

INTERNATIONAL  
CONFERENCE ON  
DESALINATION AND  
SUSTAINABILITY

1 - 2 March 2012



الجمعية المغربية للأغشية و تحلية المياه



in cooperation with



supported by



CASABLANCA 2012

MOROCCO

**LE DESSALEMENT EN TUNISIE:  
EXPERIENCE ET STRATEGIE**

**MOHAMED ALI KHOUAJA**

MOR12-024



## **PLAN**

### **INTRODUCTION**

- I. PRESENTATION DE LA SONEDE**
- II. RESSOURCES EN EAU EN TUNISIE**
- III. LES SYSTEMES DE PRODUCTION**
- IV. LE DESSALEMENT D'EAU**
- V. PROGRAMME NATIONAL D'AMELIORATION DE LA QUALITE**
- VI. LE DESSALEMENT D'EAU DE MER**
- VII. DESSALEMENT PAR LES ENERGIES RENOUVELABLES**

### **CONCLUSION**



## **Introduction**

□ Le manque des ressources en eau de bonne qualité ainsi que le déséquilibre entre l'offre et la demande en eau constituent deux contraintes majeures.

□ En effet, et contrairement à la croissance continue de la demande en eau, la Tunisie dispose de ressources hydrauliques limitées et inégalement réparties dans le temps et dans l'espace.



## I. PRESENTATION DE LA SONEDE

**Date de création** : 2 Juillet 1968

**Statut juridique** : Établissement public à caractère non administratif

**Tutelle** : Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques et de la pêche

**Mission de la SONEDE**: Fourniture de l'eau potable sur tout le territoire tunisien

**Activités de la SONEDE** :

❖ **Production de l'eau** : production, traitement et transport

❖ **Distribution de l'eau** : gestion et entretien du réseau d'eau potable et des équipements et gestion des abonnés

❖ **Développement** : études, travaux et approvisionnement



## I. PRESENTATION DE LA SONEDE

### La SONEDE en chiffres 2010 :

<b>Population (Million)</b>	<b>10,615</b>
<b>Nombre d'abonnés (Million abonnés)</b>	<b>2,304</b>
<b>Volume consommé (million m<sup>3</sup>)</b>	<b>387,6</b>
<b>Longueur du réseau (Km)</b>	<b>46 674</b>
<b>Nombre de réservoirs</b>	<b>1 054</b>
<b>Nombre de forages</b>	<b>500</b>
<b>Nombre de stations de traitement</b>	<b>12</b>
<b>Nombre de stations de dessalement</b>	<b>4</b>



## I. PRESENTATION DE LA SONEDE

### Les réalisations de la SONEDE en 2010 :

<b>Nombre de fuites(en unités)</b>	<b>147 733</b>
<b>Nombre de casses (en unités)</b>	<b>13 407</b>
<b>Nouveaux branchements(en unités)</b>	<b>80 341</b>
<b>Conduites posées (Km)</b>	<b>992</b>
<b>Consommation spécifique Domestique (l/j/hab)</b>	<b>89</b>
<b>Consommation spécifique à usage touristique (l/j/lit occupé)</b>	<b>513</b>
<b>Rendement réseau de distribution</b>	<b>82,1%</b>



## I. PRESENTATION DE LA SONEDE

Taux de desserte – Taux de branchement en 2010 :

	Taux de desserte	Taux de branchement
<b>Zone urbaine</b>	<b>100 %</b>	<b>99,3 %</b>
<b>Zone rurale (*)</b>	<b>49 %</b>	<b>44,4 %</b>
<b>Total</b>	<b>82,7 %</b>	<b>82,6 %</b>

(\*) Taux de desserte du GR en milieu rural en 2010 est de 44,5% soit un taux global en milieu rural (SONEDE+GR) de 93,5%



## II. LES RESSOURCES EN EAU EN TUNISIE

Les ressources en eau mobilisables en Tunisie sont de 4660 millions de m<sup>3</sup>/an réparties comme suit :

En Millions m<sup>3</sup>

	Ressources			ANNEE	
	Potentielles	Mobilisables		2009	2016
Eaux de surface	2700	2480	53%	2200	2480
Eaux Souterraines	2180	2180	47%	1920	1970
<b>Total</b>	<b>4880</b>	<b>4660</b>	<b>100%</b>	<b>4120</b>	<b>4450</b>
Taux de mob en %	-	-		88	95



Le quota potentiel annuel par habitant est faible :

- 460 m<sup>3</sup>/an/habitant

(Seuil de pauvreté = 1000 m<sup>3</sup>/an/hab ; Seuil de pénurie = 500 m<sup>3</sup>/an/hab)



## II. LES RESSOURCES EN EAU EN TUNISIE

### Qualité et répartition géographique

Seulement 49 % des ressources en eau ont une salinité inférieure à 1,5 g/l localisées principalement dans le Nord. :

En Millions m<sup>3</sup>

	RS ≤ 1,5 g/l			RS > 1,5 g/l	Total
	Nord	Centre et Sud	Total		
Eaux de surface	1651 (90%)	184	1835 74%	645	2480
Eaux Souterraines	262 (60%)	174	436 20%	1744	2180
Total	1913 (84%)	358	2271 49%	2389	4660
(%)	41%	8%	49%	51%	100%

84% des ressources de bonne qualité (salinité inférieure à 1,5 g/l) sont localisées dans le Nord du pays : **grande disparité régionale**



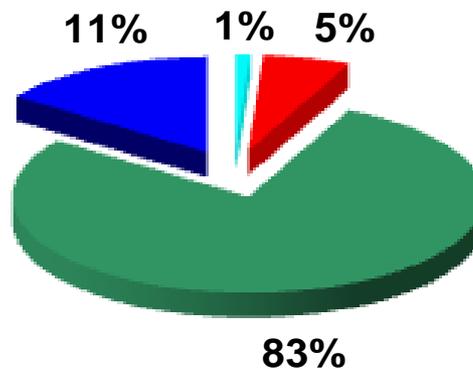
## II. LES RESSOURCES EN EAU EN TUNISIE

### L'usage de l'eau

L'utilisation de l'eau en Tunisie est répartie comme suit :

- ❑ **83 %** des ressources utilisées sont destinées à l'**Agriculture**.
- ❑ **17 %** des ressources utilisées sont destinées à l'**eau potable**.

Repartition de demande /secteur



■ Tourisme ■ Industrie ■ Agriculture ■ Domestique



## II. LES RESSOURCES EN EAU EN TUNISIE

### Stratégie :

Une stratégie nationale a été mise en place ayant pour but d'atténuer le déséquilibre dans la répartition des ressources et le renforcement des ressources actuelles tout en garantissant une bonne qualité de l'eau.

Pour réaliser cette stratégie, la SONEDE a eu recours à plusieurs moyens dont :

- Le transfert sur des longues distances
- L'utilisation de ressources non conventionnelles : le Dessalement.



## III. LES SYSTEMES DE PRODUCTION

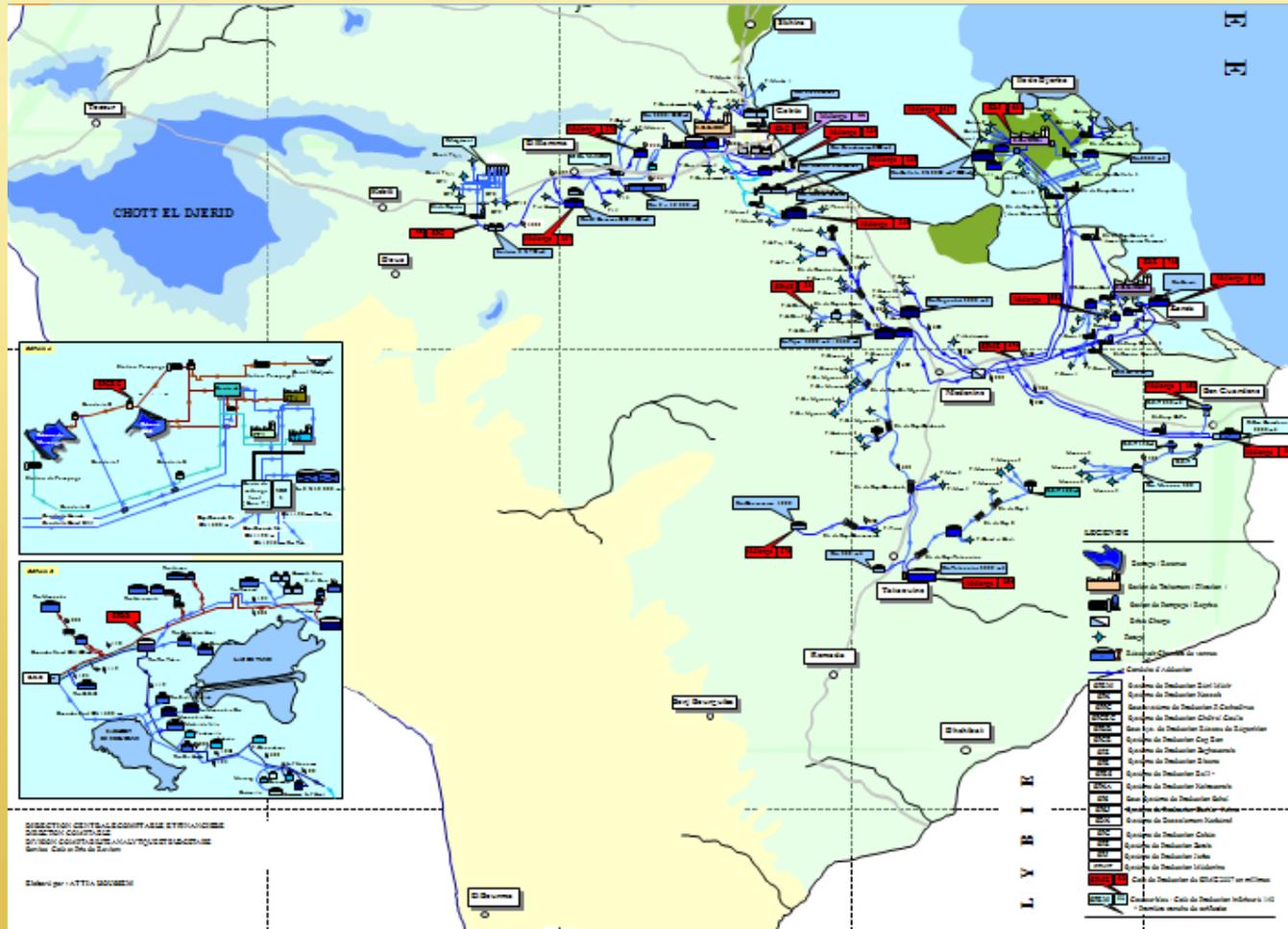
### Systemes de production Nord et Centre :





## III. LES SYSTEMES DE PRODUCTION

### Systeme de production Sud :





## IV. LE DESSALEMENT DE L'EAU

### L'importance du dessalement :

- Le dessalement de l'eau est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce (potable) à partir d'une eau saumâtre ou eau de mer
  
- Le choix de la solution « dessalement » doit faire l'objet d'une comparaison technico-économique avec le transfert de l'eau douce
  
- Le dessalement permet :
  - Le renforcement des ressources en eau
  - L'amélioration de la qualité de l'eau distribuée
  - La sécurisation de la desserte des grands pôles de consommations localisés sur les zones côtières.



## **IV. LE DESSALEMENT DE L'EAU**

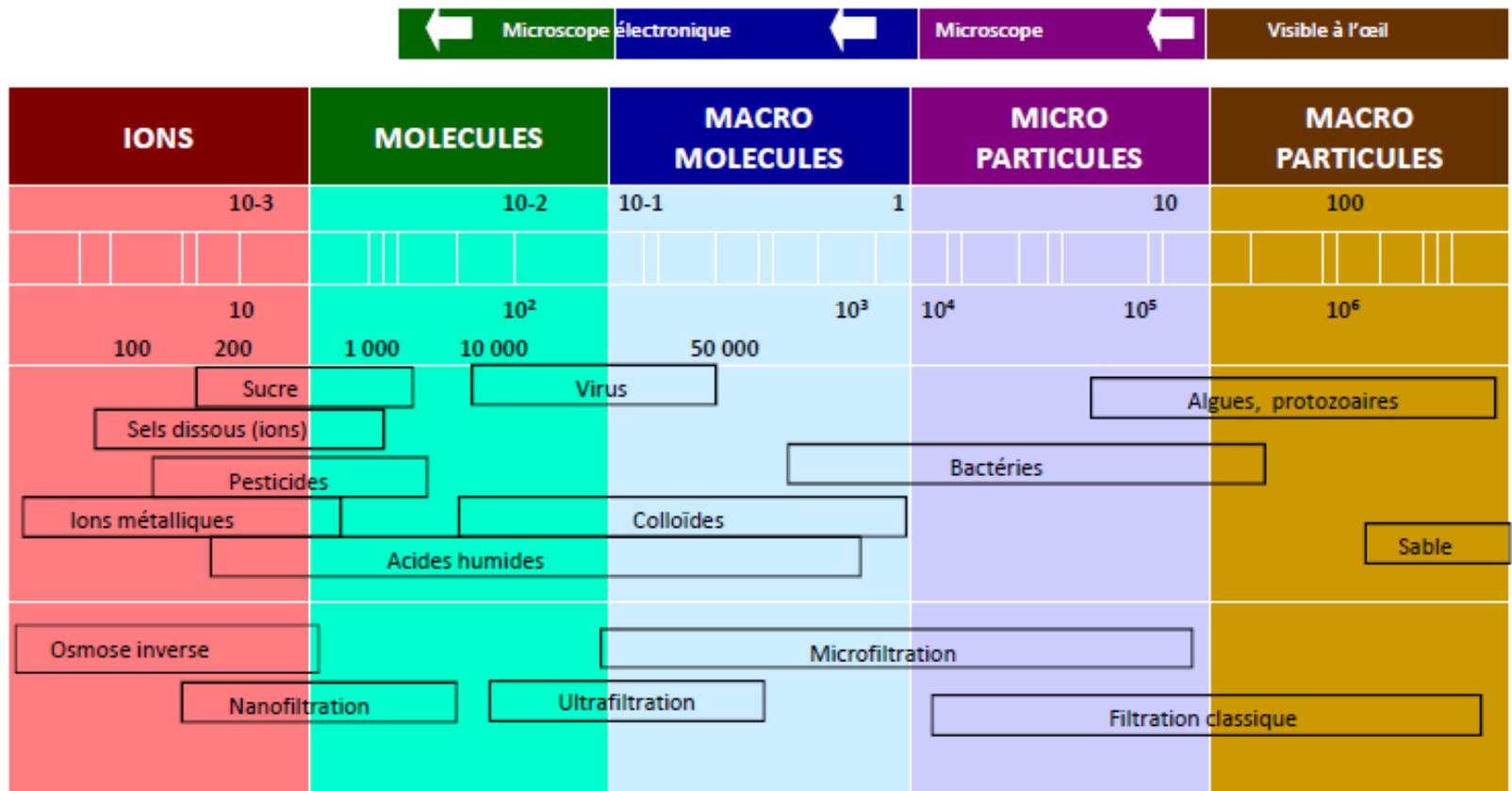
### **Les techniques de dessalement**

- ❖ Les techniques thermiques ( changement de phase):
  - La distillation MSF
  - La distillation MED
  - La compression de vapeur
  - La cogeneration
  
- ❖ Les techniques membranaires:
  - L'osmose inverse
  - L'électrodialyse
  
- ❖ Les procédés chimiques:
  - Les résines échangeuses d'ions



## IV. LE DESSALEMENT DE L'EAU

### Filtration



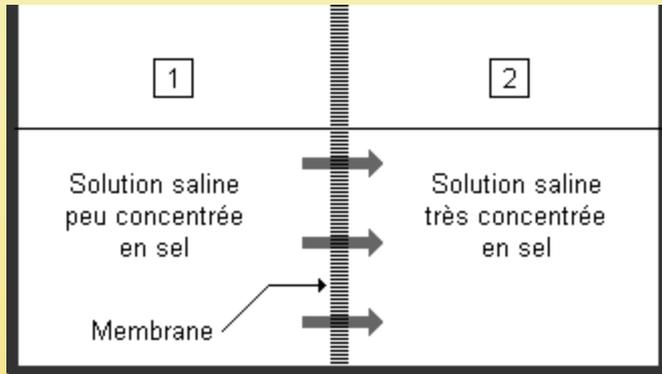
Note : Angström = 10<sup>-10</sup> mètre = 10<sup>-4</sup> micron



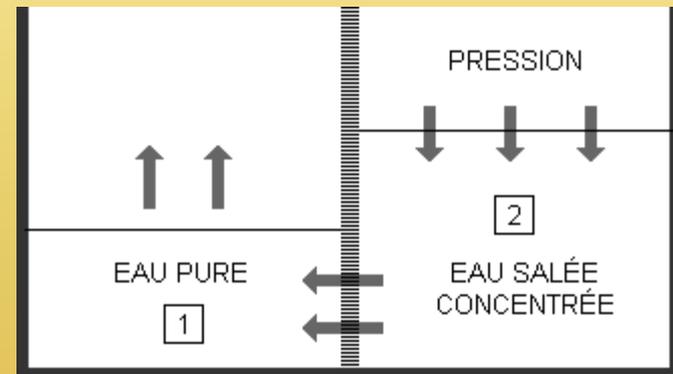
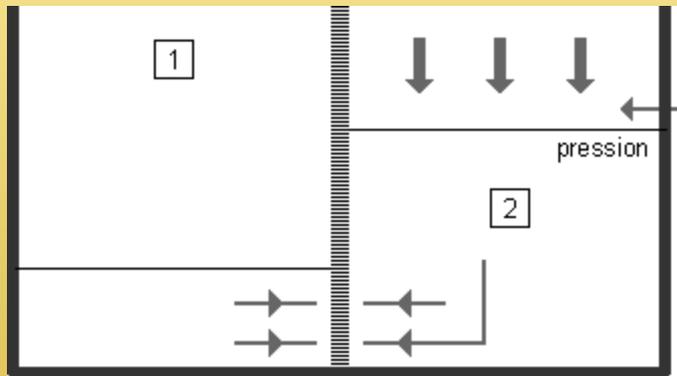
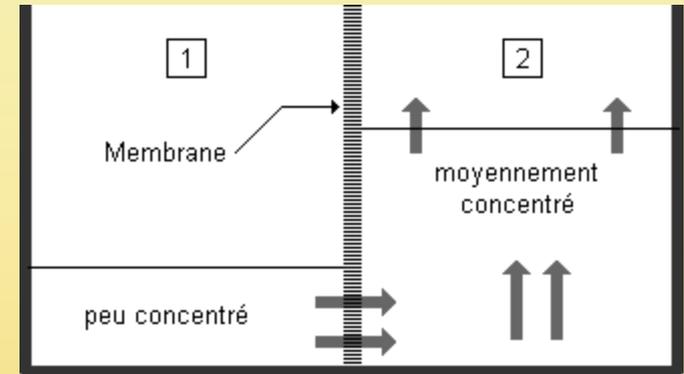


## IV. LE DESSALEMENT DE L'EAU

### Phénomène d'osmose



1) Sol 1 → Sol 2 : Equilibrer les concentrations en sel



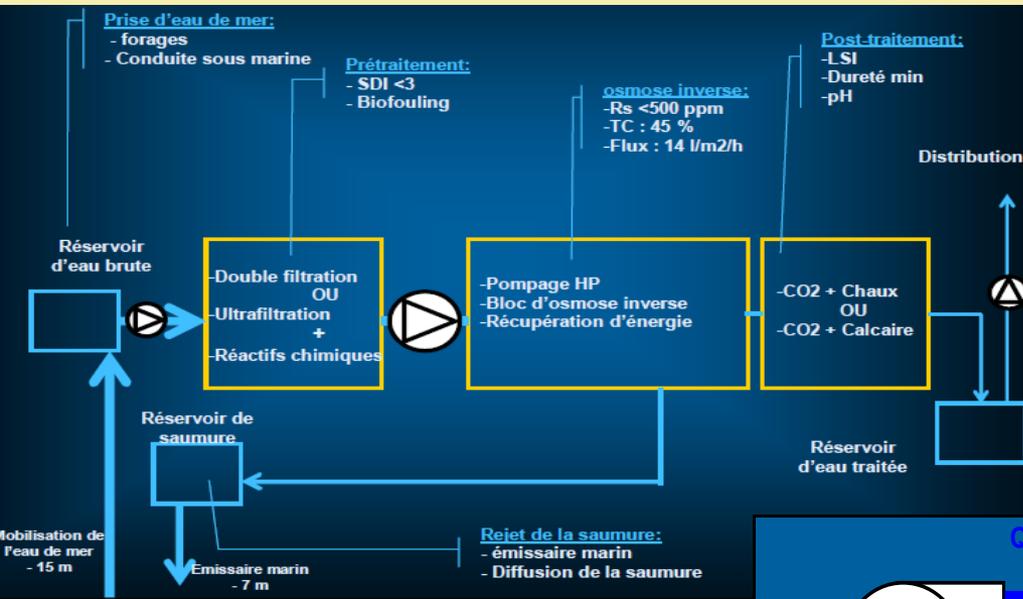
2) Equilibre osmotique

3) Osmose Inverse



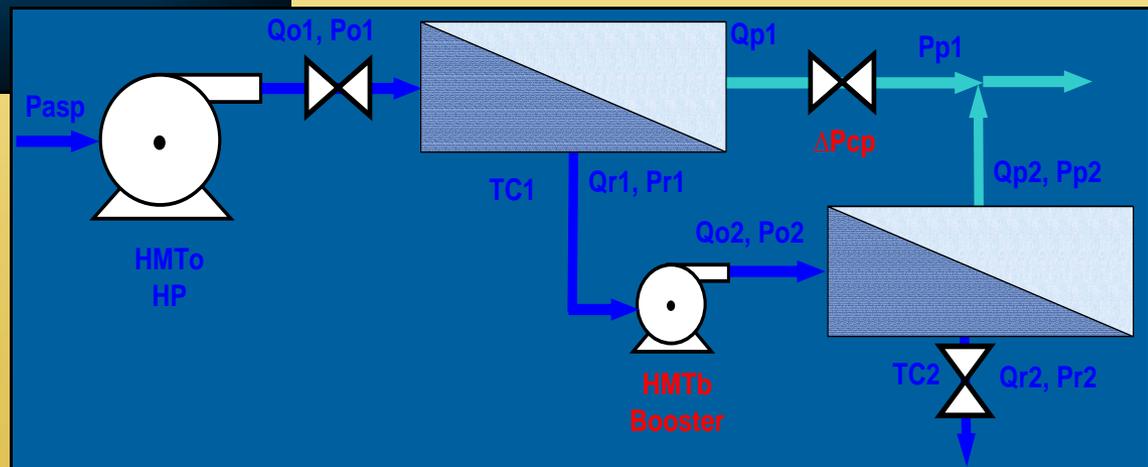
## IV. LE DESSALEMENT DE L'EAU

### Principe d'une S.D d'osmose inverse



Eau de mer

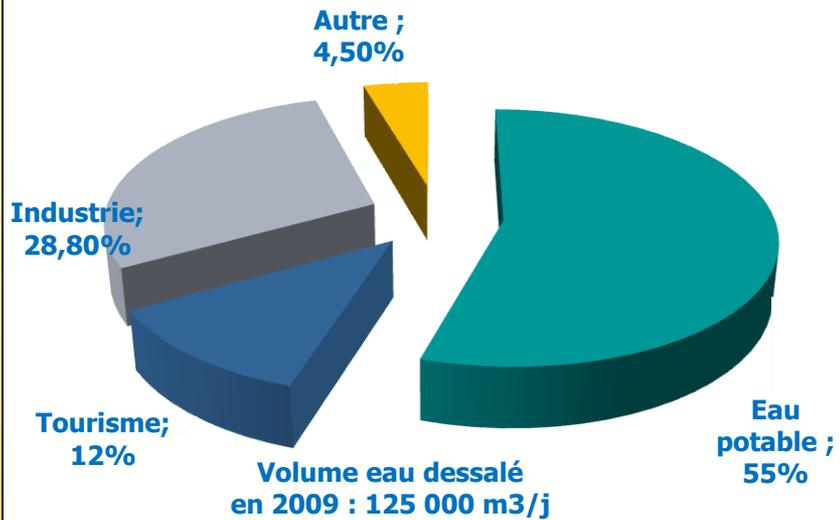
Eau saumâtre



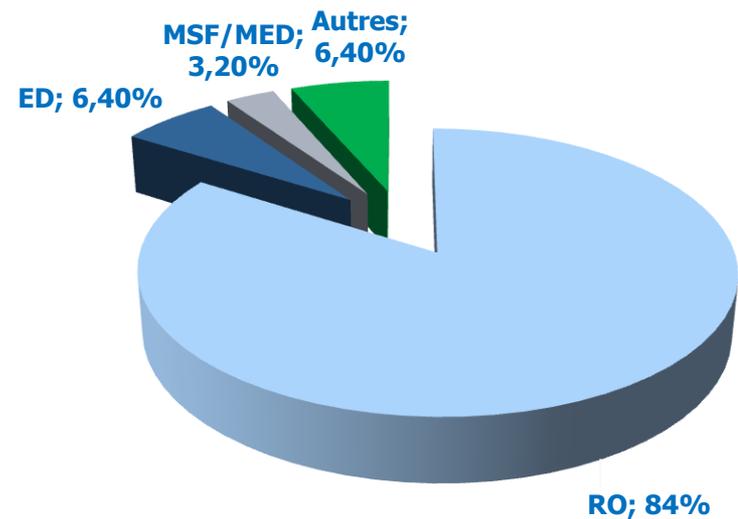


## IV. LE DESSALEMENT DE L'EAU

### Dessalement par secteur



### Dessalement par procédé





## IV. LE DESSALEMENT DE L'EAU

### Stations de dessalement de la SONEDE

Stations	Capacité m <sup>3</sup> /jour	Mise en service	Eau brute (g/l)	Taux de Conversion
<b>Kerkennah</b>	<b>3300</b>	<b>1983</b>	<b>3.6</b>	<b>75%</b>
<b>Gabès</b>	<b>34000</b>	<b>1995</b>	<b>3.2</b>	<b>74%</b>
<b>Zarzis</b>	<b>15000</b>	<b>1999</b>	<b>6.0</b>	<b>75%</b>
<b>Jerba</b>	<b>15000</b>	<b>2000</b>	<b>6.0</b>	<b>75%</b>
<b>Jerba extension</b>	<b>5000</b>	<b>2007</b>	<b>6.0</b>	<b>75%</b>
<b>Total</b>	<b>72 300</b>			



## V. Expérience de la SONEDE dans le domaine du dessalement

### 1) La station de Kerkennah servait comme un laboratoire pour la SONEDE

- **Problème de membranes en acétate de cellulose qui perdaient rapidement leurs performances initiales**
- **Les eaux étant chargées en Fer, les filtres à sable n'assuraient pas un bon indice de colmatage ( $SDI >4$ )**





## V. Expérience de la SONEDE dans le domaine du dessalement

### Intervention majeurs

- **Changement des membranes en acétate de cellulose par le polyamide composite: la salinité du perméat est passée de 700 ppm à 110 ppm**
- **La consommation en énergie a baissé de 1.7 à 1.2 KWh/m<sup>3</sup>**
- **Equipement des pompes HP de variateurs de vitesse**
- **Fonctionnement en mode anaérobie permettant de garder le fer en solution (SDI faible) sans filtration**
- **Renforcement du niveau de contrôle et d'automatisme de la station**



## **V. Expérience de la SONEDE dans le domaine du dessalement**

### **2) Station de dessalement de Gabès**

**a) A sa mise en service, le colmatage biologique des membranes (biofouling) posait un problème majeur**

- ❖ **Un problème qui a persisté pendant une année: une fréquence de lavage des membranes élevée**
- ❖ **Résolution du problème par l'arrêt de la chloration et la déchloration après que la SONEDE ait réussi à caractériser le phénomène de biofouling**

### **b) Augmentation de la capacité de production**

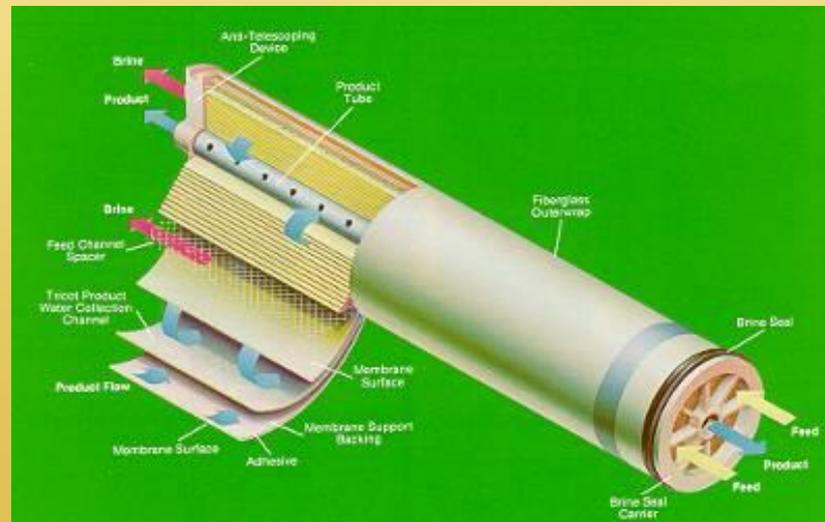
- **Suite à une étude faite par la SONEDE, il a été décidé de réviser à la hausse le taux de conversion de 65 à 74 % et la capacité unitaire par ligne de 7500 à 8500 m<sup>3</sup>/J**



## V. Expérience de la SONEDE dans le domaine du dessalement

c) Optimisation de l'exploitation par un choix judicieux d'antitartre organique et l'arrêt de l'acide

d) Equipement de la station avec une quatrième ligne de production en 2006 avec un design permettant de limiter la consommation d'énergie





## V. Expérience de la SONEDE dans le domaine du dessalement

### 3) Station de dessalement de Jerba et Jarzis

#### a) Traitement des sulfures

- La teneur en sulfures était élevée (12 ppm) par rapport au design (1.4 ppm). Plusieurs procédés ont été développés:
  - Précipitation par le sulfate de cuivre
  - Oxydation à l'air et à l'hypochlorite de sodium
  - Opération en anaérobie



#### b) Augmentation de la capacité

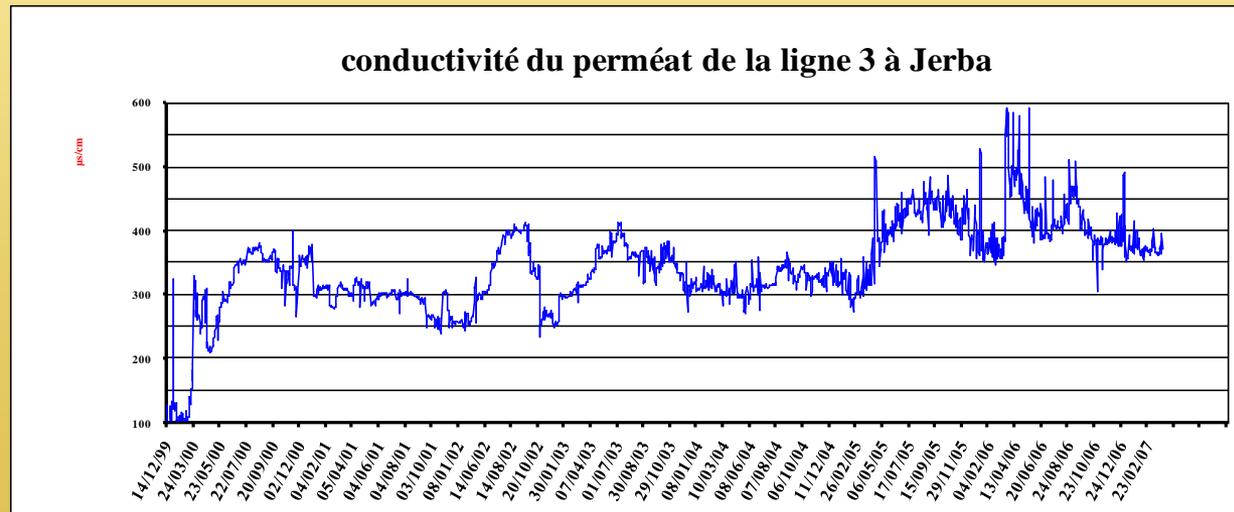
- La capacité a été étendue de 12000 à 15000 m<sup>3</sup>/j contre 1.5 millions de dinars, soit un coût marginal du m<sup>3</sup>/j installé égal au 1/4 du coût moyen.



## V. Expérience de la SONEDE dans le domaine du dessalement

c) Optimisation de l'exploitation par un choix judicieux d'antitartre organique et l'arrêt de l'acide

e) Les stations fonctionnent depuis 1999 et uniquement 40% des membranes ont été changées.

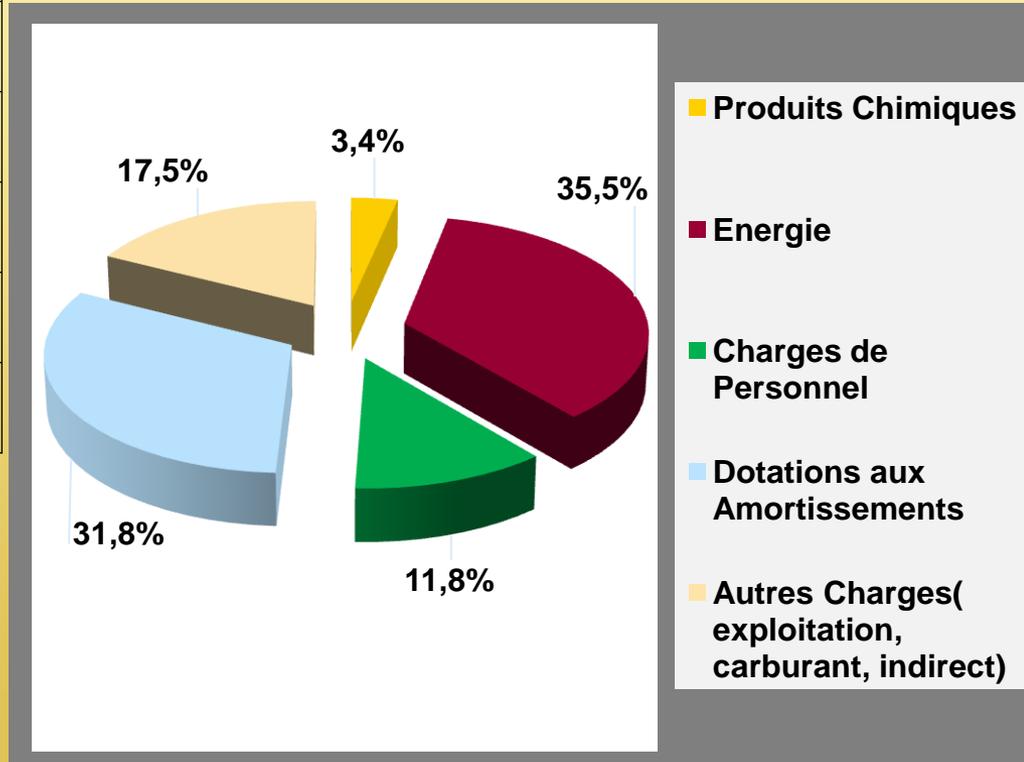




## V. Expérience de la SONEDE dans le domaine du dessalement

Coût de production de l'eau dessalée année 2010

Station de dessalement	Volume (m3)	Coût ( DT/m3)
Kerkennah	1395411	0,626
Gabes	10971013	0,303
Jerba	8102123	0,614
Zarzis	6947678	0,692
<b>Total</b>	<b>27416225</b>	<b>0,510</b>





## **VI. PROGRAMME NATIONAL D'AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU**

### **a) Objectif**

- Réduction de la salinité de l'eau desservie jusqu'à 1.5 g/l au maximum, quoi que la norme tunisienne NT09.14, stipule 2.5 g/l

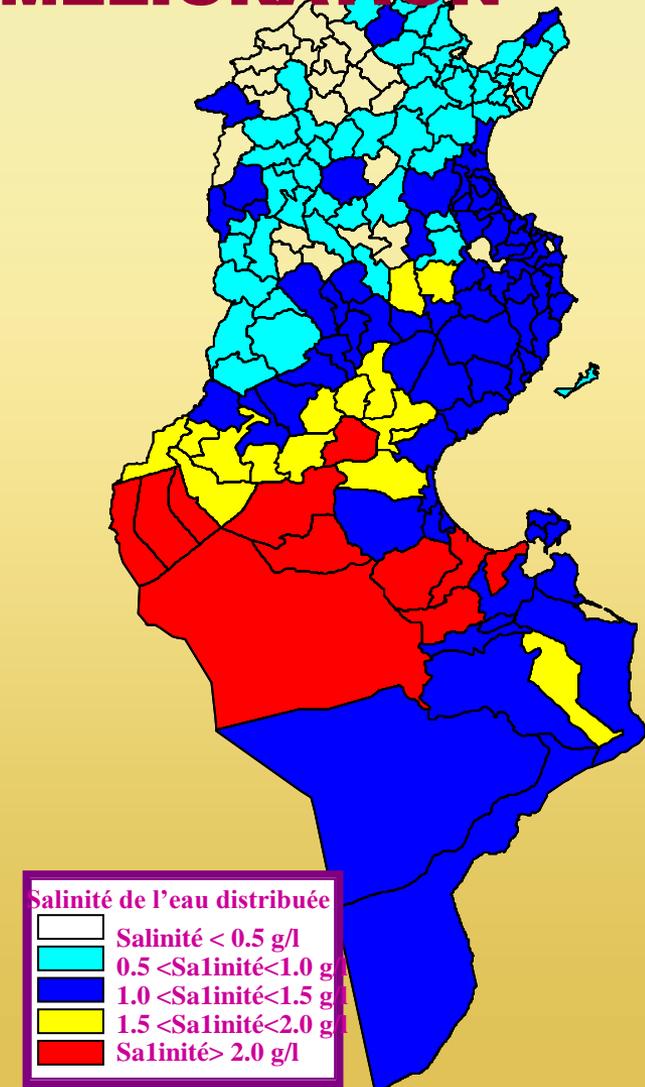
### **b) Approche**

- Etablissement d'une base de données à base d'un SIG traitant de la salinité, la dureté et la teneur en sulfates à l'échelle de délégation
- Identification des zones d'intervention, établissement des études et identification des projets

## VI. PROGRAMME NATIONAL D'AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU

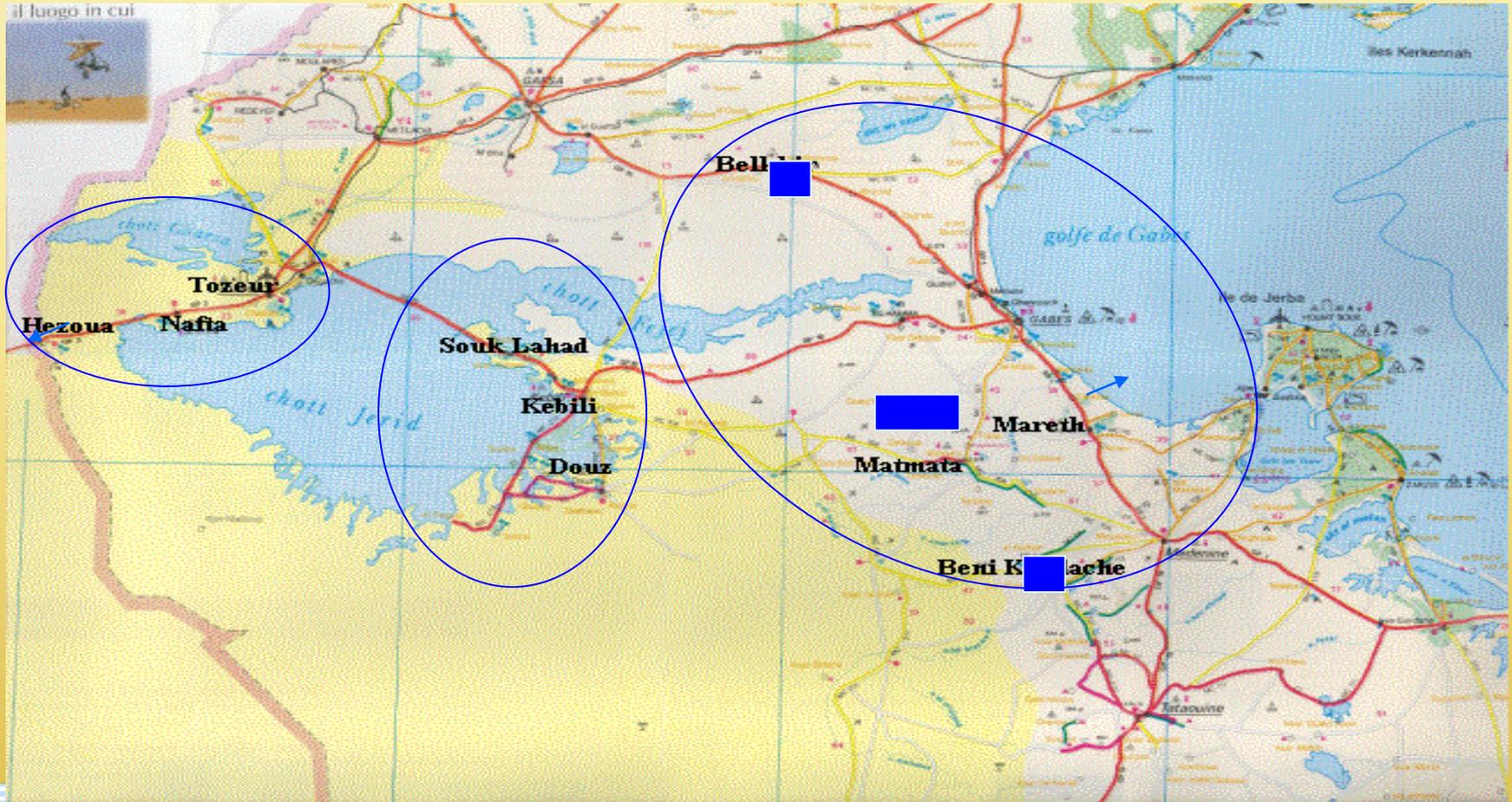
### c) Réalisation du programme en deux phases

- Une première phase portant sur les régions ayant plus que 2 g/l de salinité et une population supérieure à 4000 habitants. En cours de réalisation, mise en service prévu pour 2013
- Une deuxième phase portant sur les régions ayant entre 1.5 g/l et 2.0 g/l de salinité et une population supérieure à 4000 habitants. En phase d'étude.





## VI. PROGRAMME NATIONAL D'AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU



Site des projets de la première phase et systèmes de rejet de la saumure



## VI. PROGRAMME NATIONAL D'AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU

### d) Projets de la première phase

Gouvernorat	Site de la station	Capacité m <sup>3</sup> /jour	Technologie	Nb lignes
Tozeur	Tozeur	6000	OI	3/2000
	Nafta	4000	OI	2/2000
	Hezoua	800	OI	1/800
Kébili	Kébi	6000	OI	3/2000
	Souk Lahad	4000	OI	2/2000
	Douz	4000	OI	2/2000
Gabès	Matmata	4000	OI	2/2000
	Mareth	5000	OI	2/2500
Médenine	Béni Khédache	800	OI	1/800
Gafsa	Belkhir	1600	Electrodialyse réversible (EDR)	2/800
Total		36200	31	



## VI. PROGRAMME NATIONAL D'AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU

### e) Projets de la deuxième phase

Gouvernorat	Site de la station	Capacité m <sup>3</sup> /jour	Technologie	Nb lignes
Tozeur	Dégueche	2500	OI/EDR	1
Kébili	Kébili extension	2000	OI/EDR	1
Sidi Bouzid	El Meknassi- Mazouna-Bouzian	2000	OI/EDR	1
Médenine	Ben Guerdane	7500	OI/EDR	3
Gafsa	Gafsa nord-Gafsa	9000	OI/EDR	3
	sud-Ksar			
	Mdhila-Gtar- Ayeycha	2500	OI/EDR	1
	Metlaoui	3000	OI/EDR	1
	Redayef-Moulares	4000	OI/EDR	2
<b>Total</b>		<b>32500</b>		



## VII. DESSALEMENT D'EAU DE MER

Dans le cadre de l'exécution du programme national, il a été décidé la réalisation des stations de dessalement d'eau de mer et la maîtrise des technologies y afférentes.

Dans ce contexte, quatre (04) projets de dessalement d'eau de mer ont été programmés.



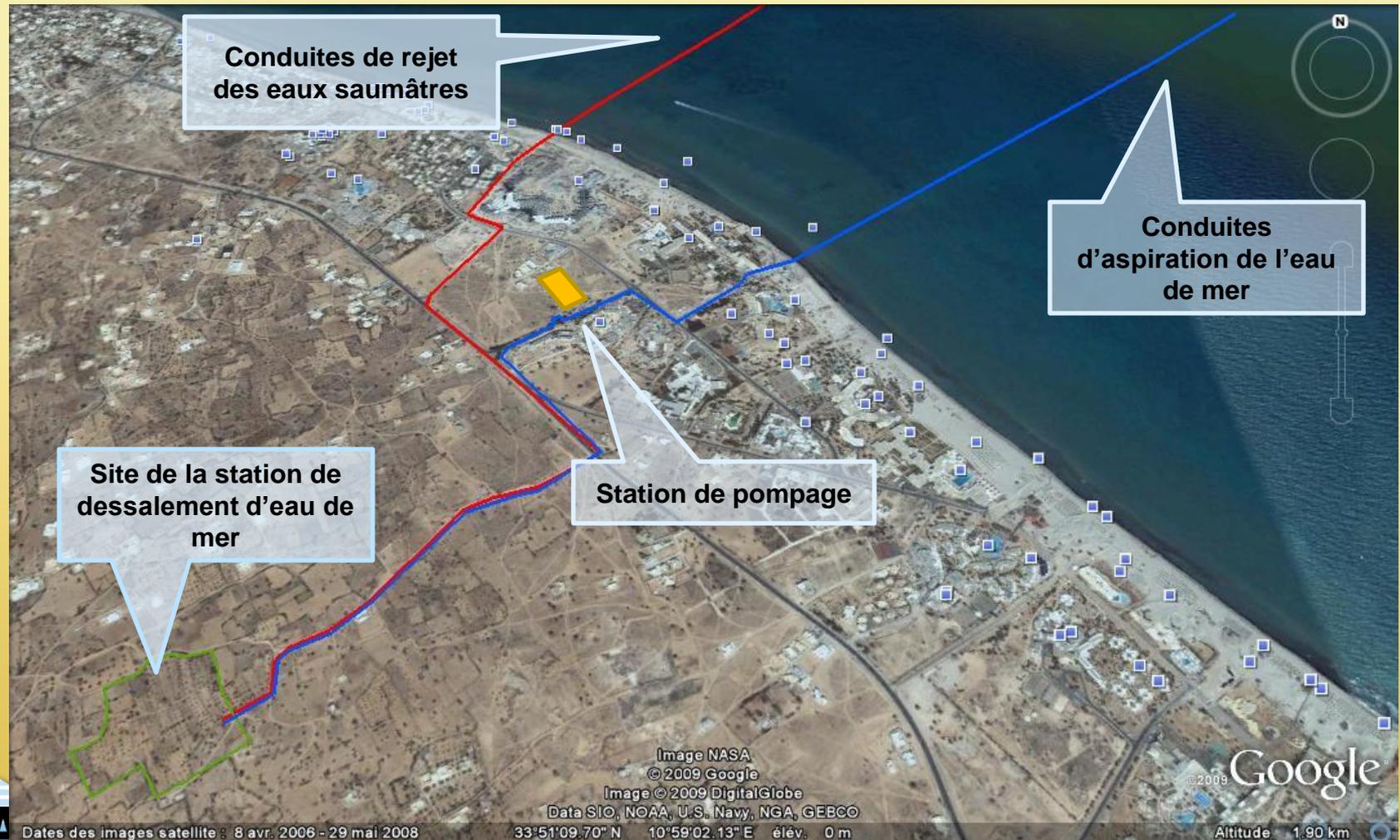
## VII. DESSALEMENT D'EAU DE MER

### VII.1 Station de dessalement d'eau de mer à Jerba

- ❑ **Objectif : renforcement des ressources en eau et l'amélioration de la qualité des eaux distribuées.**
  - ❑ **Mode de réalisation : Clé en main.**
  - ❑ **Consistance du projet :**
    - **Prise d'eau de mer, station de dessalement et rejet de la saumure.**
    - **Station de dessalement 50 000 m<sup>3</sup>/j par la technique de l'OI**
    - **Stockage des eaux produites après mélange avec les eaux saumâtres.**
    - **Déférisation des eaux saumâtres de mélange.**
    - **Raccordement de la station de dessalement au réseau de distribution.**
    - **Coût du projet : 130 millions DT (65 millions €)**
- Avancement du projet: Lancement de l'AO en 2012.**



## VII.1 Station de dessalement d'eau de mer à Jerba





## VII. DESSALEMENT D'EAU DE MER

### VII.2 Station de dessalement d'eau de mer à Zarat

- ❑ Objectif : renforcement des ressources en eau et l'amélioration de la qualité des eaux distribuées pour les gouvernorats de Gabès et Médenine jusqu'à l'échéance 2030.
- ❑ Mode de réalisation : EPC ou concession.
- ❑ Consistance du projet :
  - Prise d'eau de mer, station de dessalement et rejet de la saumure.
  - Station de dessalement 50 000 m<sup>3</sup>/j par la technique de l'OI
  - Raccordement de la station de dessalement au réseau de distribution.
  - Coût du projet : 130 millions DT (65 millions €)

Avancement du projet: Présélection des bureaux d'études achevée et choix du bureau d'étude en cours.



## VII. DESSALEMENT D'EAU DE MER

### VII.3 Station de dessalement d'eau de mer à Sfax

- ❑ Objectif : renforcement des ressources en eau et l'amélioration de la qualité des eaux distribuées pour le Grand Sfax.
- ❑ Capacité 150 000 m<sup>3</sup>/j qui sera réalisée en trois phases.
- ❑ Mode de réalisation : Par voie de concession.
- ❑ Consistance du projet :
  - Prise d'eau de mer, station de dessalement et rejet de la saumure.
  - Station de dessalement 150 000 m<sup>3</sup>/j par la technique de l'OI
  - Raccordement de la station de dessalement au réseau de répartition du Grand Sfax .
  - Coût du projet (1<sup>ère</sup> phase) : 150 millions DT (75 millions €)

Avancement du projet: Requête de financement de l'étude en cours.



## VII. DESSALEMENT D'EAU DE MER

### VII.4 Station de dessalement d'eau de mer à Kerkennah

- ❑ Objectif : renforcement des ressources en eau et l'amélioration de la qualité des eaux distribuées dans les îles de Kerkennah.
- ❑ Mode de réalisation : clé en main.
- ❑ Consistance du projet :
  - Prise d'eau de mer, station de dessalement et rejet de la saumure.
  - Station de dessalement 6 000 m<sup>3</sup>/j par la technique de l'osmose inverse.
  - Raccordement de la station de dessalement au réseau de distribution .
  - Coût du projet : 20 millions DT (10 millions €)
- ❑ Avancement du projet: Requête de financement pour les études en cours.



## VII. DESSALEMENT D'EAU DE MER

### VII.5 Maîtrise des techniques de dessalement et des coûts

La maîtrise de la technologie et des coûts est assurée par les actions suivantes :

- La participation dans les programmes de recherche et de formation pour la maîtrise des techniques de dessalement.
- Organisation d'un séminaire international sur le dessalement en Tunisie en 2008.
- Formation des auditeurs des systèmes d'eau.
- Participation dans la formation dans le domaine de dessalement dans les universités et les écoles supérieures des ingénieurs.



## **VIII. DESSALEMENT PAR LES ÉNERGIES RENOUVELABLES**

### **VIII-1 Dessalement par l'énergie solaire à Ben Guerdane**

Dans le cadre de la coopération avec le gouvernement Japonais, le projet de dessalement des eaux saumâtres par l'utilisation de l'énergie photovoltaïque à Ben Guerdane a été retenu pour un coût de 20 millions DT.

Le projet consiste à :

- La construction d'une station de dessalement de Capacité 1800 m<sup>3</sup>/j , en utilisant l'énergie provenant des cellules photovoltaïques (200 Kwc)
- La construction d'un étang d'évaporation
- L'électrification et l'équipement d'un forage profond
- Fourniture et pose de 6 Km de conduites.

Avancement : Contrat avec le constructeur signé le 6 février 2012

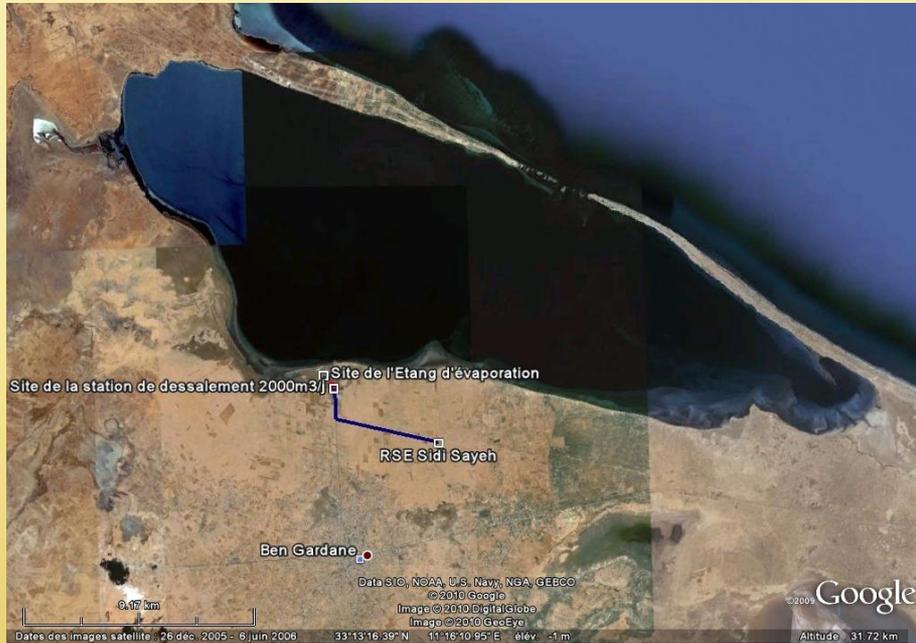
Délai d'exécution 13 mois.

40



## VIII. DESSALEMENT PAR LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

### VII-1 Dessalement par l'énergie solaire à Ben Guerdane





## VIII. DESSALEMENT PAR LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

### VIII.2 Dessalement par l'énergie photovoltaïque à Ksar Ghilène

Le projet consiste à :

- La construction d'une station de dessalement de Capacité 15 m<sup>3</sup>/j, en utilisant l'énergie photovoltaïque comme source d'électricité.
- Qualité de l'eau : 5 700 TDS (28–35°C)
- Puissance du champ photovoltaïque : 10 kWc





## **VIII. DESSALEMENT PAR LES ÉNERGIES RENOUVELABLES**

### **VIII.3 Dessalement en milieu rural par l'énergie photovoltaïque**

Dans le cadre de la promotion de l'énergie solaire photovoltaïque et l'amélioration des conditions de vie de la population rurale, le projet de réalisation de 45 stations de dessalement de capacité cumulée 200m<sup>3</sup>/j dans les gouvernorats de MEDENINE, TATAOUINE et KEBILI est programmé par l'agence Nationale de Maitrise de l'Energie avec la collaboration du Ministere De L'agriculture, Des Ressources Hydrauliques et de La Peche (SONEDE, DGGREE et les CRDA de Medenine, Tataouine et Kébili).

Ce projet est financé par la JICA. Le dossier d'appel d'offres en cours .



## CONCLUSION

- Le recours aux ressources non conventionnelles est nécessaire et sera de 7% à l'horizon 2030 (4 % dessalement, 3% eau réutilisée pour l'agriculture).
- Le dessalement des eaux saumâtres et de l'eau de mer constitue un pilier de la stratégie national d'approvisionnement en eau potable.
- la réduction des coûts par la maîtrise des systèmes de récupération d'énergie permet un développement très important du dessalement d'eau de mer dans le futur.



***Merci pour votre attention***