

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة سعد دحلب البليدة

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA



Faculté des Sciences.  
Département de chimie industrielle.

**Mémoire pour l'obtention  
Du diplôme de Master 2 en chimie industrielle  
Option : Chimie des sciences de l'environnement**

**Sujet :**

**Modélisation de la station d'eau ultra-pure  
du CDTA**

Présenté par : **Mme Samia Kaloune - Brahimi**

Encadreur : **Dr. Sofiane SOUKANE**

**Soutenance devant le jury**

Mr. K.CHANANE

Maître A

Président

Mme S.OUZANI

Maître A

Examinatrice

Mr. AM. DJEGHDJEGH

Maître A

Examineur

- 2010/2011-

## Résumé

Le développement continu de l'industrie des semi-conducteurs a vu l'émergence de plusieurs technologies de fabrication de circuits intégrés. La technologie CMOS 1micron, adoptée pour la fabrication des circuits intégrés au niveau de la centrale technologique du Centre de Développement des Technologies Avancées CDTA, nécessite plusieurs utilités pour son fonctionnement, en l'occurrence le traitement de l'eau ultra-pure (EUP), sur lequel se concentre ce travail. Dans ce projet, nous nous sommes intéressés à établir une représentation simple et pratique de la production en EUP au sein de la centrale technologique du CDTA. Notre contribution a porté sur un effort de développer un modèle mathématique correspondant, selon les caractéristiques propres du système. A partir du modèle développé, des abaques ont été tracées afin de déduire le taux de consommation de l'eau ultra pure en fonction des variations de la vitesse de changement du niveau de stockage d'eau, et ce, avec l'objectif de satisfaire la demande en EUP. Afin d'être concurrentiel sur le marché, il est nécessaire d'obtenir une production peu coûteuse de circuits intégrés en réduisant les coûts de fonctionnement et d'entretien de l'usine de production. Dans une perspective d'optimisation, un effort a été développé pour établir les fonctions coûts des différents équipements constituant l'unité de production d'EUP.

## Abstract

The continued development of the semiconductor industry has seen the emergence of several manufacturing technologies of integrated circuits. 1micron CMOS technology, adopted for the manufacture of integrated circuits at the technology center of the Center for Development of Advanced Technologies CDTA, requires several utilities for its operation, in this case the treatment of ultrapure water (EUP), which focuses on the work. In this project, we were interested to establish a simple and convenient representation of the production of EUP in the technology center of the Center for CDTA. Our contribution has focused on an effort to develop a mathematical model, according to the characteristics of the system. From the model developed, the charts were plotted to derive the rate of consumption of the ultra pure water according to changes in the rate of change in the level of water storage, and this, with the aim of satisfying demand for EUP. To be competitive in the market, it is necessary to obtain a low-cost production of integrated circuits by reducing operating costs and maintenance of the plant. From the perspective of optimization, an effort was developed to establish the cost functions of different equipment in the unit production of EUP.

## ملخص

شهد التطوير المستمر لتقنيات تصنيع أشباه الموصلات ظهور تكنولوجيات الدوائر المتكاملة، من بينها، تكنولوجيا 1micron CMOS التي اعتمدت لصناعة الدوائر المتكاملة في المحطة التكنولوجية لمركز تنمية التكنولوجيات المتطورة CDTA. هذه الأخيرة، تتطلب العديد من المرافق الهامة لعملها، من ضمنها معالجة المياه الفائقة النقاء EUP. يركز العمل المقدم في هذه الدراسة، على معالجة المياه الصالحة للشرب، لاستخلاص المياه الفائقة النقاء EUP، حيث ركزنا على إنشاء تمثيل بسيط و تطبيقي لصناعة المياه الفائقة النقاء EUP بمركز تنمية التكنولوجيات المتطورة CDTA. وقد تركزت مساهمتنا في محاولة لتطوير نموذج رياضي، وفقا لخصائص النظام، من خلال هذا النموذج المطور، تم رسم خرائط لاستخلاص معدل استهلاك المياه الفائقة النقاء وفقا للتغيرات في معدل التغير في مستوى تخزين المياه، وذلك بهدف تلبية الطلب على المياه الفائقة النقاء EUP. لتكون قادرة على المنافسة في السوق، فمن الضروري الحصول على إنتاج منخفض التكلفة للدوائر المتكاملة عن طريق خفض تكاليف التشغيل والصيانة للمصنع. من منظور التحسين، وقد وضعت محاولة لتحديد وظائف تكلفة معدات مختلفة في وحدة إنتاج المياه الفائقة النقاء EUP.

# Remerciements

*Au terme de ce modeste travail ; je tiens à remercier Dieu pour le courage et la volonté sans lesquels mon travail n'aurait jamais vu le jour.*

*Le travail présenté dans ce mémoire, a été effectué au Centre de Développement des Technologies Avancées (CDTA) situé à Baba Hassen, à Alger.*

*J'exprime au départ ma profonde reconnaissance à mon encadreur, Mr SOUKANE sofiane, pour avoir bien voulu encadrer ce travail. Je le remercie pour le rôle de guide qu'il a su accomplir tout au long de mon mémoire de master II, ces précieux conseils ainsi que pour ses subtiles orientations et ses encouragements.*

*Je tiens à remercier :*

- *Monsieur Brahim BOUZOUIA, Directeur du CDTA, de nous avoir permis d'effectuer ce MASTER, et pour tous les moyens qu'il a mis à notre disposition pour la réussite de notre travail.*
- *Le recteur de l'Université Saad Dahlab de Blida, ainsi que le doyen de la faculté des sciences, Mr M. BENZINNA, et le doyen de la faculté des sciences de l'ingénieur Mr A. AOUBABED de nous avoir permis de nous inscrire en post graduation au sein de son Université pour l'obtention du diplôme de Master 2.*
- *J'adresse mes remerciements à Mr le président de jury pour avoir accepté de présider ma soutenance de mémoire. Mes remerciements iront également aux autres membres du jury, pour avoir bien voulu en faire partie et pour l'attention qu'ils ont accordé à ce document.*
- *Mes vifs remerciements vont aussi à Monsieur AALMABOUDA fatah, chercheur au CDTA, pour sa disponibilité, son aide, et son encouragement qui n'a jamais cessé.*
- *Melle Zohra GACEM, responsable du service de la formation continue, perfectionnement et du recyclage du CDTA, pour avoir suivi mon dossier d'inscription auprès de l'Université Saad Dahlab de Blida.*
- *Je ne manquerai pas de remercier Mon époux Monsieur Hakim Brahimi, pour m'avoir aidé et encouragé à mener à terme ce travail.*
- *Mes remerciements vont aussi à Melle Samia OURLARI, maitre de recherche B au CDTA, pour son aide et ces chaleureux conseils.*
- *Je remercie Mr Boualem DJEZZAR et Mr abdrzak SMATTI Chargés de recherche au CDTA, pour leur aide et précieux conseils.*
- *Je tiens à remercier tous mes amis qui ont contribué de prêt ou de loin dans la réalisation de ce projet.*

# Dédicaces

*Je dédie le présent mémoire :*

*A mes chers parents pour leur amour, leur affection, leurs souffrances et sacrifices, ainsi que pour leurs encouragements tout au long de mes études, que ce travail soit pour eux témoignage de ma profonde reconnaissance et mon affection la plus chaleureuse*

*A mon époux Hakim et mes enfants neyla khadidja, nour iman, mohamed anis pour leurs encouragements et soutien, et surtout leur patience,*

*A mes sœurs et frères, ma tante et mes oncles, ma belle mère et mon beau père, mes belles sœurs et mes beaux frères, mes neveux et nièces, mes cousins et cousines et à tous mes amis, pour leur soutien.*

*A tous ceux et celles que j'aime de près comme de loin.*

***Mme Samia Kaloune Epouse Brahimi***

## Liste des tableaux

Tableau I.1- Spécifications de l'eau ultra pure.

Tableau I.2 - Spécifications de l'eau ultra pure en fonction de la technologie.

Tableau I.3 - Classification des salles blanches (norme US).

Tableau II.1 - Seuils de filtration usuels.

Tableau II.2 - Spécification de l'eau selon sa dureté.

Tableau II.3 - Liste des équipements principaux de l'unité de production de l'EUP du CDTA.

Tableau II.4 - la liste des différentes pompes utilisées dans l'installation de l'usine d'EUP

Tableau II.5 - Les fonctions variables des frais d'exploitation.

Tableau III.1 – Consommation d'eau dans la zone photolithographie.

Tableau III.2 – Consommation d'eau dans la zone gravure sèche

Tableau III.3 – Consommation d'eau dans la zone gravure humide.

Tableau III.4 – consommation d'eau dans la zone backend.

Tableau III.5 – Consommation d'eau dans l'atelier propre.

Tableau III.6 – Consommation totale d'eau.

## Liste des figures

Figure I.1 - Photo de la façade nord de la salle blanche CDTA.

Figure II.1 - Pré-requis pour la mise en place d'une chaîne de production d'eau ultra pure.

Figure II.2 - Photo de l'équipement E.U.P

Figure II.3 - Conception de l'unité de production d'eau ultra pure

Figure II.4 - Procédé d'osmose inverse

Figure II.5 - Une membrane d'osmose inverse.

Figure II.6 - Système à résine cationique et anionique

Figure II.7 - Échangeur d'ions à lit mélangé.

Figure II.8 - Schéma d'un système de désinfection UV.

Figure II.9 - Photo des types de Filtres

Figure II.10 – Mode de fonctionnement du réservoir d'osmose inverse

Figure III.1 - Schéma de l'unité de production de l'EUP.

Figure III.2 - Taux de consommation de l'eau en fonction de la vitesse de changement du niveau du réservoir de stockage d'OI.

Figure III.3 - Taux de consommation de l'eau en fonction de la vitesse de changement du niveau du réservoir DI.

Figure III.4 - Mode de fonctionnement des deux réservoirs en même temps



## Table des matières

Introduction générale.....	08
CHAPITRE I. L'eau ultra-pure dans la technologie CMOS 1 micron.....	13
I.1 Introduction.....	14
I.2 L'eau brute et ses impuretés .....	14
I.3 L'eau ultra pure.....	15
I.3.1 Spécifications de l'eau ultra purifiée .....	15
I.3.2 Mesure de la qualité de l'eau ultra pure.....	16
I.3.3 Spécifications et concept de traitement de l'eau ultra pure .....	16
I.4 Technologies des salles blanches.....	17
I.4.1 Définition d'une salle blanche .....	17
I.4.2 Les différentes classes de "salles blanches".....	19
I.4.3 Les salles blanches en industrie .....	19
I.4.4 La sécurité dans la salle blanche .....	20
I.5 La salle blanche du CDTA.....	20
5.1.1 Description du procédé CMOS 1 $\mu$ m .....	20
I.6 Conclusion .....	22
CHAPITRE II. la production de l'eau ultra pure .....	23
I.7 Introduction.....	24
I.8 L'usine d'eau ultra pure .....	24
I.8.1 La filtration .....	28
I.9 Mode de fonctionnement de l'usine d'EUP.....	40
I.10 Liste des équipements et consommables pour l'usine d'EUP .....	42
I.10.1 Liste des équipements principaux .....	42
I.11 Conclusion .....	45
CHAPITRE III. Modélisation du procédé d'EUP.....	46
I.12 Introduction.....	47
I.13 Bilan de consommation de la centrale technologique du CDTA.....	47



I.13.1	Zone photolithographie.....	47	
I.13.2	Zone diffusion.....	48	
I.13.3	Zone dépôt couche mince /Metal/ PVD.....	48	
I.13.4	Zone Implantation :.....	49	
I.13.5	Zone gravure sèche .....	49	
I.13.6	Zone nettoyage et gravure humide.....	49	
I.13.7	Zone backend.....	50	
I.13.8	Zone Atelier propre.....	51	
I.13.9	Consommation totale .....	51	
I.14	Développement d'un modèle pratique pour l'évaluation de la capacité du système d'EUP		52
I.14.1	Réservoir perméable de l'eau osmosée .....	55	
I.14.2	Réservoir perméable de l'eau DI (eau déionisée).....	56	
I.14.3	Fonctionnement simultané des deux réservoirs .....	57	
I.15	Conclusion .....	58	
	Conclusion générale.....	60	
	Annexes .....	63	
	Schéma de l'installation de l'usine E.U.P.....	64	
	Les consommables.....	65	
	Analyse physicochimique de l'eau, année 2008 .....	66	
	Analyse Bactériologique de l'eau, année 2008.....	67	
	Analyse physicochimique de l'eau, année 2011 .....	68	
	Analyse Bactériologique de l'eau, année 2011.....	69	
	Analyse de la toc et la tds de l'eau, année 2011 .....	70	

# **INTRODUCTION GENERALE**

## Introduction générale

L'eau est indispensable à la vie. Elle est indissociable de l'activité humaine et très souvent, elle est au cœur de nombreuses activités économiques. La qualité de l'eau utilisée dépend des exigences des usagers. Aujourd'hui, le traitement de l'eau est un domaine à la frontière de plusieurs disciplines : la chimie ainsi que la mécanique en joue un rôle primordial, et pour les installations d'une certaine importance on compte aussi, le génie civil. La pureté de l'eau potable semble évidente. Pourtant, alors que le particulier qualifie de « pure » l'eau de son robinet, le scientifique, dans son laboratoire et l'industriel, sur sa chaîne de production, la considèrent comme particulièrement contaminée. Il est donc nécessaire de développer des technologies pouvant répondre aux exigences des chercheurs et des industriels en termes de pureté de l'eau. Par définition, « purifier l'eau » signifie retirer de l'eau toutes les impuretés qu'elle contient, tels que les contaminants, les bactéries ou les microorganismes[1] .

La purification de l'eau regroupe l'ensemble des techniques et méthodes permettant d'obtenir de l'eau destinée à des procédés chimiques à partir de l'eau potable. Signalons que l'eau de procédé peut avoir différents noms et différentes caractéristiques, selon le type d'industrie et d'application. On parlera par exemple d'eau purifiée pour préparation injectable (EPPI) dans l'industrie pharmaceutique et d'eau ultra-pure (EUP) ou d'eau 18 Megohm en micro-électronique dans la fabrication de circuits intégrés. La production de l'eau ultra pure, requiert l'utilisation de chaînes de traitement qui peuvent être plus ou moins complexes et coûteuses, et les étapes qui doivent être effectuées dépendent du type d'impuretés présentes dans l'eau. Ainsi suivant l'eau que nous souhaitons traiter, le processus de purification peut être différent. L'industrie des semi-conducteurs, domaine d'application de notre étude, utilise de l'eau ultra-pure avec des niveaux de polluants extrêmement bas pour des applications telles que le traitement des plaquettes, la fabrication de moniteurs à écran plat ou de lecteurs de disques de précision.

L'eau ultra-pure est en contact direct avec les plaquettes de silicium pendant leur fabrication. Elle est essentiellement utilisée pour le lavage et rinçage des composants en silicium, et la production de vapeur pour l'oxydation des plaquettes en silicium. Aujourd'hui, et vu l'importance croissante de la technologie des semi-conducteurs dans le monde, et afin d'être concurrentiel sur le marché, il est évidemment nécessaire d'essayer toujours d'obtenir

une production peu coûteuse de plaquette, en réduisant les frais financiers ainsi que les coûts de fonctionnement et d'entretien de l'usine de fabrication. Il en découle qu'il est ainsi important de réduire le coût de production de l'eau ultra pure, considérée 10 fois plus chère que l'eau de ville [2].

Notre travail s'incruste dans le cadre d'un projet national, proposé par la division Microélectronique & Nanotechnologie du CDTA, qui s'intéresse à la fabrication des semi-conducteurs, en se basant sur la technologie CMOS 1micron. L'équipe de recherche est dotée d'une salle blanche dont la mission est de fabriquer des circuits intégrés. Cette salle blanche est dotée de différentes utilités nécessaires pour son fonctionnement, en l'occurrence le traitement de l'eau. Les travaux menés dans ce mémoire, s'intéressent donc au procédé de traitement de l'eau ultra pure. L'objectif est de développer un modèle mathématique du système EUP pour permettre aux ingénieurs d'estimer rapidement la consommation d'EUP en cours et vérifier si le régime de production d'EUP actuel est proche d'un fonctionnement optimal.

Ce présent manuscrit est organisé en trois chapitres :

Le premier chapitre présente le contexte dans lequel s'inscrivent nos travaux. Nous rappelons quelques définitions et concepts relatifs à l'eau ultra pure et son utilisation dans l'industrie des semi conducteurs. Puis nous donnons un bref aperçu sur les salles blanches et la technologie CMOS 1 micron, utilisée dans la fabrication des cartes à puce et implémentée au sein de la centrale technologique du CDTA.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons le processus de production d'eau ultra pure de la centrale technologique du CDTA qui constitue le champ d'application de notre étude, puis, nous expliquerons par la suite les différentes étapes du procédé de purification. Nous avons aussi abordé une première étape d'optimisation par le recensement des équipements et consommables de l'unité de production suivie par une recherche des fonctions coût relatives.

Nous présentons dans le troisième chapitre la partie modélisation de notre travail. Une étape cruciale dans ce chapitre concerne l'évaluation de la consommation globale de la centrale technologique pour la production des transistors 1 micron. Selon les caractéristiques propres du système EUP de la centrale technologique, nous avons établi le modèle mathématique correspondant. A partir du modèle développé, des abaques sont tracées afin de connaître le taux de consommation en fonction des changements du niveau de stockage d'eau,

et ce, avec l'objectif de satisfaire la demande de consommation en EUP tout en minimisant les pertes.

Nous concluons notre travail en résumant les principaux résultats obtenus, et proposons quelques recommandations et perspectives.

**L'EAU ULTRA-PURE DANS LA  
TECHNOLOGIE CMOS 1 MICRON**

## **I.1 INTRODUCTION**

L'eau est omniprésente dans l'industrie. Elle peut être un constituant essentiel dans le processus de fabrication et ses étapes de nettoyage, ou bien utilisée dans les utilités industrielles telles que les opérations de refroidissement [3].

L'industrie des semi-conducteurs, consomme de l'eau ultra-pure avec des degrés de polluants généralement bas pour la fabrication des circuits intégrés. Cette eau sera en contact direct avec les plaquettes durant les étapes de rinçage des composants électroniques.

Pour notre projet CMOS 1 micron, en cours de finalisation à la centrale technologique du CDTA, l'eau ultra pure, est utilisée aux différentes phases de production, à savoir :

- La préparation des masques.
- L'opération de rinçage, de nettoyage et de gravure humide.
- La production de vapeur pour l'oxydation humide.

La qualité de l'eau, en relation directe avec les taux de rebut des circuits intégrés, est d'une importance critique pour le procédé de production. La demande mondiale croissante des circuits intégrés stimule grandement la production de plaquettes. Une croissance annuelle de 16% a été observée cette dernière décennie avec des ventes estimées à 140 milliards de dollars en 2000[4].

Dans ce chapitre, nous allons définir l'eau ultra pure, son utilisation dans l'industrie des semi conducteurs, ainsi nous allons donner un bref aperçu sur les salles blanches et la technologie CMOS 1 micron, implémentée au sein de la centrale technologique du CDTA.

## **I.2 L'EAU BRUTE ET SES IMPURETES**

L'eau est à la base de toute forme de vie et possède la propriété de dissoudre dans une certaine mesure une large gamme de composants chimiques. Cependant, elle contient beaucoup de contaminants dont les principaux sont :

- Les particules en suspension, y compris les colloïdes.

- Les sels inorganiques dissous.
- Les micro-organismes.
- Les pyrogènes.
- Les gaz dissous.

### I.3 L'EAU ULTRA PURE

#### I.3.1 Spécifications de l'eau ultra purifiée

Le tableau I.1, présente les spécifications de l'eau ultra pure, utilisée pour la fabrication des semi-conducteurs.

Item	Spécification	Unité
Résistivité à 25 C	> 18.2	M.Ω.cm
Particules > 0,1 micron	< 10	#/ml
TOC	< 20	ppb
Silice dissous	< 5	ppb
Na	< 0,5	ppb
Ca	< 0,5	ppb
K	< 0,5	ppb
Mg	< 0,5	ppb
F	< 0,5	ppb
Fe	< 0,5	ppb
Ni	< 0,5	ppb
Al	< 0,5	ppb
Cu	< 0,5	ppb
Zn	< 0,5	ppb
Cl	< 0,5	ppb
SO <sub>4</sub>	< 0,5	ppb

Tableau I.1 - Spécifications de l'eau ultra pure [5].



### I.3.2 Mesure de la qualité de l'eau ultra pure

Les sels minéraux en solution représentent un mélange de cations et d'anions. Ils conduisent un courant électrique quand une tension est appliquée entre deux électrodes placées dans la solution. Plus il y a d'ions plus l'intensité du courant est grande et plus la conductivité augmente (la résistivité diminue). La conductivité est exprimée en micro-siemens par centimètre ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et peut être utilisée pour mesurer la qualité de l'eau. La résistivité est l'inverse de la conductivité, elle s'exprime en mégohm par centimètre ( $\text{M}\Omega.\text{cm}$ ) et reste l'unité la plus utilisée pour mesurer la qualité de l'eau ultra pure. La conductivité et la résistivité varient en fonction de la température. A  $25^\circ\text{C}$ , l'eau ultra pure a une résistivité théorique de  $18.2 \text{ M}\Omega.\text{cm}$ , (soient une conductivité de  $0,055\mu\text{S}/\text{cm}$ ) due à la présence d'ions hydrogène et hydroxyle[6].

### I.3.3 Spécifications et concept de traitement de l'eau ultra pure

Les objectifs d'un système de production d'eau ultra pure sont [6]:

- D'éliminer les bactéries présentes dans l'eau brute.
- D'éviter la recontamination bactérienne dans le système.
- D'inhiber la croissance dans le système.
- De produire une eau de qualité bactériologique compatible avec le procédé.

Les principales impuretés à éliminer sont les matières en suspension (MES), les particules, les bactéries, le carbone organique total (COT), l'oxygène dissous, l'ensemble des ions, dont les plus difficiles: la silice et le bore. Le tableau I.2 précise les niveaux tolérés d'ions en ppb et jusqu'en ppt ( $1\text{mg par } 1000 \text{ m}^3$ ) [7].

Structure ( $\mu\text{m}$ )		0,9	0,7	0,5	0,35	0,25	0,13
DRAM		1M	4M	16M	64M	256M	1G
Résistivité à $20^\circ\text{C}$	$\text{M}\Omega.\text{cm}$	17,8	18,0	18,2	18,2	18,24	18,24
COT	ppb	50	10	5	1	1	1
$\text{SiO}_2$	ppb	5	3	1	1	0,2	0,1

Ions	ppt	1000	500	50	20	5-20	1-10
Oxygène	ppb	500	100	10	10	1	1
Particule < 0,05µm	Nb.L <sup>-1</sup>			5000	5000	1000	1000

Tableau I.2 - Spécifications de l'eau ultra pure en fonction de la technologie.

#### I.4 TECHNOLOGIES DES SALLES BLANCHES

La technologie des salles propres constitue plus que jamais une réponse incontournable aux industries qui ont à lutter contre toutes formes de contaminations (particulaire, microbiologique, moléculaire) pour des raisons de productivité et de conformité réglementaire. Selon les besoins spécifiques de chaque secteur d'activité, les utilisateurs s'équipent de zones à contamination maîtrisées plus ou moins importantes ou exigeantes [8].

##### I.4.1 Définition d'une salle blanche

Dans les habitudes de langage aussi bien que dans la littérature, on trouve les vocables de "salle blanche", "salle grise", "salle propre", "salle à empoussièremment contrôlé",.... A l'origine, ces termes se sont développés pour différencier les locaux qui nécessitaient une attention plus soutenue et des conditions d'ambiance différentes de ceux qui étaient simplement traités pour des raisons de salubrité et de confort [9]. Les salles blanches sont des salles où la présence de poussières en suspension dans l'air est minimale et où l'atmosphère est contrôlée en permanence. La concentration particulaire est maîtrisée afin de minimiser l'introduction, la génération, la rétention de particules à l'intérieur, généralement dans un but spécifique industriel ou de recherche. Les paramètres tels que la température, l'humidité et la pression relative sont également maintenus à un niveau précis (définition selon la norme ISO 14644-1) [10].

Cet environnement très particulier est nécessaire à la fabrication des circuits intégrés où qualité et reproductibilité sont assurées. Les dimensions des puces électroniques sont minuscules. A titre d'exemple, les transistors qui se trouvent dans les microprocesseurs de nos ordinateurs ont des dimensions de l'ordre de 90 nm. Avec de telles dimensions, un grain de poussière (0,5 à 5 µm), ou un cheveu (environ 50 µm), sont

énormes devant un transistor. S'ils se déposent sur ce dispositif lors de sa fabrication ils endommageront complètement son fonctionnement [10]. Pour obtenir des conditions optimales de fabrication des circuits intégrés, toute en évitant l'introduction de poussières de l'extérieur, les salles blanches sont soumises à des règles très strictes. On distingue deux types de contraintes dans la salle blanche :

### *1.4.1.1 Les contraintes atmosphériques :*

- La salle est en surpression si bien qu'aucune poussière venant de l'extérieur ne pourra entrer à l'ouverture des portes.
- L'atmosphère est renouvelée toutes les 5 secondes et plusieurs millions de mètres cube d'air sont filtrés par heure.
- La salle est climatisée avec un contrôle strict des variations de température et d'humidité (variations de température =  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ , humidité =  $\pm 2\%$ ). Cela est nécessaire pour toutes les opérations chimiques: oxydation, gravure.... En effet les propriétés des différents produits chimiques utilisés et les réactions chimiques sont très sensibles à la température et à l'humidité.

### *1.4.1.2 Les contraintes opérateurs*

Les opérateurs doivent respecter les règles d'hygiène et de sécurité en vigueur dans les salles blanches. L'entrée et la sortie se font par l'intermédiaire d'un ou plusieurs sas, quelquefois équipés d'une douche à air ou à eau, et de vestiaires. En effet, le corps humain produit une quantité importante de contaminants comme les poils, les cheveux, les poussières de peau morte... C'est pour cela que les opérateurs évoluant dans la salle blanche doivent être vêtus d'un équipement plus ou moins intransigeant selon le degré de contamination et d'empoussièrement toléré. L'équipement peut comporter une combinaison, un couvre-cheveux (calotte), des gants, des chaussons, un masque, des sous-vêtements spécifiques, voire un scaphandre complet. Le matériel doit être nettoyé convenablement et les outils et matériels rangés convenablement après utilisation. Les produits chimiques et les appareils entrant et sortant utilisés doivent aussi être gérés rigoureusement. Il est strictement interdit de fumer, boire ou manger à l'intérieur de la salle blanche et tout ce qui n'est pas indispensable au travail doit rester à l'extérieur [4].

#### I.4.2 Les différentes classes de "salles blanches"

Une mesure du nombre de particules (en général de diamètre supérieur à 0,5 µm) présentes par pied cube permet d'établir une classification des salles blanches. La classe 1 est le niveau le plus propre (1 pied ~ 30 cm et 1 pied cube ~ 30 litres) [10].

Classe	Nombre de particules de diamètre en suspension par pied cube
1	1
10	10
100	100
1000	1000
10000	10000
100000	100000

Tableau I.3 - Classification des salles blanches (norme US).

#### I.4.3 Les salles blanches en industrie

Les salles blanches sont utilisées dans les domaines sensibles aux contaminations environnementales[8]. Les différents secteurs qui nécessitent des salles propres sont :

- Industries chimiques : pharmaceutique, dispositifs médicaux (implants, prothèses...), cosmétique...
- Hospitalier : salles d'opérations, zones à risques des plateaux techniques, stérilisation hospitalière...
- Agroalimentaire : produits carnés et de la mer, produits laitiers, plats cuisinés, viennoiserie...
- Biotechnologies : laboratoires de sécurité biologique (virologie, OGM...)
- Technologies de pointe : aéronautique, spatial, nucléaire, micromécanique, électronique...

#### **I.4.4 La sécurité dans la salle blanche**

Certains produits chimiques, utilisés lors de la fabrication d'un circuit intégré, sont très dangereux pour la santé du personnel mais aussi pour le fonctionnement des équipements. Il est donc indispensable de respecter des consignes de sécurité précises et strictes. Le personnel qui travaille dans la salle blanche a donc une formation adaptée, qui lui permet de garantir le bon déroulement du processus de fabrication, et d'intervenir immédiatement et efficacement en cas d'urgence[10].

#### **I.5 LA SALLE BLANCHE DU CDTA**

La salle blanche du CDTA dispose d'une superficie de 471 m<sup>2</sup>. La classe de cette salle blanche est de 10 pour la zone photolithographie, le front end (l'espace de travail) est de classe 100 alors que le back end (l'arrière des équipements) est de classe 1000. Le procédé qui sera utilisé dans cette salle blanche est le procédé CMOS 1 µm acquis dans le cadre du projet de réalisation de la centrale technologique, de l'institut Fraunhofer (ISIT) d'Itzeho en Allemagne [11].



Figure 0.1 - Photo de la façade nord de la salle blanche CDTA.

#### **I.5.1 Description du procédé CMOS 1µm**

Les caractéristiques du procédé CMOS 1 µm sont[11]:

- Substrat de type P, orientation (100), résistivité 10 ohm-cm,
- n-well / p-well,
- double poly silicium dopé n,
- double métal,
- barrière métal Ti / TiN,
- 14 étapes de photolithographie,
- 12 masques.

Les différentes Zones qui caractérisent notre centrale technologique prévue pour le procédé CMOS 1µm sont [11]:

- Photolithographie : étalement et développement de la résine pour la création des masques.
- Implantation : implantation dans les structures (par bombardement) de dopants pour la modification des caractéristiques électriques des ces dernières (formation de n-well, p-well...).
- Diffusion : dépôt de dopants et recuit thermique pour la distribution des dopants.
- Gravure humide et nettoyage : enlèvement de la partie non désirée d'un matériau donné pour créer des motifs et nettoyage après certaines étapes pour éliminer les résidus.
- Gravure sèche : enlèvement de la partie non désirée d'un matériau (oxyde, poly silicium, métal, résine) pour créer des motifs.
- Dépôt : dépôt de couches minces d'oxyde et de métal.
- Assemblage et encapsulation : une fois le dispositif réalisé on procède à son assemblage et à son encapsulation avant utilisation.
- Atelier propre de nettoyage : nettoyage des outils et des équipements de procédé.

## **I.6 CONCLUSION**

Ce chapitre nous a permis d'avoir une idée sur les concepts relatifs à l'eau ultra pure et son utilisation dans l'industrie des semi conducteurs. Il nous a aussi permis de nous familiariser avec la technologie des salles blanches et la technologie CMOS 1 micron, utilisée dans la fabrication des circuits intégrés au sein de la centrale technologique du CDTA.

**CHAPITRE II**

**LA PRODUCTION DE L'EAU ULTRA  
PURE**



## I.7 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons, définir l’usine de production d’eau ultra pure de la centrale technologique du CDTA et nous expliquerons par la suite les différentes étapes du procédé [12]. Tel qu’illustré sur la figure II.1, la mise en place d’une chaîne de production d’eau ultra pure demande une étude approfondie de la qualité de l’eau brute, ainsi que de la qualité de l’eau à atteindre, mais il est aussi nécessaire d’établir un cahier des charges précis comprenant les exigences d’exploitation de l’industriel.

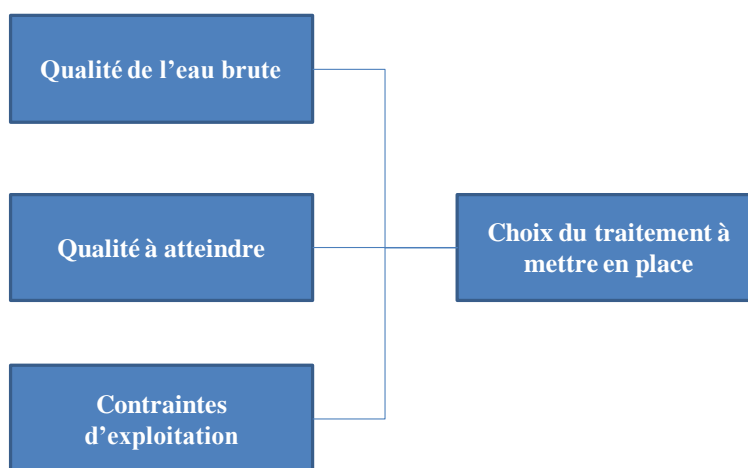


Figure II.1 – Pré-requis pour la mise en place d’une chaîne de production d’eau ultra pure.

Dans la plupart des cas, il s’agit de combiner différentes techniques afin d’obtenir la qualité finale souhaitée de l’eau de rinçage, à savoir, cascade de filtrations et de traitements par des résines, précédée de prétraitements divers et suivie d’une désinfection finale [12].

## I.8 L’USINE D’EAU ULTRA PURE

De nos jours l’eau ultra pure est utilisée dans de nombreux domaines tels que la médecine, la biologie et l’électronique. L’eau ultra pure est l’eau qui approche au mieux les niveaux théoriques de la pureté en termes de résistivité, concentrations en matières organiques, particules, et bactéries. Ce niveau de pureté peut être obtenu par différentes techniques qui peuvent parfois être combinées. Certaines de ces techniques sont l’échange ionique, l’osmose inverse, l’adoucissement et différents types de filtration. La conception de

l'unité de production de l'eau ultra pure « EUP » avec ces différents équipements est schématisée sur la figure II.2 [13]. (Voir diagramme détaillé en Annexe 1)

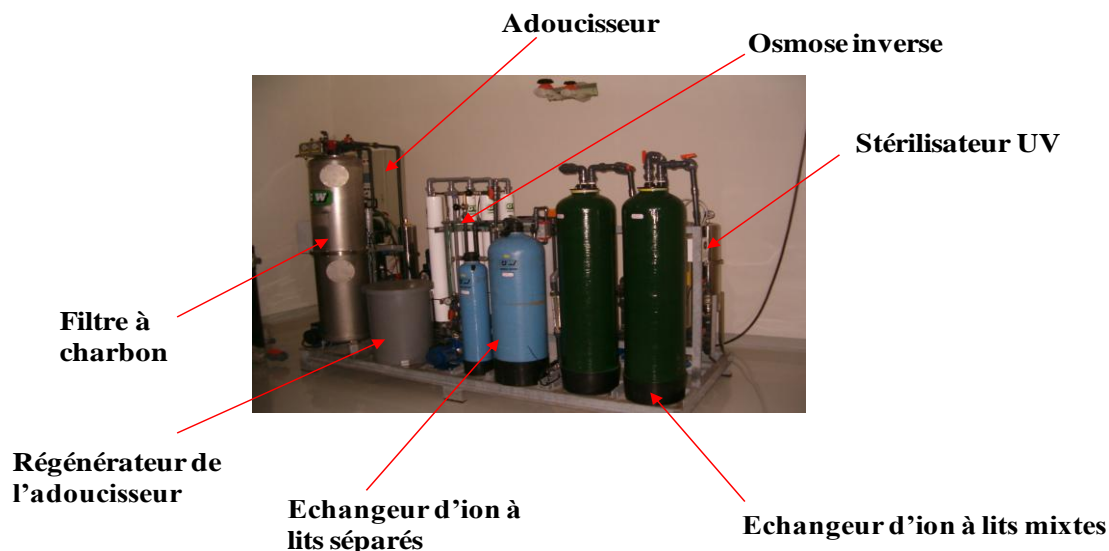


Figure II.2 - Photo de l'équipement E.U.P

Elle est composée des équipements suivants (voir Figure II.3) :

- Filtre à charbon.
- Adoucisseur.
- Filtre à cartouche 5 $\mu$ .
- Module de membrane OI 6x4'' à 1,5m<sup>3</sup>/h.
- Echangeur d'ion séparé cation/anion.
- Echangeur d'ion mixte.
- Stérilisateur UV.
- Filtre à cartouche 0,2 $\mu$ .

L'usine produit l'eau conformément aux spécifications UPW. L'eau brute est prise du réseau d'eau potable publique, et est fournie directement à un réservoir de capacité de 1 m<sup>3</sup>, via l'électrovanne d'entrée, cette vanne est commandée par un interrupteur à flotteur au niveau des réservoirs. Cette usine de traitement d'eau a été conçue pour produire de l'eau au grade semi-conducteur à partir de l'eau municipale avec un taux de matière solide dissoute (TDS –

Total dissolved solids) ne dépassant pas 600 ppm. La qualité de l'eau finale sera > 18 Mégohms à 25° C et la capacité de production de 4m<sup>3</sup>/hr [14].

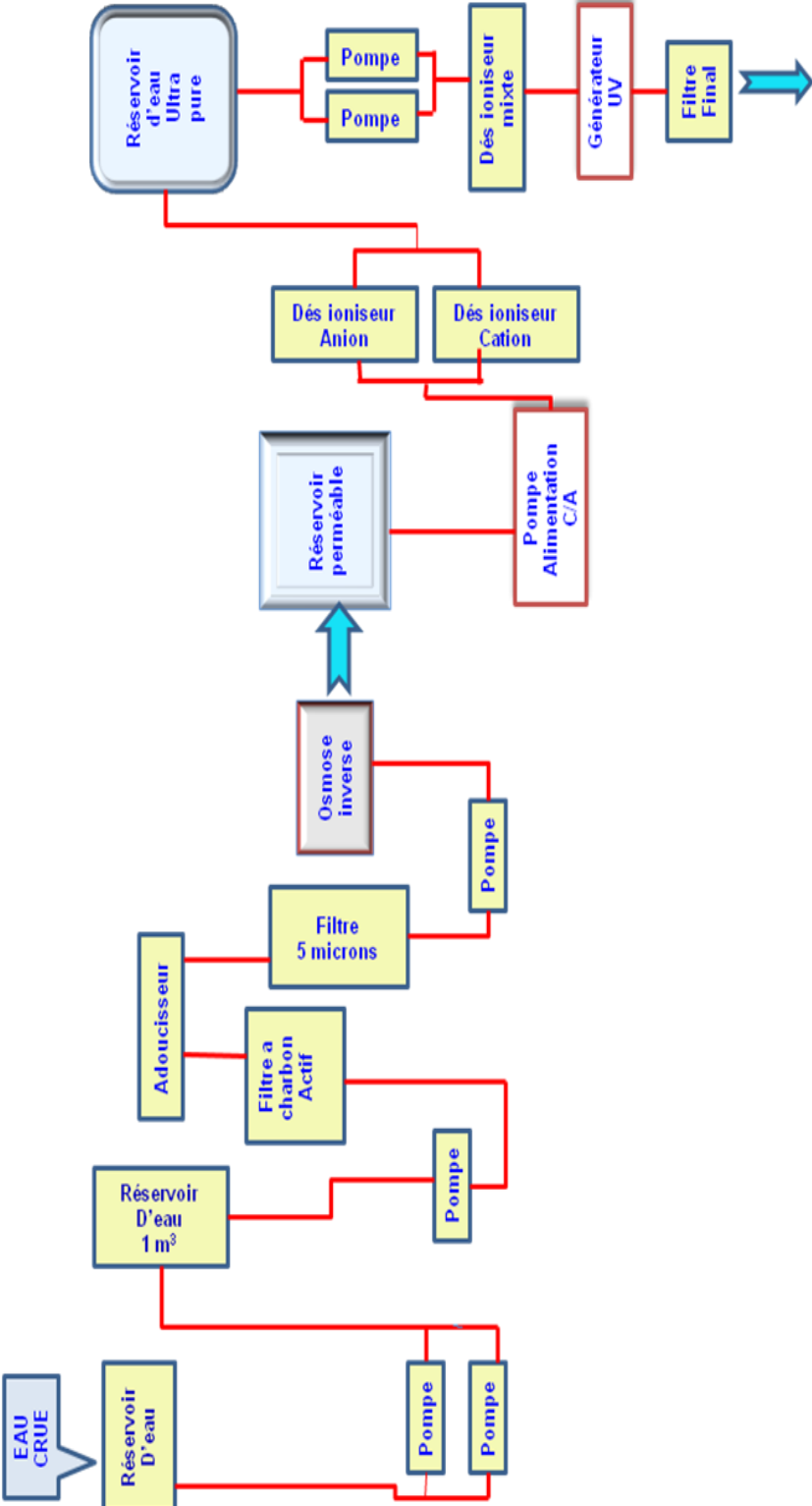


Figure II.3 - Conception de l'unité de production d'eau ultra pure

### I.8.1 La filtration

Généralement, tout système de purification de l’eau dans l’industrie comprend une première étape de filtration particulaire. Pourquoi ? même lorsqu’il n’y a pas d’exigence quand à l’absence de particules dans le produit fini, une filtration est nécessaire pour réduire les quantités de fer, manganèse, chlore libre, particules et colloïdes susceptibles d’endommager l’équipement en aval et pour protéger le matériel de purification de l’eau, qu’il s’agisse de pompe, de résines échangeuses d’ions ou de membranes d’osmose inverse [3]. Quant au seuil de filtration à choisir, cette information fait partie des spécifications fournies par le producteur du matériel à protéger. Des seuils typiques sont cités dans le tableau II.1.

Matériel à protéger	Seuils de filtration usuels
Pompe	Quelque dizaines de $\mu\text{m}$
Adoucisseur, échangeur d’ions	5 à 25 $\mu\text{m}$
Membrane d’osmose inverse	5 $\mu\text{m}$
Membrane d’ultrafiltration	5 à 25 $\mu\text{m}$

Tableau II.1 - Seuils de filtration usuels [3].

#### I.8.1.1 *Filtre à charbon actif*

Le charbon actif a le pouvoir de retenir par adsorption les molécules organiques qui donnent à l’eau des odeurs et des saveurs désagréables. Utilisé également comme catalyseur, il permet d’éliminer le chlore résiduel et les chloramines. Grâce à ces propriétés, les filtres à charbon sont utilisés pour désodoriser l’eau et supprimer les traces et les mauvais goûts (chlore). Le charbon actif se présente sous deux formes, à savoir :

- Sous forme de poudre, il est utilisé dans des cartouches (filtres à cartouches).
- Sous forme de grains, il est utilisé dans des filtres classiques lavables (type filtre à sable).

Lorsque la limite de capacité d'absorption est atteinte, la cartouche ou la masse de charbon actif doit être remplacée, sauf dans le cas d'installations industrielles importantes où une régénération à la vapeur peut être économiquement envisageable[13]. Le charbon actif, peut adsorber :

- les substances organiques et non polaires (les huiles minérales, les hydrocarbures aromatiques, les phénols).
- les substances halogénées.
- Les substances non polaires (non solubles dans l'eau).

Il permet aussi d'éliminer les mauvaises odeurs et goûts, les levures et divers produits de fermentation.

### *1.8.1.2 Filtre Multi Media*

Le filtre comporte deux chambres, le sommet étant rempli d'une combinaison de divers sables et anthracite, et le fond avec du charbon actif pour l'élimination des composés organiques et le chlore trouvé dans l'eau municipale. Le filtre est entièrement automatisé pour l'auto-nettoyage. Le lavage du filtre est effectué toutes les 24 heures lors de l'exécution de l'osmose inverse (OI). L'opération de lavage est différée par l'automate de programmation PLC (Programmable Logic Control) si elle coïncide avec les opérations de RO [14].

### *1.8.1.3 L'adoucisseur d'eau*

L'adoucissement est un procédé de traitement destiné à éliminer la dureté de l'eau par échange d'ions. La dureté est principalement due à la présence des ions calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) et bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) dans l'eau. Ces ions ou minéraux peuvent entartrer les canalisations d'eau chaude, les appareillages d'eau potable et les systèmes de traitement d'eau. L'adoucisseur d'eau est installé afin d'enlever le calcium de l'eau. Il doit être programmé pour régénérer l'eau à une fréquence fonction de la dureté de l'eau locale (2 heures pour le CDTA).

### I.8.1.3.1 La dureté de l’eau

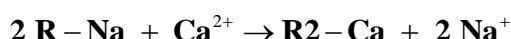
La dureté, définie par le Titre Hydrotimétrique (TH), reflète le taux de présence de sels de calcium et de magnésium dans l’eau. Selon la valeur du TH, les eaux peuvent être classées suivant les indications du tableau II.2 [15].

TH(°f) <sup>1</sup>	Spécificité de l’eau
0 à 6	Eau très douce
6 à 15	Eau douce
15 à 30	Eau moyennement dure
30 et plus	Eau très dure

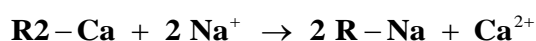
Tableau 0.1 - Spécification de l’eau selon sa dureté.

### I.8.1.3.2 Procédé d’adoucissement de l’eau

L’eau dure passe sur un lit de résine cationique, préalablement chargée de sodium (Na), qui échange les ions calcium (Ca<sup>2+</sup>) et magnésium (Mg<sup>2+</sup>), responsables de la dureté de l’eau, contre des ions sodium (Na<sup>+</sup>) selon la réaction suivante :



Lorsque la résine est saturée d’ions calcium et magnésium (substitués aux ions sodium) la régénération de celle-ci se déclenche et se déroule automatiquement selon un processus d’échange ionique à rebours.



La régénération de la résine saturée s’effectue avec du chlorure de sodium (NaCl) équivalent au sel de table mais présenté sous forme de pastilles de 15 sur 25 mm. Les ions sodium se fixent à nouveau sur la résine tandis que les ions calcium et magnésium sont évacués à l’égout sous forme de chlorure de calcium et de magnésium [3].

---

<sup>1</sup> 1 degré français correspond à 10<sup>-4</sup> mol/l soit 4 milligrammes de calcium ou 2,4 milligrammes de magnésium par litre d’eau.

### *1.8.1.4 Filtration à 5 microns*

Après l'adoucisseur d'eau, l'eau passe par un filtre dont le rôle principal est la rétention de différentes particules présentes dans l'eau. Suivant le diamètre des pores des filtres, ils laissent passer certaines particules dont le diamètre est inférieur à celui des pores. Dans notre cas, les filtres sont dotés de cartouche de 5 microns.

Ces types de filtres, placés en début de chaîne, servent surtout de protection physique pour l'installation et particulièrement les membranes d'osmose (augmentation de l'efficacité et de la durée de vie). Ils peuvent aussi protéger contre des relargages des filtres à charbon (qui assurent une élimination des composés chlorés, chloramines, incompatibles avec les osmoseurs ainsi que des métaux lourds par adsorption) ou retenir des microorganismes ou des endotoxines<sup>2</sup> [12].

### *1.8.1.5 L'osmose inverse*

L'osmose inverse, est la technique de séparation la plus fine sur membrane actuellement disponible. L'OI sépare les particules, ou autres matières en suspension, dont la dimension particulaire peut aller jusqu'à 0,001 microns. Elle permet d'éliminer les ions métalliques et d'éliminer complètement les sels aqueux, mais aussi des particules, des bactéries, des pyrogènes, des composés organiques, un grand pourcentage d'ions...[14]. La filtration membranaire est un procédé de séparation performant, sûr, et facile à conduire mais pas simple à mettre au point et dimensionner. Une des causes de ces difficultés est le colmatage qui reste difficile à éviter ou à limiter et souvent complexe à décrire [16].

Dans notre installation, après l'adoucisseur, l'eau passe à travers un filtre à cartouche de 5 microns, suivi par les pompes HP en veille. Ces pompes augmentent l'alimentation de la pression de l'eau à la pression voulue pour que l'OI travaille correctement. Cette eau à haute pression est fournie aux membranes 6" x 4" installées en série afin de produire plus de 500 l/hr d'eau infiltrée. Pour parvenir à des économies maximales d'eau, une partie de l'eau rejetée est recyclée par un retour au système d'alimentation. Le démarrage de l'OI est enclenché par l'interrupteur flotteur dans le réservoir OI de 500 litres via le PLC. Après 5 secondes la pompe haute pression rentre en service et l'eau infiltrée commence à remplir le

---

<sup>2</sup> Les endotoxines (du grec : endon et toxicon, intérieur et poison) sont des toxines situées dans la membrane externe de certaines bactéries.



réservoir OI. Lorsque le réservoir est plein l'interrupteur flotteur se ferme et le PLC ordonne l’extinction du réservoir.

On sépare dans un récipient une solution aqueuse de concentration quelconque et de l'eau pure<sup>3</sup> par une membrane semi-perméable. On observe une migration progressive d'une partie de l'eau pure vers le compartiment contenant la solution concentrée jusqu'à équilibre : c'est le phénomène d'osmose (Figure II.4).

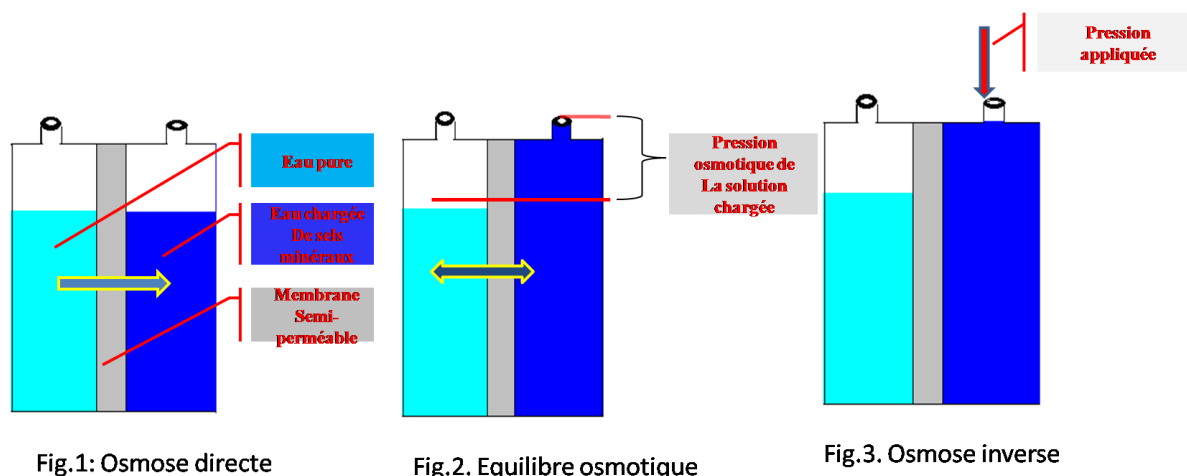


Figure 0.4 - Procédé d’osmose inverse



Figure 0.5 - Une membrane d’osmose inverse.

<sup>3</sup> Une eau pure est une eau issue d'un traitement par osmose inverse. Elle possède des caractéristiques particulières, en l’occurrence un pH de 7 à 25C, une résistivité > 30 000 Ohms, absence de 99,99% des bactéries, un taux de nitrates de 0 mg/l...

La différence de niveau obtenue à l'équilibre est la pression osmotique de la solution. Si l'on applique sur le côté du récipient contenant la solution concentrée une pression supérieure à la pression osmotique (pression hydrostatique), les molécules d'eau vont alors passer, au travers de la membrane, de la solution concentrée vers le compartiment d'eau pure : c'est le principe de l'osmose inverse. Le procédé est dit "inverse" car il nécessite une pression suffisante pour forcer l'eau pure à passer à travers la membrane. Ce procédé abouti à de très bons résultats, car il peut éliminer de 95 à 99% des particules solides dissoutes et 99% des micro-organismes [17]. La figure II.5 montre un exemple type de membrane d'osmose inverse.

### I.8.1.5.1 Nettoyage des membranes

Le colmatage est le principal phénomène limitant de l'étape de séparation membranaire. Il se caractérise par une limitation du flux de perméat et donc par une augmentation de la résistance au transfert. Le nettoyage des membranes a pour but de limiter ce colmatage irréversible de perméabilité, et par le fait même, à prolonger la durée de vie des membranes. Les différentes techniques de nettoyage sont :

- Le rinçage ;
- Le rétrolavage à l'eau ou à l'air<sup>4</sup>. La fréquence de rétrolavage varie de 15 à 60 minutes tandis que les durées ne varient que de 30 s à 3 mn ;
- Le nettoyage mécanique avec une balle de mousse (uniquement pour les modules tubulaires et pour le colmatage dû à la matière organique naturelle des eaux de surface) ;
- Le nettoyage chimique de la membrane (trempage et / ou circulation nettoyante) ;
- Il est important aussi de procéder à des désinfections périodiques des systèmes membranaires (circuits / compartiment d'alimentation et de perméat) [18].

Les performances d'un osmoseur se dégradent après une certaine période d'utilisation. L'ensemble de la littérature [19] et plusieurs fabricants conseillent de nettoyer les membranes lorsque les performances se sont dégradées selon les critères suivants :

---

<sup>4</sup> Le rétrolavage consiste en une inversion périodique du flux. La filtration est arrêtée et le compartiment perméat est mis sous pression : l'eau produite repasse au travers de la membrane mais en sens inverse de la filtration pour décoller le gâteau formé lors de la phase de filtration, il se fait soit en dirigeant des jets d'eau ou d'air sur la membrane.

- Le débit de perméat à 25°C, baisse de 10 à 15%.
- La pression transmembranaire augmente de 10 à 15%.
- Diminution de la vitesse d'écoulement de l'eau aux abords de la membrane.
- Le taux de rejet baisse de 1 à 2 %.

Les produits à employer pour le nettoyage sont fonction de la nature du dépôt que l'on trouve sur la membrane. On peut procéder à une analyse de la nature du tartre que l'on trouve sur la surface de la membrane avant de choisir le produit nettoyant. Cette méthode étant destructive, il est généralement préférable de procéder par essais successifs de nettoyage. On trouve différents types de dépôts sur les membranes des osmoseurs :

- Dépôts inorganiques : ils résultent de la concentration des différents sels dissous dans l'eau et du changement de l'équilibre calco-carbonique de l'eau. La meilleure façon de l'enlever est d'utiliser une solution de nettoyage acide[19].
- Dépôts organiques : ils sont mieux enlevés par des solutions basiques contenant un surfactant.
- Sulfates : si des traces de baryum, de strontium ou de calcium sont présentes dans l'eau et l'on utilise une injection d'acide sulfurique pour l'ajustement du pH en amont de l'osmoseur, des dépôts de sulfates (de baryum, de strontium, de calcium) peuvent se former. Un nettoyage avec de l'EDTA<sup>5</sup> peut être tenté, mais il faut en général changer les membranes.
- Biofilms : ils sont mieux enlevés par des solutions basiques, avec un pH d'au moins 11, contenant un surfactant [19].

### I.8.1.5.2 Prévention du colmatage

La stratégie générale de prévention du colmatage peut prendre les formes suivantes :

- Pré-filtration ;
- Enlèvement plus poussé des particules et des colloïdes par un autre procédé membranaire ou par un traitement conventionnel ;

---

<sup>5</sup> Acide éthylène diamine tétracétique : un agent chélateur puissant, qui masque la toxicité de certains composés capable de former des complexes métalliques très stables),

- Ajustement de pH (acidification) pour déplacer les équilibres de solutés des sels susceptibles de précipiter (sel de fer, de manganèse, de calcium, de baryum...);
- Ajout d'un agent anti-tartre pour empêcher le dépôt de sels à la surface des membranes ;
- Coagulation de la matière organique naturelle. En effet, l'effet colmatant des floccs est, a priori, moins fort que celui des colloïdes ;
- Enlèvement du fer ( $\text{Fe}^{2+}$ ) qui pourrait précipiter.

Pour garantir un niveau de qualité d'eau irréprochable, toutes les cartouches filtrantes à membrane d'OI sont à changer 1 fois/an, excepté la membrane dont la fréquence de remplacement est **de 3 à 5 ans selon la dureté de l'eau** [20].

#### *1.8.1.6 La déionisation à deux lits*

C'est un procédé utilisant des résines échangeuses d'ions qui peuvent retenir les ions contenus dans l'eau. Les déioniseurs éliminent les minéraux dissous dans l'eau. La déionisation n'élimine pas les composés organiques, ni les virus ou les bactéries sauf par une prise au piège "accidentelle" dans la résine, particulièrement avec les résines anioniques de bases fortes pouvant éliminer des bactéries gram-négatifs.

##### 1.8.1.6.1 Système à résine cationique et anionique

Ces systèmes sont constitués de deux chambres (Figure II.6), une contenant une résine cationique capable d'échanger les cations de l'eau par des ions  $\text{H}^+$  et l'autre contenant une résine anionique capable d'échanger les anions de l'eau par des ions  $\text{OH}^-$  [20].

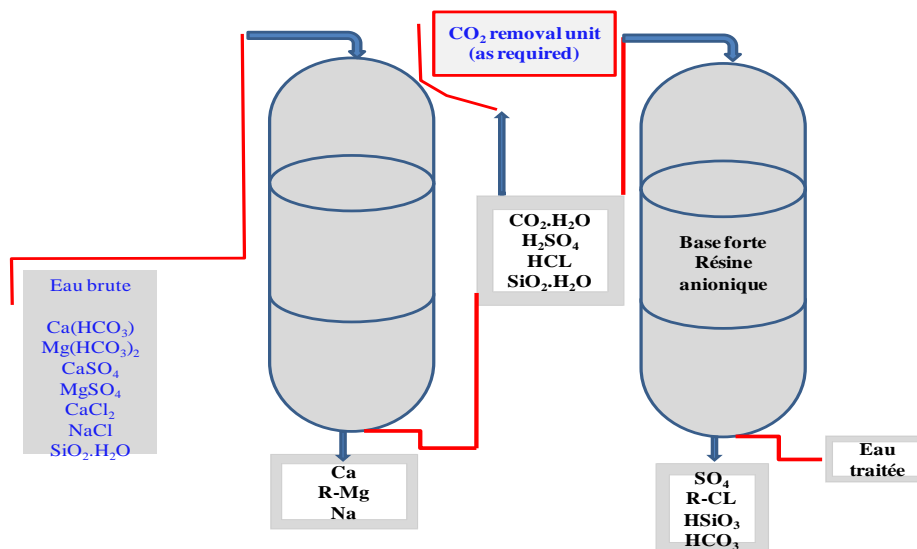
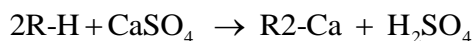
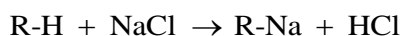


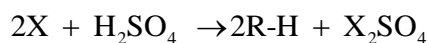
Figure II.6 - Système à résine cationique et anionique

### I.8.1.6.2 Réactions d'échange d'ions

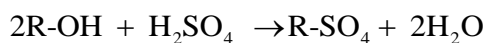
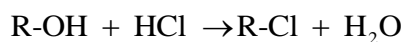
#### Cations:



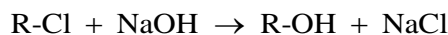
#### Régénération (acide):



#### Anions:



#### Régénération (soude)



### I.8.1.7 Échangeur d'ions à lit mélangé

Dans les systèmes à lit mélangé (figure II.7), les résines cationique et anionique sont intimement mélangées par agitation avec de l'air comprimé et contenues dans une seule chambre de contact.

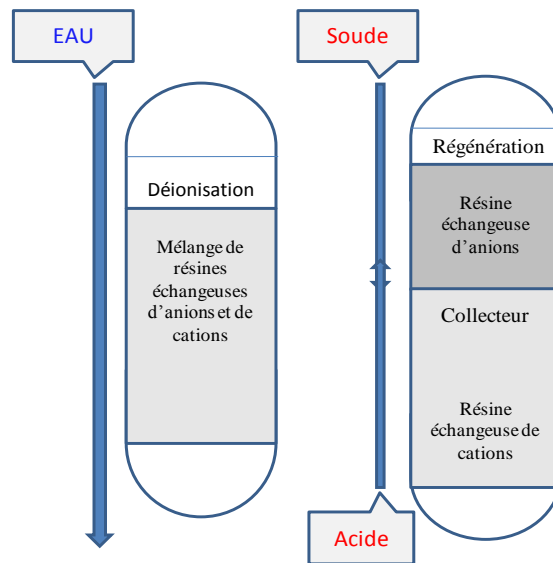


Figure II.7 - Échangeur d'ions à lit mélangé [20].

Pour effectuer la régénération, les deux résines sont séparées hydrauliquement pendant la phase de séparation. Comme la résine anionique est plus légère que la résine cationique elle monte au sommet, tandis que la résine cationique tombe au fond. Après l'étape de séparation la régénération est effectuée avec de la soude caustique et un acide fort. N'importe quel excès de régénérant est éliminé en rinçant chaque lit séparément. L'avantage de ce système à lit mélangé est que l'eau obtenue est d'une très grande pureté et sa qualité reste constante tout au long du cycle.

#### I.8.1.7.1 Phases de la régénération d'un lit mélangé :

- Rétrolavage : enlève les particules et permet la stratification des résines c'est-à-dire, il permet de polir les sédiments des résines.
- Adjonction de soude sur toute la résine : cette opération augmente la différence de densité entre les deux résines.
- Adjonction de soude et d'acide, avec sortie à mi hauteur, à la limite entre les deux résines.
- Lavage avec sortie à mi hauteur, à la limite entre les deux résines.
- Mélanger la résine avec de l'air comprimé.
- Lavage co-courant pour stabiliser la résine.

- Remise en service

En général, le temps total d'une régénération est de 4 heures [3].

Généralement, l'eau est d'une résistivité meilleure après un lit mélangé qu'après un deux-lits car les réactions d'échange d'ions sont des réactions à équilibre. Les substances ne réagissent pas complètement, mais seulement jusqu'au point d'équilibre entre la déionisation et la régénération. Durant la déionisation, la résine échangeuse de cations libère de l'acide. Dans un échangeur à deux lits, cet acide est à disposition pour la réaction en sens inverse (régénération). Dans un lit mélangé, l'acide libéré est tout de suite neutralisé et enlevé par une boule de résine échangeuse d'anions à proximité. De même, la soude produite par la résine anionique est tout de suite neutralisée et enlevée par une boule de résine cationique à proximité. Donc, dans un lit mélangé, la contre-réaction ne se produit pas, à défaut de réactants. L'équilibre n'est pas atteint avant la déionisation presque complète de l'eau. Du point de vue conceptuel, un lit mélangé peut aussi être décrit comme une série infinie d'échangeurs à deux lits [3].

### *I.8.1.8 Oxydation UV avec une longueur d'onde de 100 nm*

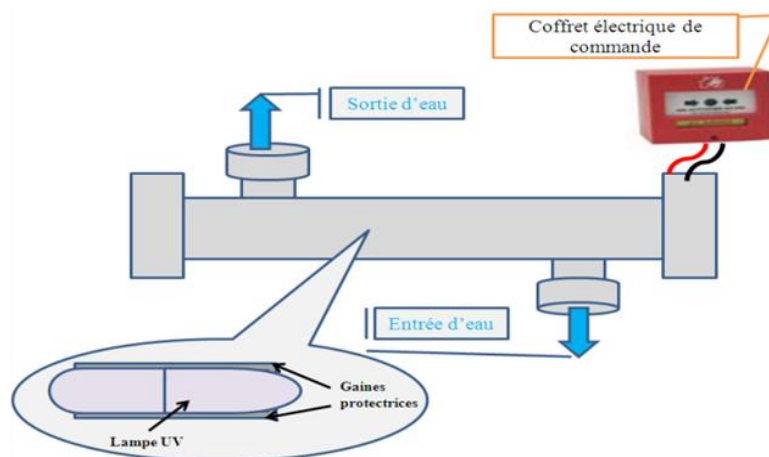
L'eau ultrapure est bactériologiquement instable. Il faut donc impérativement la stériliser. De plus, les bactéries ont une taille suffisamment importante pour causer des tâches sur les plaquettes de production. On place généralement, sur la boucle de distribution, un stérilisateur UV suivi d'un microfiltre à 0,2  $\mu\text{m}$  [3].

#### I.8.1.8.1 Effet du rayonnement UV

Le principe de la stérilisation de l'eau par ultraviolet est très simple. L'eau est éclairée avec des rayons UV, qui ont un effet germicide par destruction des molécules d'ADN. La longueur d'onde utilisée pour stériliser l'eau est de : 254 nm [21].

#### I.8.1.8.2 Schéma d'un système de désinfection UV

Le schéma suivant représente un système de désinfection UV à une longueur d'onde de 254nm, ce procédé nécessite l'exposition de l'eau au rayonnement UV, au sein d'une chambre d'irradiation où est placée la lampe, l'eau circule en régime turbulent parallèlement aux lampes.



FigureII.8 - Schéma d'un système de désinfection UV.

C'est dans la chambre d'irradiation que l'eau circule en régime turbulent parallèlement aux lampes. Les lampes sont isolées de l'eau grâce à des gaines en silice [22].

#### I.8.1.8.3 Les avantages des UV

Les UV présentent les avantages suivants [22] :

- Ils ne modifient pas les caractéristiques organoleptiques de l'eau (goût, odeur, couleur) et le pH.
- Leur utilisation ne nécessite pas l'ajout d'autres produits chimiques.
- Ils ne créent pas de sous-produits toxiques dans l'eau.
- Ils sont compacts et faciles à installer.
- La maintenance est simple et rapide.
- La consommation électrique est souvent inférieure à celle d'une ampoule domestique.

#### I.8.1.9 *Filtration finale à 0,2 μm*

La filtration finale élimine les particules et les bactéries. L'eau étant passée sur un circuit de traitement peut subir des contaminations bactériennes. Elle est alors filtrée une dernière fois à 0.2μm avant d'être livrée en production. Elle est alors dite ultrapure [3].





Figure II.9 - Photo des types de Filtres

### I.9 MODE DE FONCTIONNEMENT DE L'USINE D'EUP

La rentabilité de l'usine EUP est intimement liée à son mode de fonctionnement. Le procédé est tenu de livrer une eau ultra-pure à une résistivité de  $18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$  en opérant à un débit actuellement fixé à  $1,5\text{m}^3/\text{hr}$ . Dans le cas de notre usine EUP, comme pour toute autre installation industrielle, le but est d'explorer l'existence d'une plage d'opération optimale. La figure IV.1, illustre le mode de fonctionnement du réservoir d'osmose inverse en fonction du temps. Le démarrage de la RO est enclenché par l'interrupteur flotteur dans le réservoir RO de 500 l via le contrôleur PLC (Programmable Logic Controller). Après 5 sec la pompe haute pression entre en service et l'eau filtrée commence à remplir le réservoir RO. D'après la figure IV.1, on observe que le réservoir se remplit totalement après une heure de temps. Lorsque le réservoir est plein, l'interrupteur flotteur se ferme et le PLC ordonne l'extinction du réservoir. L'opération de remplissage se déclenchera de nouveau une fois que le niveau atteint son minimum, qui sera indiqué par l'interrupteur flotteur au niveau du panneau de contrôle principal (PLC). Durant ce processus, le remplissage se fait toujours au débit de  $1,5\text{m}^3/\text{hr}$  qui représente 37,5% de la capacité de production de l'usine d'EUP. La figure IV.1 montre qu'actuellement le débit suit une fonction échelon et sachant que la durée de vie et le coût des équipements dépendent fortement du débit de fonctionnement, existe-t-il un mode d'opération plus économique ? Ce qui suit représente alors une étude préliminaire sur le sujet [5].

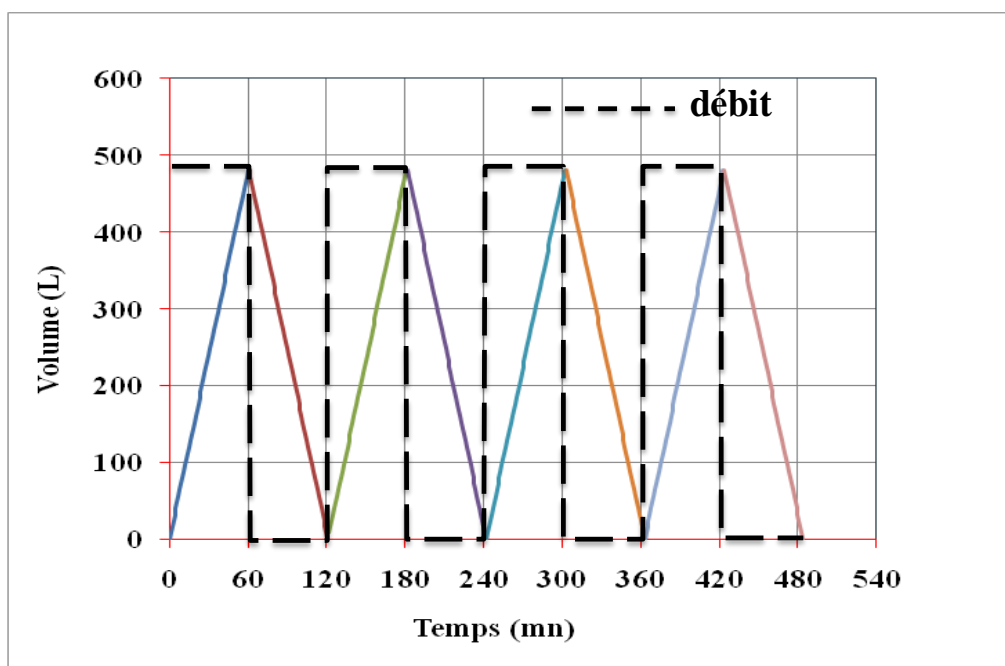


Figure II.9 – Mode de fonctionnement du réservoir d’osmose inverse

L’optimisation consiste à utiliser des méthodes spécifiques afin de déterminer la solution la plus efficace et la moins onéreuse pour la conception d’un procédé. Dans des opérations industrielles, plusieurs avantages émanent de l’amélioration des performances, tels que la réduction de la consommation d’énergie, et l’éloignement des périodes de maintenance. La formulation du problème représente sans doute l’étape la plus cruciale en optimisation. Cette formulation nécessite l’identification des éléments essentiels d’un concept ou une application donnée et leur organisation sous une forme mathématique incluant une fonction objective et des contraintes. La fonction objectif représente plusieurs facteurs tels que le profit, coût, énergie et le rendement en fonction des variables clé du procédé sous analyse alors que les contraintes peuvent être reliées à différents facteurs, i.e. naturels, logistiques, temporels... Une optimisation globale du procédé de production d’EUP est une tâche longue et fastidieuse qui doit être subdivisée. Dans ce travail, une première étape est de s’attaquer au recensement des équipements et consommables de l’unité de production suivie par une recherche des fonctions coût relatives.

## I.10 LISTE DES EQUIPEMENTS ET CONSOMMABLES POUR L'USINE D'EUP

Les coûts de conception d'une unité de production d'eau ultra pure, sont en général subdivisés en coûts d'investissement et d'exploitation. Ces derniers peuvent être fixes (fonctionnement normal, maintenance, énergie fixe...) ou variables (puissance et consommation de produits chimiques, consommables, i.e. filtres, membranes RO, lampes UV, résines...). L'unité de production d'EUP est constituée d'un certain nombre d'équipements dont le coût de fonctionnement est directement lié au taux de production. Il est alors important de recenser tous ces équipements et de leur associer les fonctions coût respectives, si celles-ci sont toutefois disponibles. Si les fonctions coût n'existent pas dans la littérature, elles devront être construites par l'analyse des données sur le site en question, donc une opération à planifier sur une longue durée.

### I.10.1 Liste des équipements principaux

Le tableau suivant, représente la liste des principaux équipements de l'usine de production d'EUP de la centrale technologique du CDTA [5].

Composant	Quantité
Réservoir pour l'eau crue	01
Filtre à charbon (400 TFD)	01
Adoucisseur (75 MST)	01
Filtre 5 microns	01
Esprit de système de RO membrane 6×4"	01
Réservoir perméable RO	01
Déioniseur PE cation/anion	01
Réservoir d'UPW	01

Déioniseur à lit mixte	02
UV système	01
Filtre final	01
Panneau de commande centrale avec PLC	01

Tableau 0.2 - Liste des équipements principaux de l’unité de production de l’EUP du CDTA.

Le tableau suivant, résume la liste de différentes pompes utilisées pour le pompage de l’eau dans les différents équipements de l’unité de production d’EUP[5].

Pompes	Nombre de pompe	Débit
Pompe pour alimentation d’eau crue	01	30 à 80 l/h
pompe cation/ anion	01	30 à 80 l/h
pompe R/O	02	1,2 à 4,2 m <sup>3</sup> /h
Pompe « Mixed Bed »	02	50 à 150 l/h

Tableau 0.3 - la liste des différentes pompes utilisées dans l’installation de l’usine d’EUP

De tous les items présents dans le tableau II.3, seuls les filtres possèdent un coût de fonctionnement relié au débit d’utilisation. Quant aux pompes, leur utilisation dépend fortement des débits utilisés avec des frais fixes et variables directement proportionnels à ces derniers. Ces fonctions sont regroupées dans le tableau II.5. Les coûts de l’électricité (excluant le coût de fonctionnement des pompes), de l’instrumentation et du traitement des filtres sont aussi relevés dans le Tableau II.5.

Coût	Fonction de coût	Paramètres (unités)
Pompes - coûts fixes	$0,951 Q + 6,11 Q^{0,8}$	$W_{op}$ = coût service (\$/hr)
Pompes – coûts variables	$0,133 W_{op} Q + 0,65 P_c W$	$W$ = puissance de pompage (kW) $P_c$ =coût de l’énergie (\$.kwhr <sup>-1</sup> ) $Q = m^3.jr^{-1}$
Electricité	$55671 Q^{0,383}$	$Q = m^3.jr^{-1}$
instrumentation	$7438 Q^{0,351}$	$Q = m^3.jr^{-1}$
Traitement des filtres	$3600 Q^{-0,51}$	$Q = m^3.jr^{-1}$

Tableau II.4 - Les fonctions variables des frais d’exploitation [23].

La fonction objective (coût)  $F$  découlant des données du tableau II.5, s’écrit naturellement comme la somme des coûts de chaque équipement (6 pompes, l’électricité, l’instrumentation et 3 filtres) considéré fonction d’une variable unique (le débit), à savoir[23] :

$$F = (5,7 + 0,8 W_{op}) Q + 36,7 Q^{0,8} + 55671 Q^{0,383} + 7438 Q^{0,351} + 10800 Q^{-0,51} + 0,65 P_c W \quad (.1)$$

La minimisation du coût de fonctionnement revient à minimiser la fonction  $F$  par rapport à la variable  $Q$ . Pour se faire, le solveur d’Excel basé sur la méthode du gradient réduit généralisé est utilisé. On considère alors un coût de service de 6 \$/hr. L’implémentation montre que la fonction  $F$  admet un minimum à une faible valeur de  $Q$  de 0,19 m<sup>3</sup>/jr, suggérant que la fonction échelon utilisée dans le mode de fonction actuel pour remplir le réservoir est coûteuse. Il serait probablement recommandé de maintenir le débit d’utilisation à la demande courante d’utilisation d’EUP dans le procédé CMOS par un contrôle adéquat du procédé[23].

## I.11 CONCLUSION

Ce chapitre nous a permis de présenter la conception de l'usine de production d'eau ultra-pure de la centrale technologique du CDTA et de comprendre les différentes étapes du procédé, qui sera utilisée pour le rinçage des plaquettes destinées pour la fabrication de circuits intégrés. Il est à rappeler que :

- Le stockage de l'eau purifiée, sans recirculation, doit absolument être limité au minimum afin d'éviter une dégradation de sa qualité chimique et bactériologique.
- Le réservoir de stockage doit être étanche et muni d'un filtre à air bactérien pour empêcher la contamination atmosphérique.
- La recirculation continue permet de garantir le maintien de la qualité d'eau en sortie du réservoir.
- Une désinfection périodique est recommandée pour éviter la formation de biofilm. On peut employer pour cela des pastilles relâchant du chlore ou du peroxyde d'hydrogène.
- Les déioniseurs peuvent fonctionner à de très faibles pressions, et contrairement à l'osmose inverse, la qualité ne dépend pas de la pression.
- Afin de minimiser le développement de contamination bactérienne, les cartouches échangeuses d'ions doivent être changées à intervalles réguliers (au moins tous les six mois).
- Toujours vidanger 2 à 3 litres d'eau déionisée après une période d'inactivité, (après le week-end), en particulier si l'eau est utilisée pour des applications critiques [6].

Un effort de minimisation du coût de fonctionnement de l'usine d'EUP a permis d'établir les bases nécessaires à une optimisation globale de l'unité de production. L'absence de données bibliographiques sur le sujet rend la tâche d'autant plus ardue mais d'un intérêt crucial. Compléter ce travail nécessite :

- le stockage des données de fonctionnement de l'usine sur une longue durée,
- l'analyse des données enregistrées avec élaboration de modèles d'estimation de fonctionnement (exemple : fonction puissance pour les pompes et les filtres),
- le regroupement des modèles pour une optimisation multiobjectif.

## **CHAPITRE III**

# **MODELISATION DU PROCEDE D'EUP**

## **I.12 INTRODUCTION**

Comme dans toute industrie, le facteur économique est primordial dans la fabrication des semi-conducteurs. Toutes les industries des semi-conducteurs, essayent d'obtenir, la production peu coûteuse de wafers, pour être concurrentielle sur le marché, il faut savoir gérer son fonctionnement. Une conception optimisée du système de production de l'EUP aidera, certainement à réaliser ce but. Avant de commencer le projet réellement, le taux d'utilisation d'un système d'EUP devrait être soigneusement examiné en étudiant le débit en temps réel, tel que la consommation horaire maximale et le chargement moyen quotidien. Ces informations, nous éviterons le gaspillage accru de la matière. Une méthodologie simplifiée, avec l'exactitude acceptable pour évaluer le taux et temps réel d'utilisation d'un système de production d'EUP devrait être à la disposition des ingénieurs de pratique dans l'industrie. Cette étude permet d'évaluer le taux d'utilisation de l'EUP en temps réel.

Nous présentons dans ce chapitre la partie modélisation de notre travail. Selon les caractéristiques propres du système EUP de la centrale technologique, nous avons établi le modèle mathématique correspondant. A partir du modèle développé, des abaques ont été réalisées afin de déduire le taux de consommation de l'eau ultra pure en fonction des variations de la vitesse de changement du niveau de stockage d'eau, et ce, avec l'objectif de satisfaire la demande de consommation en EUP tout en minimisant les pertes en EUP.

## **I.13 BILAN DE CONSOMMATION DE L'EUP DE LA CENTRALE TECHNOLOGIQUE DU CDTA**

Les différents tableaux qui suivent, représentent la quantité d'eau ultrapure et d'eau de ville consommées par chaque zone de la centrale technologique du CDTA. Notre salle blanche comprend huit zones, énumérées ci-dessous.

### **I.13.1 Zone photolithographie**

La photolithographie est le procédé de transfert d'un masque vers la plaquette de silicium (Wafer). Ce procédé comprend:

- Le transfert des motifs conçus (gravés sur masque) vers la plaquette silicium.



- L’étalement de la résine sur la plaquette.
- L’exposition aux UV à travers le masque.
- Le développement de la résine (gravure chimique de la résine + exposition aux UV).

L’eau ultra pure est utilisée pour l’opération de rinçage après le développement de la résine.

Description composant	Description procédé	Type d’équipement	Eau de ville (schm)	EUP (l/hr)
MAIN	Track	Coat Track		23
MAIN	Track	Develop Track		460
Total			0	483

Tableau III.1 – Consommation d’eau dans la zone photolithographie.

### I.13.2 Zone diffusion

La diffusion, consiste à effectuer :

- une oxydation thermique sèche (formation de l’oxyde mince de grille) et humide (oxydes épais TEOS, LOCOS).
- Dépôt et dopage ( $\text{POCl}_3$ ) du polysilicium.
- Diffusion des impuretés du dopage (B, P, As).

Cette zone ne consomme pas d’EUP.

### I.13.3 Zone dépôt couche mince /Metal/ PVD

Cette technique consiste à réaliser un dépôt chimique en phase vapeur à basse pression. Ce dépôt s’effectue normalement dans un four à mur chaud à des températures de l’ordre de 500 à 600°C. On injecte les gaz qui réagissent et qui synthétisent le matériau à déposer. Il s’agit de :

- Métallisation par plasma PVD (Ti; TiN; Alu/Si/Cu)

- PECVD de couches diélectriques intermétallique et de passivation ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ;  $\text{SiON}$ ;  $\text{SiO}_2$ ). Cette zone, ne consomme pas d’EUP.

#### I.13.4 Zone Implantation :

Cette zone, consiste à introduire des atomes ionisés projectiles avec suffisamment d’énergie pour pénétrer dans l’échantillon cible (plaquette de silicium). Cette opération est essentiellement utilisée pour doper le semi-conducteur. Les atomes dopants sont en général, B, P, As, In... Cette zone, ne consomme pas d’EUP.

#### I.13.5 Zone gravure sèche

La gravure sèche est en réalité une technique de gravure plasma dans laquelle interviennent à la fois les effets de bombardement par des ions et la réaction chimique. Dans notre procédé, on procède à une gravure de silicium polycristallin, de métal (Ti; TiN; Alu/Si/Cu), de silice  $\text{SiO}_2$  et de nitrures. Cette zone consomme une certaine quantité d’eau pour le refroidissement de l’équipement.

Description composant	Description procédé	Zone procédé	Type d’équipement	Eau de ville (schm)	EUP (l/hr)
MAIN	Metall Etch	Dry Etch	Metal Etch		150
Total				0	150

Tableau III.2 – Consommation d’eau dans la zone gravure sèche

#### I.13.6 Zone nettoyage et gravure humide

La gravure par voie humide se fait par attaque chimique en solution aqueuse (bain contenant de l’eau). Par exemple, l’oxyde de silicium est gravé par une solution partiellement diluée d’acide fluorhydrique (HF) tamponnée par du fluorure d’ammonium ( $\text{NH}_4\text{F}$ ). Suivant les concentrations de l’espèce réactive, on étalonne les vitesses de gravure pour un type de

couche. En général, par voie humide, la couche est attaquée de façon équivalente suivant toutes les directions de l'espace. Cette zone consomme la plus grande quantité d'eau par rapport aux autres zones.

Description composant	Description procédé	Zone procédé	Type d'équipement	Eau de ville (schm)	EUP (l/hr)
MAIN	Rinser/Dryer	Cleaning	Spin DRY		900
MAIN	Spray Processor	Wet Bench	Wet Clean/strip		900
MAIN	Resist Strip		Pirahna Bench		290
Digestorium	Rinsing		Fume Hood	1,0	240
Digestorium	Rinsing		Fume Hood	1,0	
MAIN	EKC strip IPA clean, rinse		Spray Solvent Tool	1,0	2400
Total				3,0	2570

Tableau III.3 – Consommation d’eau dans la zone gravure humide.

### I.13.7 Zone backend

Le backend est un procédé d'assemblage et d'encapsulation des circuits intégrés, qui consiste à fixer une ou plusieurs puces une fois découpées et à les enfermer dans un boîtier après avoir connecté leurs sorties à celles du boîtier. La technique de découpe se base sur une rotation rapide d'une scie diamantée fixée sur une table en mouvement. Pendant le découpage de la plaquette, de la chaleur est dégagée et de la matière arrachée. Pour cela, l'eau joue le rôle d'une part d'un refroidisseur pour minimiser la chaleur de contact et d'autre part pour évacuer la matière arrachée.

Description composant	Description procédé	Zone procédé	Type d’équipement	Eau de ville (schm)	EUP (l/hr)
MAIN	Wafer Saw	Dicing	Wafer Saw	0	420
Total				0	420

Tableau III.1 – consommation d’eau dans la zone backend.

### I.13.8 Zone Atelier propre

Cette zone, utilise de l’EUP, pour le nettoyage et la maintenance des équipements de procédés.

Description composant	Description procédé	Zone procédé	Type d’équipement	Eau de ville (schm)	EUP (l/hr)
MAIN	Acid Digestorium	nettoyage	Fume hood	0	240
Total				0	240

Tableau III.2 – Consommation d’eau dans l’atelier propre.

### I.13.9 Consommation totale

Consommation totale en eau			
Consommation en eau de ville		Consommation en EUP	
[SCMH]	(l/h)	[SCMH]	(l/h)
<b>3</b>	<b>3000</b>	<b>3,863</b>	<b>3863</b>

Tableau 0III.6 – Consommation totale d’eau.

**I.14 DEVELOPPEMENT D'UN MODELE PRATIQUE POUR L'EVALUATION DE LA CAPACITE DU SYSTEME D'EUP**

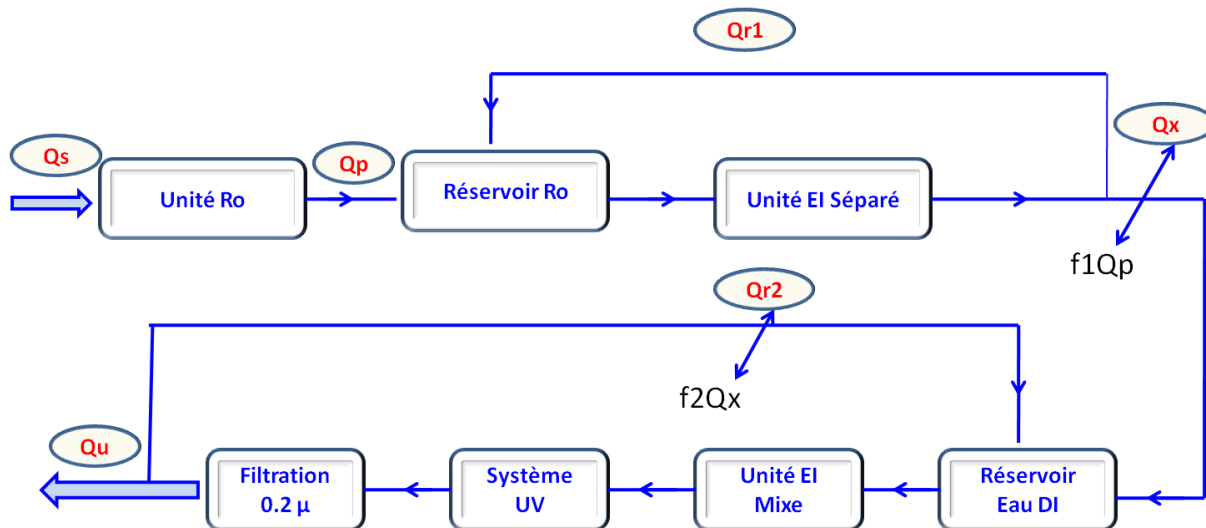


Figure III.1 - Schéma de l'unité de production de l'EUP.

Le bilan de la matière depuis l'entrée du réservoir d'OI jusqu'à la sortie de l'unité EI est donné par la relation :

$$Q_p = Q_x + Q_n + S_1 \frac{dh_1}{dt} \quad (.2)$$

Avec,

$Q_p$  : Débit entrant dans le réservoir OI,

$Q_x$  : Débit sortant de l'unité EI séparé,

$Q_n$  : Débit recyclé de la sortie de l'unité EI vers l'entrée du réservoir d'OI,

$S_1$  : Surface libre du liquide dans le réservoir OI

$h_1$  : Hauteur du liquide dans le réservoir OI

Le débit  $Q_n$  s'écrit en fonction du débit entrant  $Q_p$  :

$$Q_n = f_1 Q_p \quad (.3)$$

Où :  $f_1$  représente la fraction de  $Q_p$  retournée.

Injectant l'équation (.3) dans l'équation (.2) donne :

$$Q_p = Q_x + f_1 Q_p + S_1 \frac{dh_1}{dt} \quad (.4)$$

Un réarrangement résulte en :

$$(1 - f_1) Q_p = Q_x + S_1 \frac{dh_1}{dt} \quad (.5)$$

Analogiquement, le bilan de la matière de l'entrée du réservoir d'eau DI jusqu'à la sortie des filtres 0.2μ s'écrit :

$$Q_x = Q_u + Q_{r_2} + S_2 \frac{dh_2}{dt} \quad (.6)$$

Avec,

$Q_x$ : Débit entrant dans le réservoir d'eau DI (sortant de l'unité EI séparé),

$Q_u$ : Débit sortant de l'unité OI,

$Q_{r_2}$  : Débit recyclé de la sortie de l'unité OI vers l'entrée du réservoir d'eau DI,

$S_2$  : Surface libre du liquide dans le réservoir d'eau DI,

$h_2$  : Hauteur du liquide dans le réservoir d'eau DI.

Le débit  $Q_{r_2}$  s'écrit en fonction du débit entrant  $Q_x$  :

$$Q_{r_2} = f_2 Q_x \quad (.7)$$

Injectant l'équation (.7) dans l'équation (.6) donne:

$$Q_x = Q_u + f_2 Q_x + S_2 \frac{dh_2}{dt} \quad (.8)$$

Un réarrangement résulte en :

$$(1 - f_2) Q_x = Q_u + S_2 \frac{dh_2}{dt} \quad (.9)$$

L'élimination du débit  $Q_x$  entre les équations (.5) et (.9) nous ramène à un bilan global, à savoir :

$$(1 - f_1)(1 - f_2) Q_p = Q_u + (1 - f_1) S_1 \frac{dh_1}{dt} + S_2 \frac{dh_2}{dt} \quad (.10)$$

Où  $S_1$  représente la section de réservoir RO et  $S_2$  représente la section de réservoir DI.

On définit  $\eta$  le pourcentage global d'utilisation d'EUP :

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_p} \quad (.11)$$

En remplaçant  $\eta$  dans l'équation (.10), on obtient :

$$(1-f_1)(1-f_2) = \eta + (1-f_1) \frac{S_1}{Q_p} \frac{dh_1}{dt} + \frac{S_2}{Q_p} \frac{dh_2}{dt} \quad (.12)$$

Ou encore,

$$\eta = (1-f_1)(1-f_2) - (1-f_2) \frac{S_1}{Q_p} \frac{dh_1}{dt} - \frac{S_2}{Q_p} \frac{dh_2}{dt} \quad (.13)$$

Les réservoirs d'OI et d'eau DI sont dotés de systèmes de détection du niveau de remplissage. Des enregistrements successifs de niveau à des intervalles de temps connus permettent de déduire la vitesse moyenne de déplacement de l'eau dans les réservoirs. On s'intéresse alors aux vitesses de déplacement du fluide (variation de la hauteur de remplissage dans le temps)  $v_1$  et  $v_2$  dans les réservoirs d'OI et d'eau DI respectivement :

$$v_1 = \frac{dh_1}{dt} \quad (.14)$$

$$v_2 = \frac{dh_2}{dt} \quad (.15)$$

Réécrivant le pourcentage de consommation global en fonction des vitesses de déplacement de la surface libre d'eau dans les réservoirs, on obtient :

$$\eta = (1-f_1)(1-f_2) - (1-f_2) \frac{S_1}{Q_p} v_1 - \frac{S_2}{Q_p} v_2 \quad (.16)$$

En absence de recyclage dans les deux réservoirs :

$$\eta = 1 - \frac{S_1}{Q_p} v_1 - \frac{S_2}{Q_p} v_2 \quad (.17)$$

On définit les coefficients  $k_1$  et  $k_2$  propres à chacun des deux réservoirs :

$$k_1 = \frac{S_1}{Q_p} \quad (.18)$$

$$k_2 = \frac{S_2}{Q_p} \quad (.19)$$

La combinaison des équations( .17), ( .18) et ( .19), donne :

$$\eta = 1 - k_1 v_1 - k_2 v_2 \quad (.20)$$

Pour chacun des réservoirs séparés le taux de consommation globale s'écrit sous la forme[24] :

$$\eta = 1 - k v \quad (.21)$$

Auquel cas le taux de consommation est une fonction unique de la vitesse des changements du niveau d'eau du réservoir de stockage. Bien que la consommation quotidienne d'EUP des différentes compagnies de semi-conducteur puisse varier largement de quelques dizaines à plus de 10.000 m<sup>3</sup>/j, la valeur de  $k$  change dans une marge étroite, typiquement de 0,05 à 1,00 (h/m) seulement. Pour n'importe quel système d'EUP équipé d'un réservoir de stockage d'eau DI, le volume total ( $V$ ) et la hauteur totale ( $H$ ) de la citerne doit être connu.

On trace alors le taux de consommation de l'eau en fonction de la vitesse de changement du niveau du réservoir de stockage de l'eau DI ainsi que le taux de consommation en fonction de la vitesse de changement du niveau du réservoir de stockage d'OI.

#### **I.14.1 Réservoir perméable de l'eau osmosée**

À tout moment où  $v$  est déterminée par l'analyse des changements du niveau d'eau dans le réservoir de stockage OI grâce à des capteurs, le taux d'utilisation réelle d'EUP à ce moment peut être identifié instantanément en utilisant le graphique  $\eta-v$ . D'autres facteurs ont aussi une incidence sur la gamme des valeurs de  $\eta$ , notamment  $k$  et  $H$ . Normalement, la hauteur totale d'un réservoir de stockage est conçue de 1 à 10 m. Une fois les plages de ces deux facteurs identifiées,  $k$  peut être estimée entre 0,05 à 1,0. [24]



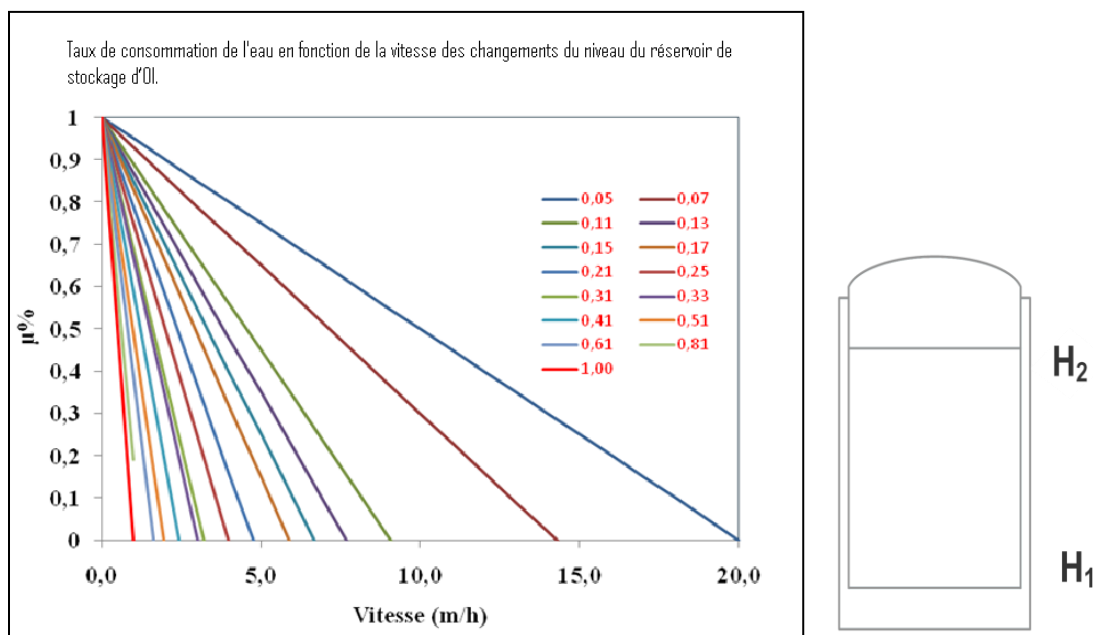


Figure III.2 - Taux de consommation de l'eau en fonction de la vitesse de changement du niveau du réservoir de stockage d'OI.

- Volume = 500 l
- Hauteur H = 110 cm
- Diamètre D = 76 cm

#### I.14.2 Réservoir perméable de l'eau DI (eau déionisée)

D'une manière analogue pour le réservoir de l'eau DI, à tout moment où  $v$  est déterminé par l'analyse des changements du niveau d'eau dans le réservoir de stockage DI grâce à des capteurs, le taux d'utilisation réelle d'EUP à ce moment peut être identifié instantanément en utilisant le graphique  $\eta-v$ , avec  $k$ , variant de 0,4 à 1. [24]

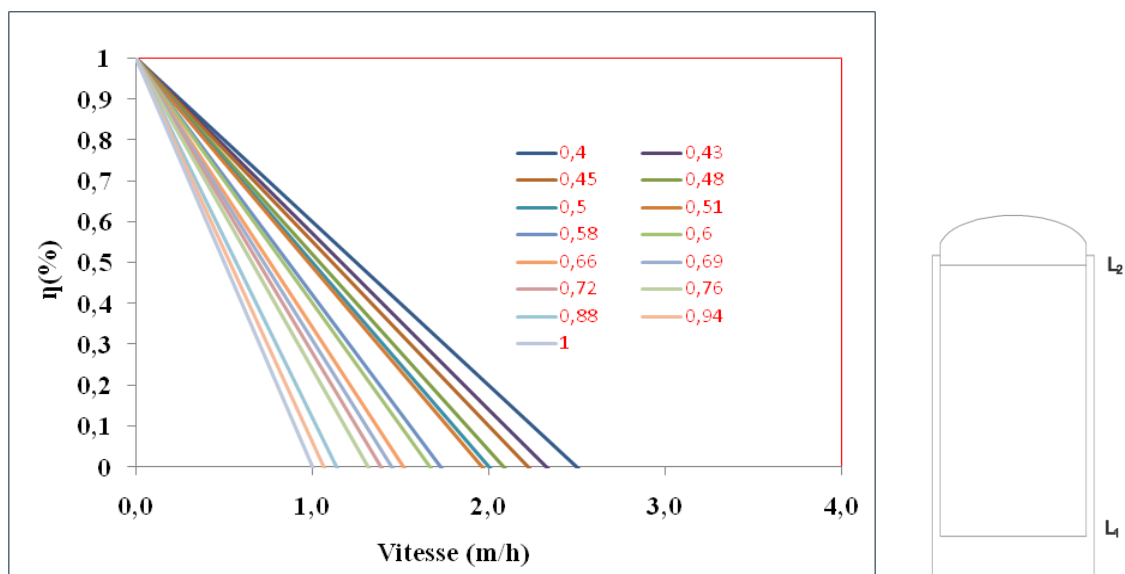


Figure III.3 - Taux de consommation de l'eau en fonction de la vitesse de changement du niveau du réservoir DI.

- Volume = 2500 l
- Hauteur L = 156 cm
- Diamètre D = 152.86 cm

### I.14.3 Fonctionnement simultané des deux réservoirs

la variation du taux de consommation de l'EUP en fonction de la vitesse  $v_2$  de consommation au niveau du réservoir de stockage de l'eau DI et de la vitesse de consommation de l'eau  $v_1$  au niveau du réservoir de stockage OI est représentée sur la figure III.4.

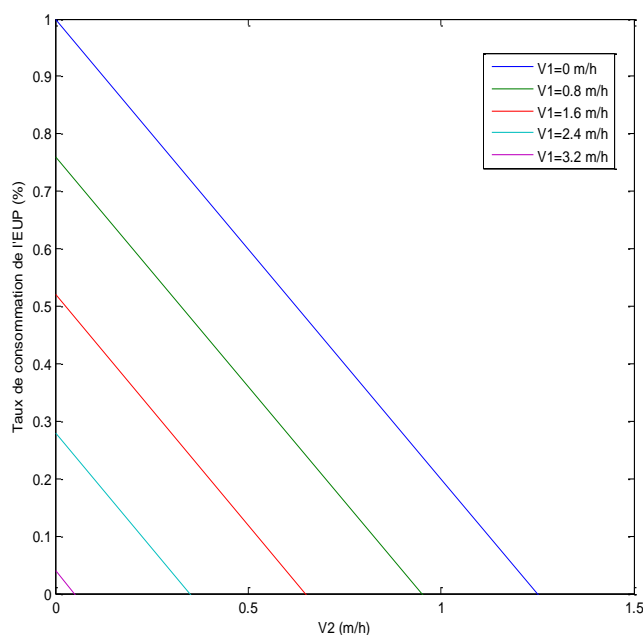


Figure III.4 - Mode de fonctionnement des deux réservoirs en même temps

Cette dernière varie entre 0 et 3,2 m/h, alors que  $v_2$  est variée avec un pas fixe de 0,8m/h. On remarque que le taux de consommation atteint son maximum pour  $v_1 = 0$  et  $v_2 \geq 1,25$ m/h. L'unité OI se lance automatiquement lorsque son réservoir de stockage RO sera vidé et continue à fonctionner sur une période de temps de 0 à F1, appelé le cycle de OI-On. Lorsque le réservoir de stockage RO atteint le niveau haut  $H_2$ , l'unité RO s'arrêtera automatiquement, et par suite le réservoir de l'eau DI fournit continuellement de l'EUP pour les utilisateurs de la salle blanche sur une période de temps de 0 à F2, appelé le cycle OI-Off, jusqu'à ce que les unités de RO recommencent à fonctionner. Ce sont les deux cycles d'approvisionnement de l'EUP dans le système. Pendant le cycle de OI-On, le niveau d'eau devrait augmenter,  $v < 0$ . Pendant le cycle OI-Off le niveau d'eau devrait baisser:  $v > 0$ .

## I.15 CONCLUSION

Ce chapitre nous a permis de développer un modèle mathématique pour notre système de production d'EUP, dans le but d'examiner rapidement le taux de consommation de l'usine en fonction de la vitesse de changement du niveau d'eau du réservoir de stockage. Ceci donne la possibilité de définir le taux de production d'EUP de manière à satisfaire la demande des utilisateurs. A tout moment où  $v$  est déterminée par l'analyse des changements du niveau d'eau

dans le réservoir de stockage grâce à des capteurs, le taux d'utilisation réelle d'EUP à ce moment peut être identifié instantanément en utilisant le graphique  $\eta$ - $v$ .

Nous avons deux cycles d'approvisionnement de l'EUP dans notre système. Pendant le cycle de OI-On, le niveau d'eau devrait augmenter,  $v < 0$ . Pendant le cycle OI-Off le niveau d'eau devrait baisser:  $v > 0$ . La relation  $\eta = 1 - kv$  est toujours valable pour toutes conceptions similaires. Une fois la capacité et le volume du réservoir RO et DI connus, le taux d'utilisation globale d'EUP peut être représenté en fonction de la vitesse de déplacement de la surface d'eau dans les réservoirs. La vitesse de déplacement  $v$  peut être facilement déterminée à partir des données recueillies des capteurs de niveau.

## **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion générale

Ce travail nous a permis de développer un modèle mathématique de notre unité de production d'eau ultra pure (EUP). On déduit par les résultats obtenus de cette étude, qu'à tout moment où la variation de la vitesse de remplissage du réservoir ( $v$ ) est déterminée par l'analyse des changements du niveau d'eau dans le réservoir de stockage grâce à des capteurs, le taux d'utilisation réelle d'EUP à ce moment peut être identifié instantanément en utilisant le graphique  $\eta$ - $v$ .

Nous avons deux cycles d'approvisionnement de l'EUP dans notre système :

- Pendant le cycle de OI-On, le niveau d'eau devrait augmenter,  $v < 0$ .
- Pendant le cycle OI-Off le niveau d'eau devrait baisser:  $v > 0$ .

Cette étude nous a permis aussi d'analyser les principaux concepts relatifs à l'eau ultra pure et son utilisation dans l'industrie des semi conducteurs avec les recommandations suivantes :

- Le stockage de l'eau purifiée, sans recirculation, doit absolument être limité au minimum afin d'éviter une dégradation de sa qualité chimique et bactériologique.
- Le réservoir de stockage doit être étanche et muni d'un filtre à air bactérien pour empêcher la contamination atmosphérique.
- La recirculation continue permet de garantir le maintien de la qualité d'eau en sortie du réservoir.
- Une désinfection périodique est recommandée pour éviter la formation de biofilm. On peut employer pour cela des pastilles relâchant du chlore ou du peroxyde d'hydrogène.
- Les déioniseurs peuvent fonctionner à de très faibles pressions, et contrairement à l'osmose inverse, la qualité ne dépend pas de la pression.
- Afin de minimiser le développement de contamination bactérienne, les cartouches échangeuses d'ions doivent être changées à intervalles réguliers (au moins tous les six mois).
- Toujours vidanger 2 à 3 litres d'eau déionisée après une période d'inactivité, (après le week-end), en particulier si l'eau est utilisée pour des applications critiques.

- Assurer un bon prétraitement, dans le but d'augmenter la durée de vie des membranes RO, tout en contrôlant régulièrement, l'état des filtres.

En perspective, il serait judicieux de :

- ✓ Insérer le concept de récupération et réutilisation des eaux de procédé, tout en installant une station d'épuration et de traitement, au sein de la centrale technologique du CDTA.
- ✓ Etablir les bases nécessaires à une optimisation globale de l'unité de production d'EUP dans le but de minimiser le coût de son fonctionnement.

## **ANNEXES**



SCHEMA DE L'INSTALLATION DE L'USINE E.U.P

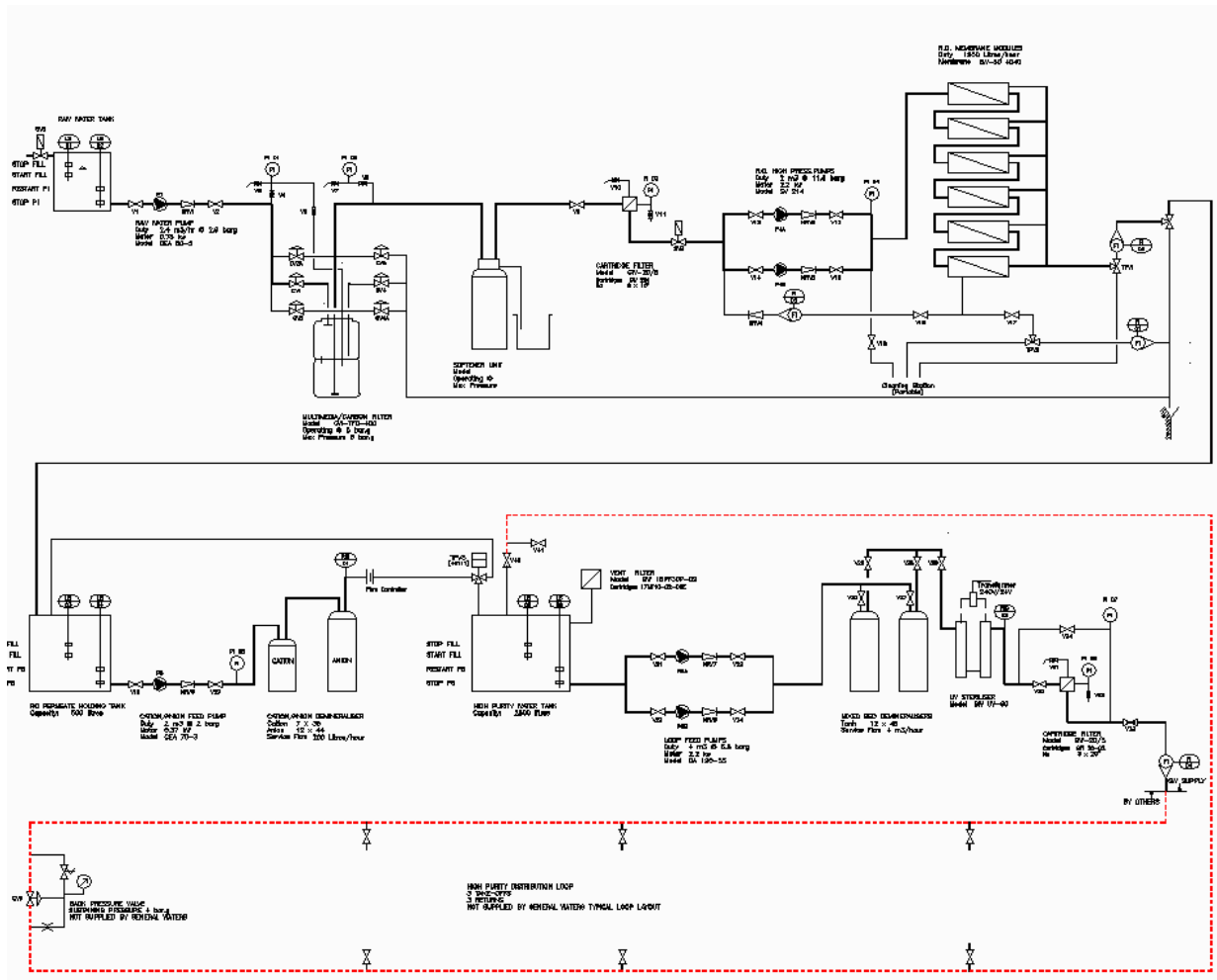


Schéma de l'installation de l'usine E.U.P[14].

**LES CONSOMMABLES**

Le tableau suivant, résume la liste des consommables pour l'unité de production d'EUP à savoir incluant les produits chimiques. Nous citons, le nom du produit, le type (non commercial) et l'équipement pour lequel le produit est destiné.

Produit	Type	équipement
Résine anionique	Puralite MB400	Echangeur d'ion à lit séparé
Résine cationique	Puralite PPC100H	Echangeur d'ion à lit séparé
Résine mixte	Puralite A400MBOH	Echangeur d'ion à lit mixte
Sel de régénération	(Brine, saumure)	Adoucisseur
membrane RO	Film tec RO BW-30 4040	Osmose inverse
Lampes de rechange UV		Stérilisateur UV
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Solution	Nettoyage des conduites en PVDF

Tableau 1 - La liste des consommables de l'unité de production de l'EUP du CDTA.

## ANALYSE PHYSICOCHIMIQUE DE L'EAU, ANNEE 2008



LABORATOIRE CENTRAL

## Fiche d'Analyse

\*Lieu de prélèvement : EAU DE RESEAU ROBINET  
 CLIENT CDTA (centre de developpement technologie avancee)  
 Date de Prélèvement: 29/04/2008

LABO CENTRAL

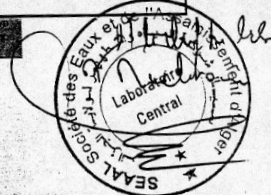
PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	Resultats	Normes NA6360	MINERALISATION GLOBALE	Resultats	Normes NA6360
pH	7,60	6,5 - 8,5	Calcium mg/l	116,58	200
Conductivité $\mu$ S/cm	1224	2800	Magnésium mg/l	33,59	150
CO2 mg/l			Sodium mg/l		200
Turbidité NTU	0,91	5	Potassium mg/l		20
Temperature °C	20,70	25	Chlorure mg/l	133,56	500
Oxygene dissous mg/l		8	Sulfate mg/l	243,54	400
Chlore residuel mg/l	0,35		Bicarbonate mg/l	230,58	
Résidu à 105°C mg/l		2000	Dureté T TH mg CaCO <sub>3</sub> /l		500
MES à 105°C mg/l	11,5		Carbonates mg/l		
MVS %			Dureté T TH °F	40,23	
huiles et graisses			TAC mg CaCO <sub>3</sub> /l		
TDS mg/l	610		TA °F		
			TAC °F	18,90	
PARAMETRES DE POLLUTION	Resultats	Normes NA6360	ELEMENTS INDISIRABLE	Resultats	Normes NA6360
Ammonium mg/l	<0,02	0,5	Fer total mg/l	0,06	0,3
Azote kheldjal m/l					
Nitrites mg/l	<0,02	0,1	Fer II mg/l		0,3
Nitrates mg/l	13,95	50	Manganese Mn mg/l		0,5
O-Phosphate mg/l	<0,09	0,5	Aluminium Al mg/l		0,2
Phosphate P/T P/PO4					
Matiere oxydable mg/l		3			
ANALYSES FINES	Resultats	Normes NA6360	PARAMETRES BACTERIOLOGIQUE	Resultats	JO N°35 27/05/98
DBO <sub>5</sub> mg/l			Coliformes totaux UFC/100 ml		0
DCO mg/l	<30		Coliformes fécaux UFC/100 ml		0
Fluor mg/l		0,3 - 2	Streptocoques fécaux UFC/100 ml		0
Nickel Ni mg/l		0,01	PSEUDEUMONAS UFC/100 ml		
Cadmium Cd mg/l		0,01	SULFITO REDUCTEUR UFC/100 ml		
Plomb mg/l		0,05			
Chrome Cr mg/l		0,05			
Cuivre Cu mg/l		0,05			

OBSERVATION : EAU DE QUALITE PHYSICO CHIMIE CONFORME AUX NORMES EN VIGUEUR

N.A : 6360

Norme Algérienne

Les résultats d'analyse sont donnés sous réserve de la validité des résultats dans le cas où le prélèvement a été effectué dans les conditions de validité des résultats.




Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger

Siège : 97, Parc Ben Omar 16050 BP 249 Kouba Alger - SPA au capital de 1 000 000 000 DA - RC : 0880973312 - IF: 000616189009636 - Art.Imp.: 16181610710

Analyse physicochimique de l'eau faite en 2008

**ANALYSE BACTERIOLOGIQUE DE L'EAU, ANNEE 2008**




LABORATOIRE CENTRAL

## Fiche d'Analyse

Lieu de prélèvement : **EAU DE RESEAU**  
 CLIENT : **CDTA**  
 Date de Prélèvement: **20/05/2008**

LABO CENTRAL


PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	Resultats	Normes NA6360	MINERALISATION GLOBALE	Resultats	Normes NA6360
pH		6,5 - 8,5	Calcium mg/l		200
Conductivité µS/cm		2800	Magnésium mg/l		150
CO2 mg/l	<b>ABS</b>		Sodium mg/l		200
Turbidité NTU		5	Potassium mg/l		20
Temperature °C		25	Chlorure mg/l		500
Oxygène dissous mg/l		8	Sulfate mg/l		400
Chlore résiduel mg/l			Bicarbonate mg/l		
Résidu à 105°C mg/l		2000	Duréte T TH mg CaCO <sub>3</sub> /l		500
MES à 105°C mg/l			Carbonates mg/l		
MVS %			Duréte T TH °F		
huiles et graisses			TAC mg CaCO <sub>3</sub> /l		
TDS mg/l			TA °F		
		TAC °F			
PARAMETRES DE POLLUTION		Normes NA6360	ELEMENTS INDISIRABLE	Resultats	Normes NA6360
Ammonium mg/l		0,5	Fer total mg/l		0,3
Azote kheldjal m/l			Fer II mg/l		0,3
Nitrites mg/l		0,1	Manganese Mn mg/l		0,5
Nitrates mg/l		50	Aluminium Al mg/l		0,2
O-Phosphate mg/l		0,5			
Phosphate P/T P/PO <sub>4</sub>					
Matiere oxydable mg/l		3			
ANALYSES FINES		Normes NA6360	PARAMETRES BACTERIOLOGIQUE	Resultats	JO N°35 27/05/98
DBO <sub>5</sub> mg/l			Coliformes totaux UFC/100 ml	0	0
DCO mg/l			Coliformes fécaux UFC/100 ml	0	0
Fluor mg/l		0,3 - 2	Streptocoques fécaux UFC/100 ml	0	0
Nickel Ni mg/l		0,01	PSEUDEUMONAS UFC/100 ml		
Cadmium Cd mg/l		0,01	SULFITO REDUCTEUR UFC/100 ml		
Plomb mg/l		0,05			
Chrome Cr mg/l		0,05			
Cuivre Cu mg/l		0,05			
<b>OBSERVATION : EAU DE QUALITE BACTERIOLOGIQUES CONFORME AUX NORMES EN VIGUEUR</b>					



Siège : 97, Parc Ben Omar 16050 BP 249 Kouba Alger - SPA au capital de 1 000 000 000 DA - RC : 0680973312 - IF: 000616189009636 - Art.Imp.: 16181610710

Analyse Bactériologique de l'eau faite en 2008

## ANALYSE PHYSICOCHIMIQUE DE L'EAU, ANNEE 2011



SEAAL  
NDRes

97 Parc Ben Omar, BP 49  
16050 Kouba - Alger  
Tel +213 (0)21 98 68 03  
Fax +213 (0)21 68 97 52

Devis/Contrat : <b>2011D060013</b>	<b>CLIENT PRIVE</b>
Nom du contrat : CDTA	-
Echantillon enregistré le : 05 juin 2011 14:33	<b>Algérie</b>
Echantillon N° : <b>180916</b>	

<b>Rapport d'essai</b>	<b>2011 / 180916 - 01</b>
------------------------	---------------------------

Alger, le mercredi 29 juin 2011

Prélevement du :	05/06/2011	Conditionné par :	Nos soins
Prélevé par :	Medjda MALOUFI	Typologie :	-
Point de surveillance :	CDTA		
Matrice :	Eaux Propres		

**Recommandations :**

**RESULTATS D'ESSAIS :**

PARAMETRE	NORME / METHODE	RESULTAT	UNITES
<b>Chimie</b>			
<b>Paramètres minéraux</b>			
Dosage du calcium	ISO 6058 NA 1655	69.73	mg/l
Détermination du titre hydrotimétrique	ISO 6059 NA 752	30.9	°f
Dosage du magnésium	ISO 6059 NA 752	33	mg/l
Dosage des bicarbonates	T 90-036	180	mg/l
Détermination du titre alcalimétrique	T 90-036	0	°f
Détermination du titre alcalimétrique complet	T 90-036	15	°f
Dosage des chlorures	NF ISO 9297	95.75	mg/l
Détermination des sulfates	NF EN ISO 22743	160	mg/l
<b>Paramètres physico-chimiques/pollutions</b>			
Détermination de la turbidité	NA 746	1	NTU
Détermination de l'azote ammoniacal	NF EN ISO 11732	0.11	mg/l
Détermination du pH	NA 751	8.35	-
Détermination de la conductivité électrique	NA 749	844	µs / cm
Dosage des nitrates	NF EN ISO 13395	9.7	mg/l
Dosage des nitrites	NF EN ISO 13395	<0.02	mg/l
Dosage des orthophosphates	NF EN ISO 15681-2	<0.09	mg/l

**Conclusion :** *Qualité physico-chimique de l'eau aux normes en vigueur*

**MECHAOUI Ahmed**  
 Chef de Service Exploitation  
 Laboratoire Central  
 Direction Régionale de l'Assainissement  
 d'Alger

Le présent rapport d'essai ne concerne que les échantillons soumis aux essais. Il comporte 2 page(s). La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il ne doit pas être reproduit partiellement sans l'approbation du laboratoire d'essais.

2011 / 180916 - 01
Page 1/2

Analyse physicochimique de l'eau faite en 2011

## ANALYSE BACTERIOLOGIQUE DE L'EAU, ANNEE 2011



سيال  
SEAAL  
NBRes

97 Parc Ben Omar, BP 49  
16050 Kouba - Alger  
Tel +213 (0)21 98 68 03  
Fax +213 (0)21 68 97 52

Devis/Contrat : <b>2011D060018</b>	<b>CLIENT PRIVE</b>
Nom du contrat : CDTA	-
Echantillon enregistré le : 07 juin 2011 10:45	<b>Algérie</b>
Echantillon N° : <b>181727</b>	

Rapport d'essai : <b>2011 / 181727 - 01</b>	Alger, le mercredi 29 juin 2011
---	---------------------------------

Prélevement du : 07/06/2011	Prélevé par : Djamila RAMI	Conditionné par : Nos soins
Point de surveillance : CDTA		
Matrice : Eaux Propres		Typologie : -

Recommandations :

**RESULTATS D'ESSAIS :**

PARAMETRE	NORME / METHODE	RESULTAT	UNITES
<b>Biologie</b>			
<b>Bactériologie</b>			
Recherche et dénombrement des bactéries coliformes	NF EN ISO 9308-1	0	UFC/100 ml
Recherche et dénombrement d'Escherichia coli	NF EN ISO 9308-1	0	UFC/100 ml
Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux	NA 766 ISO 7899-2	0	UFC/100 ml

**Conclusion :**  
L'échantillon est conforme pour les paramètres analysés aux limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine. (Norme Algérienne NA 6360 : "Norme de Potabilité des eaux de consommation")



**Chef de Service**  
**Exploitation**  
**MECHTAOUI Ahmed**




**L. FARAH**  
**Responsable**  
**Laboratoire Central**

Le présent rapport d'essai ne concerne que les échantillons soumis aux essais. Il comporte 1 page(s). La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il ne doit pas être reproduit partiellement sans l'approbation du laboratoire d'essais.

2011 / 181727 - 01
Page 1/1

Analyse bactériologique de l'eau faite en 2011

**ANALYSE DE LA TOC ET LA TDS DE L'EAU, ANNEE 2011**



SEAL  
NBRes

97 Parc Ben Omar, BP 49  
16050 Kouba - Alger  
Tel +213 (0)21 98 68 03  
Fax +213 (0)21 68 97 52

Devis/Contrat : <b>2011D070012</b>	<b>CLIENT PRIVE</b>
Nom du contrat : CDTA	-
Echantillon enregistré le : 04 juil. 2011 11:06	<b>Algérie</b>
Echantillon N° : <b>185168</b>	

<b>Rapport d'essai</b>	<b>2011 / 185168 - 01</b>
------------------------	---------------------------

Alger, le lundi 29 août 2011

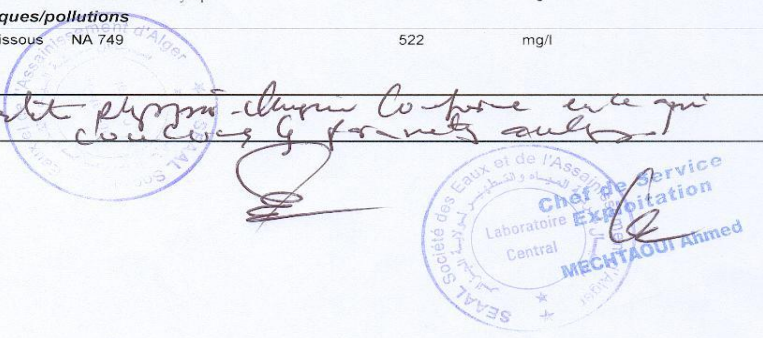
Prélevement du :	04/07/2011	Conditionné par :	Vos soins
Prélevé par :	Vos Soins	Typologie :	-
Point de surveillance :	CDTA		
Matrice :	Eaux Propres		

Recommandations :

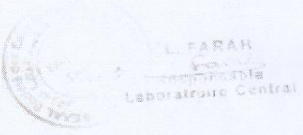
**RESULTATS D'ESSAIS :**

PARAMETRE	NORME / METHODE	RESULTAT	UNITES
<b>Chimie</b>			
<b>Paramètres organiques</b>			
Mesure du COT	Combustion analytique	3.6	mg/l
<b>Paramètres physico-chimiques/pollutions</b>			
Détermination du taux de sel dissous	NA 749	522	mg/l

Conclusion : *Qualité physico-chimique conforme avec les données fournies.*



SEAL Société des Eaux et de l'Assainissement  
Laboratoire Central  
MECHTAOUI Ahmed  
Chef de Service Exploitation



L. FARAH  
Laboratoire Central

Le présent rapport d'essai ne concerne que les échantillons soumis aux essais. Il comporte 1 page(s). La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il ne doit pas être reproduit partiellement sans l'approbation du laboratoire d'essais.

2011 / 185168 - 01

Page 1/1

Analyse de la TDS et COT de l'eau faite en 2011

## Liste des abréviations

CMos : Complémentary metal oxide semi-conducteur.

CDTA : Centre de développement des technologies avancées.

EUP : Eau ultra pure.

OI : Osmose inverse.

DI : Echangeur d'ion.

EPPI : Eau purifié pour préparation injectable.

PPb : Partie par billion.

PPt : Partie par trillion.

M.Ω.cm : Méga Ohms.cm (unités de mesure de la résistivité de l'eau).

SCMH : Standard cubique par centimètre.

l/h : litre/heure.

COT : Carbone organique totale.

TDS : Taux de solide dissous.

μs/cm : Microsiémens par centimètre.

PLC : Programme logique control.

TH : Titre Hydrotimétrique.

Pompes HP : Pompe haute pression.

EDTA : Acide éthylène diamine tétracétique.

OGM : Organismes Génétiquement Modifiés

Rayonnement UV : Rayonnement ultraviolet.



ADN : acide désoxyribonucléique

PH : Un sigle signifiant potentiel hydrogène, qui représente la mesure de l'alcalinité en chimie.

nm : nanomètre.

Wop : Coût de service (\$/hr).

W : Puissance de pompage(Kw).

Pc : Coût de l'énergie (\$.kw/hr)

Q : Débit.

RO : Réserve osmosique.

°F: Degré français : unité de mesure du titre hydrométrique.

## Références

- [1] Jean-Marc BERLAND, C. JUERY, Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau, document technique FNDAE (Fonds National pour le Développement des Adductions) N°14 ed, Décembre 2000.
- [2] M.J. Marc, Eau ultrapure et semi-conducteur, 25 Mars 2011.
- [3] E. Riboni, Chézard-Saint-Martin, Purification de l'eau dans l'industrie, Mars 2003.
- [4] B. J. Wang, L. L. Lee, C. H. Chen, C. N. Chang, A.C. Chao., Optimization of Semiconductor Processing Water Management Strategy, journal of environmental informatics N° 2, juin 2005.
- [5] M+W Zander, Total facility solutions, complément annexe5, juillet, 2007.
- [6] P. Baronas, guide de l'ultra – propreté, conception, réalisation, 3ème édition ed., 2000.
- [7] Dégrément, Memento Technique de l'eau, dixième ed, 2007.
- [8] w.o. (l'encyclopédie). in: Fabrication des dispositifs à semi-conducteurs, dernière modification le 28 juin 2011 à 12:17, pp. Portail des micro et nanotechnologies. Portail de l'électricité et de l'électronique.
- [9] C. Desjardins, Approche pratique du traitement de l'air, 2000.
- [10] <http://nanomonde.minatec.inpg.fr/spip.php.article14>.
- [11] D. Friedrich, CMOS Documentations\_1µm CMOS Process Description Friedrich, ISiT, 2005.
- [12] N.C. COMBESCURE Mathieu FAGES An, VAUR Mathieu, in, Office international de l'eau Service National d'Information et de Documentation sur l'Eau (SNIDE), 2002.
- [13] J.G. Anna Cadoret, Manon Huon-Potin, Julie Rouxel, in, U.C.O. Bretagne Nord 2005-2006.
- [14] M+W Zander, Operating and instruction manuel for exwidnes roan plant M+W Zander, 2005.
- [15] Revu, Memotec n°32: Les analyses physico-chimique d'une eau, 01/01/2006.
- [16] P. BACCHIN, Principes de bases de la filtration membranaire, Sciences et Technologies à Membranes, 2005.
- [17] [www.dowwaterandprocess.com](http://www.dowwaterandprocess.com).
- [18] MEYER Jean Marc, Eau ultrapure et semi-conducteur, Les usages de l'eau dans les activités de micro et nanotechnologies au CEA Grenoble, 25 Mars 2011. Disponible sur le site : <http://www.ovivowater.com>.
- [19] W. Byrne, Reverse Osmosis, A Practical Guide for Industrial Users, 1995.
- [20] Degremont, Water treatment handbook, sixth edition ed, 1991.
- [21] J.R. Bolton, Ultraviolet Applications Handbook, 2nd Ed ed., Canada, 2001.

[22] <http://www.leenntech.fr>.

[23] S. Gillot<sup>1</sup>, B. De Clercq<sup>1</sup>, D. Defour<sup>2</sup>, F. Simoens<sup>2</sup>, K. Gernaey<sup>1</sup>, P. A. Vanrolleghem<sup>1</sup>, OPTIMIZATION OF WASTEWATER TREATMENT PLANT DESIGN AND OPERATION USING SIMULATION AND COST ANALYSIS,<sup>1</sup> Biomath Department, University of Gent, B-9000 Gent, Belgium<sup>2</sup>, Biotim, Fotografielaan 30, B-2610 Wilrijk, Belgium,1999.

[24] Wu, Ming / Sun, Darren / Hwa Tay, Joo, « Development of a practical model for capacity evaluation of ultrapure water systems», Desalination, 161 (3), p.223, Mar 2004, doi:10.1016/S0011-9164(03)00703-3, Published journal article available from science direct.