quand l'air est échappé, le niveau de l'eau peut alors remonter et la bille revient obstruer l'orifice de la ventouse. C'est également en ces points qu'il faut faire une admission d'air lors des vidanges.

a- Rôles de la ventouse :

1-La ventouse laisse échapper l'air:

2- La ventouse permet l'admission d'une quantité suffisante d'air:

Le choix de la ventouse est faite directement en fonction du diamètre de la conduite .Elle est désignée par le diamètre de l'orifice assurant l'évacuation de l'air.

b- Types de ventouses :

Il existe deux types de ventouse :

- Ventouse simple : assure le dégazage des conduites à haute pression.
- Ventouse à deux orifices réunis en un seul appareil, car notre diamètre est supérieur à 300 mm.

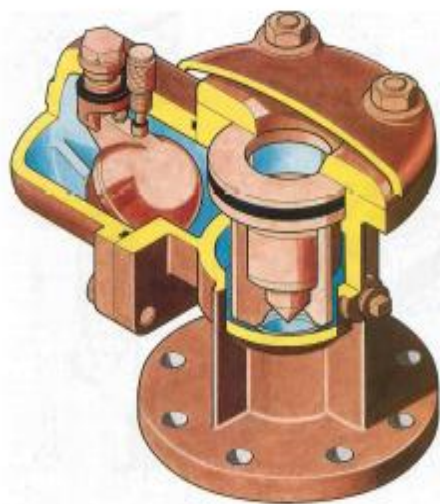


Figure VII-11 : Schéma d'une ventouse à double orifice

VII-9-2-3 Vannes de décharge :

Dans le cas d'intervention sur les conduites, des vannes de vidange sont prévues au point bas afin d'évacuer les eaux de la conduite.

La vidange se fait soit dans un égout (cas d'un réseau urbain), soit dans un fossé ou en plein air (cas d'une conduite compagne). Ce robinet sera posé dans un regard en maçonnerie d'accès facile.

VII-9-2-4 Conduite by-pass :

La conduite by-pass est utilisée pour :

- ✓ Faciliter la manœuvre de la vanne à fermeture lente ;
- ✓ Remplir à débit réduit, la conduite avant sa mise en service ;
- ✓ Relier la conduite d'arrivée à la conduite de départ du réservoir.

Remarque : Dans notre cas, les by-pass sont placés parallèlement aux vannes de sectionnement se trouvant le long de la conduite de refoulement pour remplir les deux premiers rôles.

VII-9-2-5 Joints de raccords :

Les longueurs des tuyaux sont assemblées par des joints non verrouillés, verrouillés ou à brides. Les joints verrouillés permettent une auto butée des canalisations, évitant des massifs en béton lourds, encombrants et longs à réaliser. Les joints les plus couramment utilisés sont :

- le joint express (verrouillé ou non) ;
- le joint standard (verrouillé ou non) ;
- les joints automatiques verrouillés ;
- le joint à brides (fixe ou orientable).

Les joints modernes sont verrouillés grâce à des bagues de joint en élastomère comportant des inserts métalliques. De même, le joint proprement dit, qui se place entre les brides, est actuellement en élastomère garni d'inserts métalliques pour éviter le fluage à la compression lors du serrage. Selon les diamètres et les types de joints, une certaine déviation est admise à la pose variant de 1 à 5°.

VII-9-3 Organes de raccordement :

Les organes de raccordement sont nécessaires pour :

- ✓ La déviation d'une partie de l'écoulement ;
- ✓ L'introduction dans la conduite d'un débit supplémentaire ou son soutirage ;
- ✓ Le changement de diamètre de la conduite ;
- ✓ Le montage et le démontage des accessoires ;
- ✓ Le changement de direction de la conduite.

VII-9-3-1 Coudes :

Les coudes sont des accessoires utiles surtout pour les réseaux maillés et ramifiés, lorsque la conduite change de direction. Généralement, les coudes sont maintenus par des massifs de butées, convenablement dimensionnés.

VII-9-3-2 Cônes :

Les cônes sont utilisés pour relier deux conduites de diamètres différents comme on les rencontre aussi à l'entrée et à la sortie des pompes. On distingue :

- ✓ Les cônes à deux emboîtements ;
- ✓ Les cônes à deux brides ;

- ✓ Les cônes à emboîtement et bride.

VII-9-3-3 Tés :

Les tés sont utilisés dans le but de soutirer un débit d'une canalisation ou d'ajouter un débit complémentaire. Ils sont rencontrés au niveau des réseaux maillés, ramifiés et des canalisations d'adduction en cas de piquage.

Les tés se présentent soit à trois emboîtements, soit à deux emboîtements et bride.

VII-9-3-4 Joints de démontage :

En pratique, on rencontre des manchons à bouts lisses des deux extrémités, à deux emboîtements, à emboîtement et bout lisse, à deux brides, à bride et bout lisse, à emboîtement et bride. On les rencontre surtout au niveau des montages des appareils accessoires (vannes, clapet...) et au niveau de certains joints.

VII-10 Conclusion :

La maîtrise de la pose de canalisation est primordiale dans une étude d'adduction en eau potable. Une pose mal faite sera à l'origine des fuites excessives dans le réseau qui entraîneront par la suite des infiltrations nocives et une dégradation de tout le réseau. Des essais d'étanchéités et de pressions seront obligatoires pour détecter d'éventuelles fuites au niveau des joints ou des conduites avant le remblaiement définitif.

Dans ce chapitre, les différentes poses de canalisation utilisées dans notre mémoire ont été considérées. Les accessoires correspondants ont été énumérés.

Chapitre VIII :

Evaluation du prix d'un mètre cube d'eau démminéralisée

VIII-1- Introduction :

Le dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres est limité aux coûts d'investissement et d'exploitation de ces stations et donc au prix de revient du mètre cube (m^3) d'eau produit :

Dans une publication des nations unis « ressources naturelles /série eau n° 21 (1989), il est noté : « Malgré les prédictions faites dans les années 60, les coûts de l'eau dessalée n'ont pas diminué bien qu'ils soient en certaine mesure stabilisée au cours des années 1980, avec le développement du prix de pétrole depuis 1970, auquel s'ajoutent les taux élevés d'intérêt et d'inflation des prix de matériaux, la plupart des projets de dessalement dépassent actuellement les moyens de la grande majorité des collectivités des pays en développement » [6]

VIII-2Composition du prix d'un mètre cube d'eau dessalée :

Le coût du mètre cube d'eau dessalée se compose de différents pourcentages affectés à plusieurs désignations, comme suit :

Tableau VIII-1 : Composition du coût d'un mètre cube dessalée [2]

Désignation	Taux en %
Energie	34
Coût d'exploitation	12
Produits chimiques	03
Entretien/renouvellement	10
Frais administratifs	09
Amortissement	32
Total	100

VIII-3- Prix de revient du mètre cube d'eau dessalée :

Il est influencé par plusieurs facteurs :

a. Facteurs liés au site de l'installation :

- Qualité de l'eau d'alimentation :

La qualité de l'eau brute nous renseigne sur le type de prétraitement adéquat ;

- Température de l'eau d'alimentation ;
- Prix d'énergie ;

Suivant la disponibilité de l'énergie, le prix d'un mètre cube d'eau dessalée peut varier considérablement, le coût d'énergie est très élevé pour des sites isolés.

b. Facteurs liés à l'usine :

Sont en fonction du type de procédé de dessalement, pour l'Électrodialyse on énumère :

- Facteurs d'ordres techniques :
 - Volume d'eau produit ;
 - Qualité de l'eau produite ;
 - Type de perméateurs utilisés ;
 - Pression d'alimentation ;
 - Taux d'exploitation, de conversion et de dosage chimique.
- Facteurs d'ordres économiques :
 - Prix de l'énergie et des équipements ;
 - Frais d'exploitation ;
 - Taux d'amortissement ;
 - Durée de construction et d'amortissement.

c. Coûts des projets de dessalement :

Ce coût est principalement engendré par :

1. Coût d'investissement :

- Coût de génie civil :

L'usine de dessalement doit supporter et abriter le poids total des différents équipements ;

- Coût de prise d'eau : c'est le coût de pompage de l'eau ;
- Coût des équipements :

Ces équipements couvrent :

- Equipements électriques ;
- Canalisations et vannage ;
- Pompes : pompage d'alimentation, de production, de mise en pression, pompage de recirculation...etc.
- Coût du système de contrôle :

Toute station est équipée par un système de contrôle automatique central, dans le but de réduire les coûts de maintenance et le maintien de niveau de prétraitement ainsi que celui des

performances affectées par le colmatage, d'autre part de contrôler la vitesse et la température et d'avoir le maximum de souplesse et le minimum de risque de panne.

- Coût auxiliaire :

On trouve celui du chauffage, du système de décharge des déchets chimiques et du système de refroidissement de l'eau.

2. Coût d'exploitation :

- Coût de la main d'œuvre ;
- Coût de remplacement des membranes défectueuses ;
- Frais d'entretien et de maintenance ;
- Coût de consommation des produits chimiques dans le prétraitement et le poste traitement ;
- Coût de la consommation énergétique : elle représente une partie importante du coût d'exploitation, elle est liée :
 - Au pompage de l'eau brute à partir de la prise d'eau ;
 - Au système de prétraitement ;
 - A la pompe haute pression ;
 - Au pompage de l'eau produite ;
 - A la recirculation ;
 - Consommations diverses.

VIII-4- Estimation du prix de revient : [2]

Le prix de revient du m³ d'eau dessalée est la somme des éléments qui le constituent, ainsi on note :

VIII-4-1- Frais d'investissement :

Les frais d'investissement englobent les coûts des équipements électromécaniques et des travaux de génie civil.

$$I = E + G$$

E : coûts des équipements ;

G : coût du génie civil.

a. Equipements :

- Coûts du filtre à sable : 35890560DA
- Coûts du filtre à cartouches : 143313DA
- Fourniture et montage des systèmes de raccordements de la prise d'eau et réservoir de stockage = 791960000 DA.

- Poste de dessalement : le prix d'une pile de capacité de $946\text{m}^3/\text{j}$ est l'ordre de 105600,15 \$ US [17],
- avec : 1\$ qui équivaut 70 DA actuellement, d'où le prix d'une pile est estimé à 7392010.5

Dans notre station on a 30 piles $P = 7392010,5 \times 30 = 221760315$ DA.

- Transformateur SONELGAZ : Fournitures et installation des groupes électrogènes : Ce qui donne un transformateur SONELGAZ de : 4988500000 DA.
- Equipements électromécaniques : 4899000000 DA ;
- Equipements de laboratoire : 225224181 DA.
- Equipements électriques divers : 86453045 DA

Donc :

$$E = 143313 + 35890560 + 791960000 + 221760315 + 4988500000 + 4899000000 + 225224184 + 86453045$$

$$E = 11248931417 \text{ DA}$$

b .Génie civil :

- Bâti béton armé ;
- Charpente métallique ;
- Cloisonnement.

$G = 214800000$ DA.

On aura ainsi le coût d'investissement :

$$I = E + G = 11248931417 + 214800000$$

$$I = 11463731417 \text{ DA.}$$

VIII-4-2- Frais d'exploitation :

Ces frais sont constitué des :

- Coûts des produits chimiques : C (DA/j);
- Coûts d'énergie : W (DA/KWh/j);
- Coûts de la main d'œuvre : MO ;
- Coûts de remplacement des membranes (tous les 3 ans) : M ;
- Coût de remplacement des cartouches (tous les 3 mois) : F.

On aura donc :

$$E_x = W + MO + F + C$$

Avec : $W = W_{cep} + W_d$

W_{cep} : Coûts d'énergie consommée par toutes les piles (DA/j) ;

W_d : Coûts d'énergie consommée par divers équipements électriques (DA/j) ;

W_{cep} : Energie de consommation journalière. Prix unitaire de KWh

$$W = 0.76 * 28320 * 4.17 + 116733.308 = 206485.052 \text{ DA};$$

$$MO = 145289 \text{ DA};$$

$$F = 5601.78 \text{ DA};$$

$$C = 16436 \text{ DA};$$

$$E_x = 373811.832 \text{ DA/j.}$$

VIII-4-3- Charges financières :

- Amortissement 20 ans ; 11463731417 DA
- Annuité d'exploitation (selon inflation) = 6 % ;
- Charge d'exploitation. $B = A + E_x + 0,06 A$

$$\text{Avec } A = \frac{I}{365.24} = \frac{11463731417}{365.24} = 3138645.14 \text{ DA/j.}$$

$$\text{Donc : } B = A + E_x + 0,06 A$$

$$B = 3138645.14 + 373811.832 + 0,06 \cdot 3138645.14$$

$$B = 3826262.01 \text{ DA/j}$$

VIII-4-4- Prix du mètre cube d'eau dessalée :

Notre projet consiste à déminéraliser une eau salée à partir de 3 forages totalisant un débit de 28320 m³/j destinée à l'alimentation de la ville d'Oran.

$$P = \frac{B}{Q_{PT}}$$

$$P = \frac{3826262.01}{28320} = 135.11 \text{ DA/m}^3.$$

$P = 62.18 \text{ DA/m}^3$

Conclusion générale

Conclusion Générale :

Dans le cadre de la stratégie de dessalement retenue par l'Algérie, notre étude a porté sur le dimensionnement d'une installation de déminéralisation des eaux saumâtres de Bredeah par électrodialyse, en vue de l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran, pour cela :

- ✓ On a présenté la situation de l'Algérie en matière de ressources en eau, nous avons défini les différents procédés de dessalements et de déminéralisations, puis présenté le procédé de l'électrodialyse.
- ✓ Afin de protéger les membranes, nous avons envisagé un prétraitement adéquat qui permet d'allonger la durée de vie des membranes et d'assurer un bon fonctionnement du système. Pour cela nous avons déterminé les paramètres les plus importants dans une chaîne de prétraitement.
- ✓ Nous avons ensuite dimensionné la station par le procédé de dessalement l'électrodialyse ;
- ✓ Nous avons aussi dimensionné l'adduction qui est de longueur 20 Km, et qui permet le transfert d'eau de la station de déminéralisation vers les deux réservoirs de Ain El baida de capacité 50 000 m³ pour chacun.
- ✓ Et nous avons ensuite accompli l'étude économique par l'évaluation du coût du mètre cube d'eau déminéralisé.

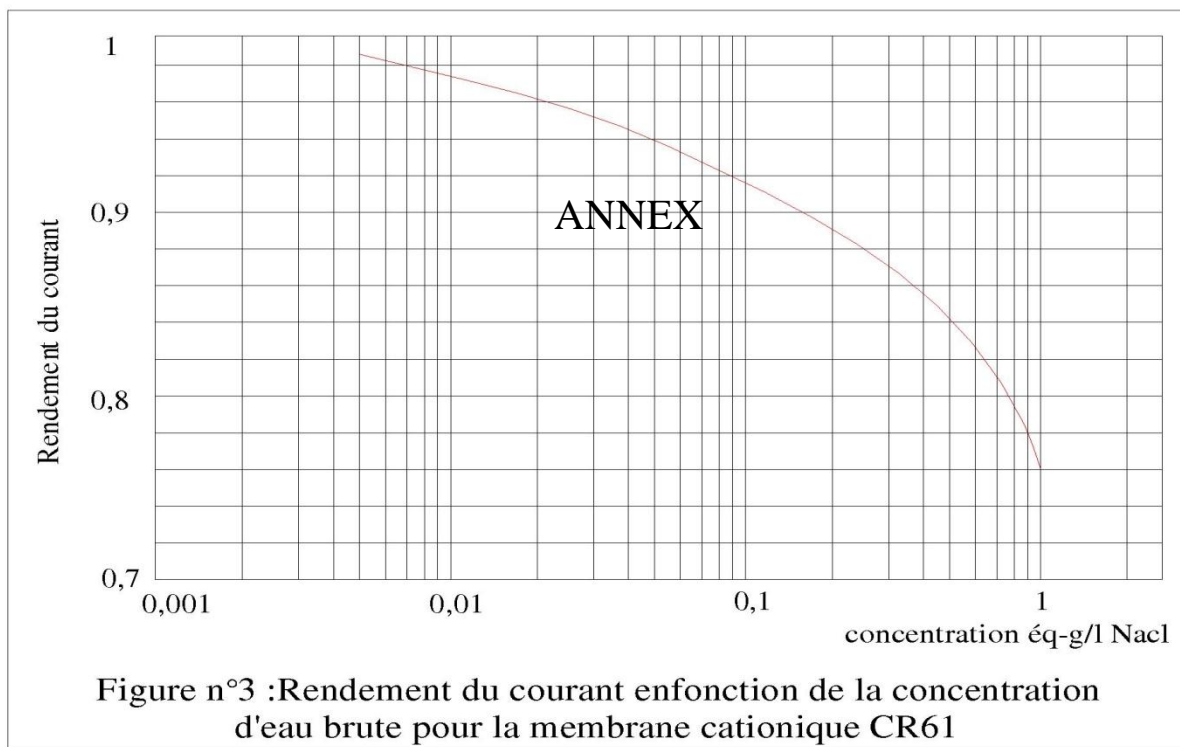
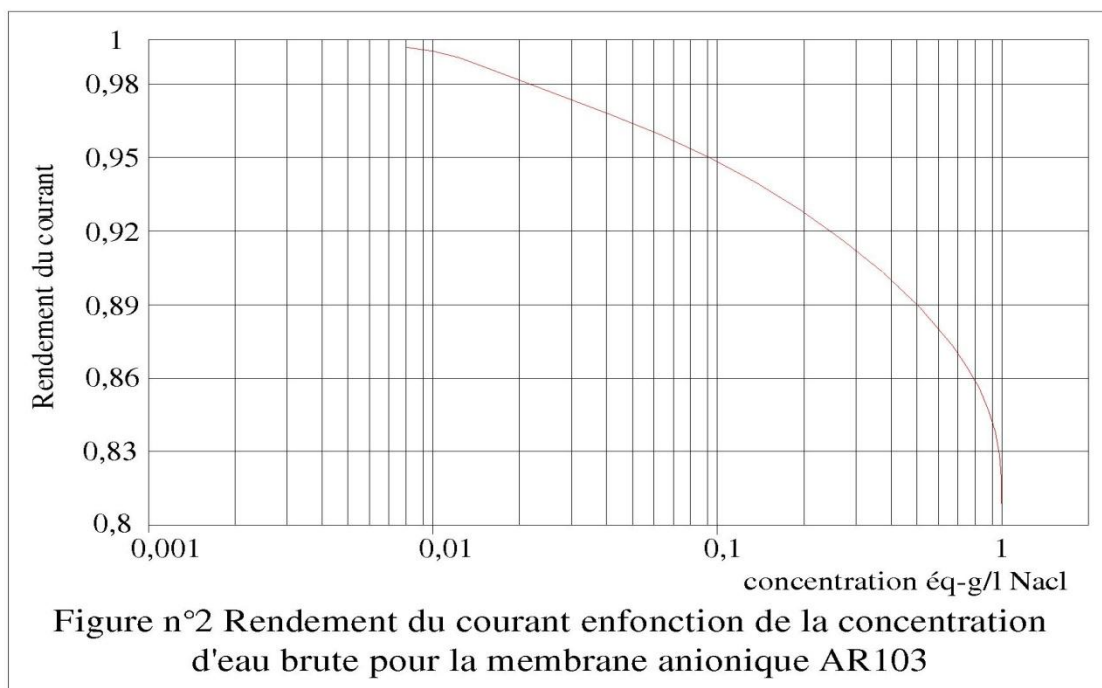
Notre étude confirme que le procédé d'électrodialyse, est très rentable pour des eaux saumâtres mais pas pour des eaux de mer, dont la teneur en sel est trop élevée.

Bibliographiques

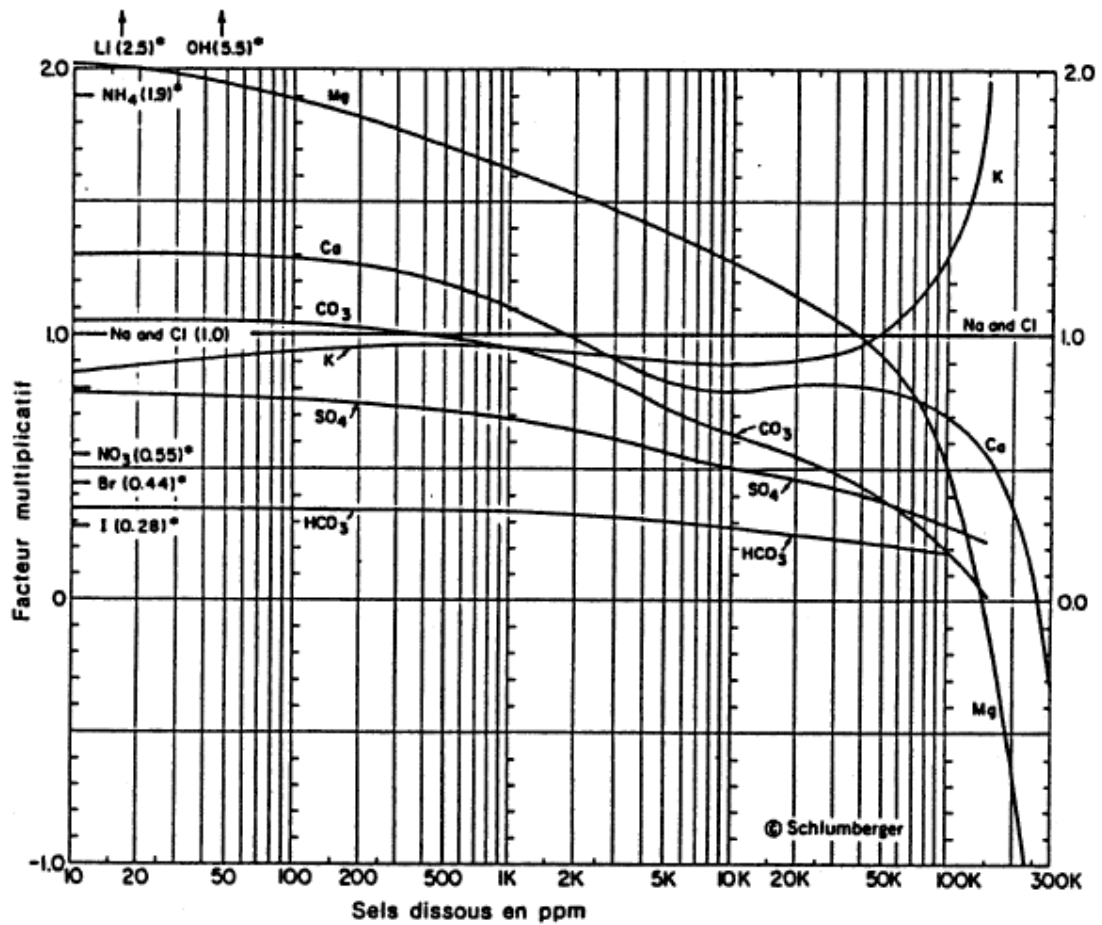
- [1] - **A.D.E** « Dessalement en Algérie », Situation actuelle et programme de développement
- [2] – **A.MAUREL**, « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce » éditions Technique & Documentation, 2001.Pages 17-18-21.
- [3]- **A.N.R.H** « Bilan des ressources en eau en Algérie »2005.
- [4]-. **BELKACEMI et CHIKHI**, « Etudes comparative de deux procédés de Dessalement d'eau saumâtre » thèse PFE, janvier 1983.. Pages 39-40-41.
- [5]- **G.MUTIN**« L'eau dans le monde arabe »: enjeux et conflits, éditions Ellipses 2000 Pages 19-20.
- [6]- **I.S.AL MUTAZ, MA.SOLIMAN and A.M DAGHTEM**, optimum design for hybrid desalting plant, desalination n°76, 1989.Pages 36-38-39.
- [7]-L'office national de météorologie (O.N.M), données météorologiques 2011.
- [8]- Mémento technique de l'eau Tome I » **Degrémont**, 1995.chapitre 07 pages 601
- [9]-**PH.APTEL**, «Techniques de l'ingénieur », (OI, NF, UF) application en traitement des eaux, W4120- (2-3).
- [10]-« Plan directeur d'aménagement des ressources en eau » Rapport de synthèse Décembre 2009 pages 27-29.
- [11]- **R.DESJARDINS** « le traitement des eaux » 2^{ème} édition de l'école polytechnique de Montréal, 1990. Pages 94-95.
- [12]-**S.BOUALEM** « Cours d'Alimentation en eau potable ». E.N.S.H 1993
- [13]-**S.BAHLOUS ELOUAFI** –livre hydraulique-Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Rades(2002)-Pages 61-62-63-64.
- [14]-V. JACQUET VIOLLEAU, Déminéralisation par électrodialyse en présence d'un complexant application au lactosérum, Thèse doctorat,INP, Toulouse, 1999. Pages 10-11.**

Sito-graphiques

- [15]- « L'électrodésionisation de l'eau (EDI) », <http://www.lenntech.com.espanol.images-EDI> (date de consultation avril 2012).
- [16]- « La méthode de Dessalement par distillation » <http://www.e.monsite.com-tpe2007ssi-distillation>.(date de consultation décembre 2009).
- [17]-« Eau mer pour eau potable », <http://www.afrikeco.com/article/economie.php3?article=8400> (date de consultation en janvier 2011).



ABAQUE 1: Résistivité des filtrats et des eaux de formation



Exemple de calcul:

Ions	Concentration en ppm	facteur correctif	équivalent NaCl en ppm
Na ⁺	10	1	10
Ca ⁺⁺	3	1,3	3,9
Mg ⁺⁺	0,8	1,95	1,56
Cl ⁻	6	1	6
HCO ₃ ⁻	29,3	0,35	10,25
Salinité	49,1	Salinité en équivalent NaCl	31,71

Figure 1.6 ABAQUE 2: Résistivité des filtrats et des eaux de formation

ABAQUE

DE M. VIBERT

POUR LE CALCUL SIMPLIFIÉ
DES RÉSERVOIRS D'AIR

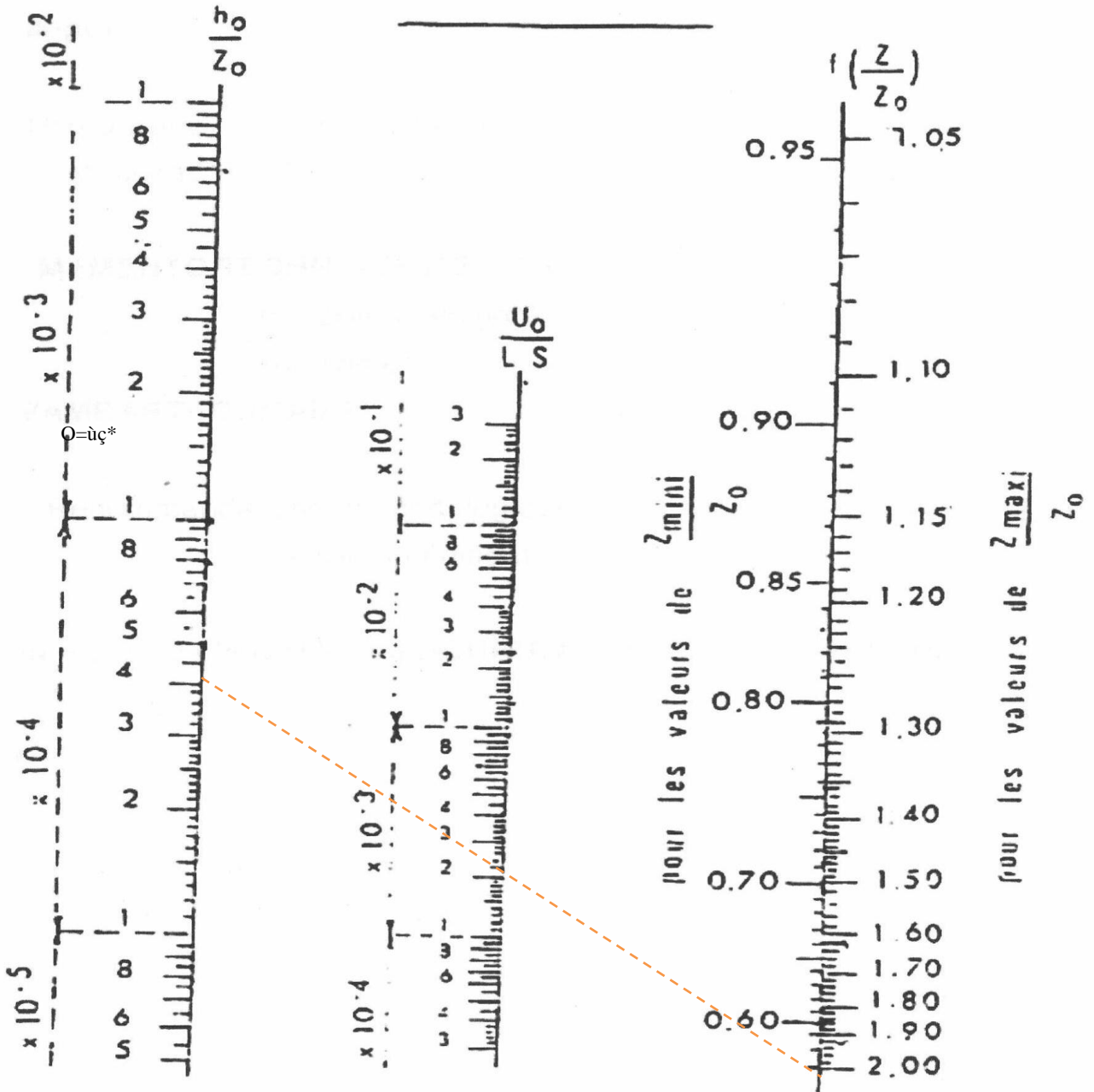


PLANCHE XXVII

Annexe N°03 : calcul du volume des réservoirs d'air méthode de (VEBERT)