

CPET, Continued
Professional
Education
and Training



THE MIDDLE EAST DESALINATION RESEARCH CENTER

Estimation des coûts des usines de dessalement SWRO

***3ème journée : Coûts du projet
de dessalement - Tendances,
exemples et session interactive***

Jeudi 27 juin 2013



Water Globe

10h30 - 12h00

***3.2 Exemple d'estimation
des coûts d'un projet SWRO***
Nikolay Voutchkov, PE, BCEE

Exemple d'estimation de coûts - Aperçu

- ▶ Description du projet
- ▶ Répartition des Coûts d'investissement du projet
- ▶ Coûts de F&E annuels
- ▶ Estimation du Coût de l'eau



Projet de dessalement SWRO 40 MLD - Eau méditerranéenne

- ▶ Capacité de production de l'usine :
 - Production annuelle moyenne = 40 MLD
 - Production minimale = 36 MLD
 - Production maximale (capacité installée) = 44 MLD
 - Capacité installée = 44 MLD (10 % marge opérationnelle)
- ▶ Disponibilité de l'usine = 96 % (350 jours par an)
- ▶ Prise offshore ouverte - Profondeur 10 m et 500 m de longueur
- ▶ Rejets par diffuseurs - 200 m de longueur

Effet de la qualité de l'eau produite sur les coûts

Effet de la qualité de l'eau produite cible sur les coûts de l'eau			
Qualité de l'eau produite cible	Coûts de construction	Coûts F&E	Coût de l'eau
TDS = 500 mg/L Chlorure = 250 mg/L Bore = 1 mg/L Bromure = 0,8 mg/L	1,00	1,00	1,00
TDS = 250 mg/L Chlorure = 100 mg/L Bore = 0,75 mg/L Bromure = 0,5 mg/L	1,15 – 1,25	1,05 – 1,10	1,10 – 1,18
TDS = 100 mg/L Chlorure = 50 mg/L Bore = 0,5 mg/L Bromure = 0,2 mg/L	1,27 – 1,38	1,18 – 1,25	1,23 – 1,32
TDS = 30 mg/L Chlorure = 10 mg/L Bore = 0,3 mg/L Bromure = 0,1 mg/L	1,40 – 1,55	1,32 – 1,45	1,36 – 1,50

Qualité de l'eau de source et produite Système RO à passage simple

QUALITÉ DE L'EAU DE PERMÉAT OSMOSE INVERSE SOURCE EAU DE MER MEDITERRANÉE			
PARAMÈTRE QUALITÉ DE L'EAU	QUALITÉ DE L'EAU DE MER DE SOURCE MÉDITERRANÉE	QUALITÉ DE L'EAU DE PERMÉAT	
		Système SWRO passage simple	Système RO deux passages partiels partagés
Température, °C	16 – 28	17 – 29	18 – 30
pH	8,1	6,3 – 7,2	7,9 – 8,1
Ca ²⁺ , mg/L	480	4,0 – 2,0	0,35 – 0,45
Mg ²⁺ , mg/L	4558	1,9 – 2,8	0,5 – 1,0
Na ⁺ , mg/L	12.200	98 - 196	15 - 34
K ⁺ , mg/L	480	3,0 – 5,5	0,8 – 1,8
CO ₃ ²⁻ , mg/L	5,6	0,0	0,0
HCO ₃ ⁻ , mg/L	160	1,7 – 2,4	0,5 – 0,8
SO ₄ ²⁻ , mg/L	3.190	2,9 – 6,3	1,4 – 2,95
Cl ⁻ , mg/L	22.340	169 – 260	25 – 52
F ⁻ , mg/L	1,4	0,7 – 1,1	0,5 – 0,8
NO ₃ ⁻ , mg/L	0,00	0,00	0,00
B ⁻ , mg/L	5,0	0,9 – 1,5	0,4 – 0,6
Br ⁻ , mg/L	80	0,9 – 1,3	0,35 – 0,6
TDS, mg/L	40.500	280 – 480	45 - 95

Prise offshore ouverte - Paramètres clés de la qualité de l'eau de source liés au choix du pré-traitement

- ▶ Turbidité = 0,5 – 10 NTU (moy. = 2 NTU) ;
- ▶ TSS = 2 – 20 mg/L (moy. = 5 mg/L) ;
- ▶ SDI₅ = 8 – 16 (moy. 10)
- ▶ Mesure algale = 500 – 20 000 cellules/L
- ▶ TSS = 0,2 – 1,5 mg/L
- ▶ Chlorophylle a = 0,2 – 0,8 µg/L

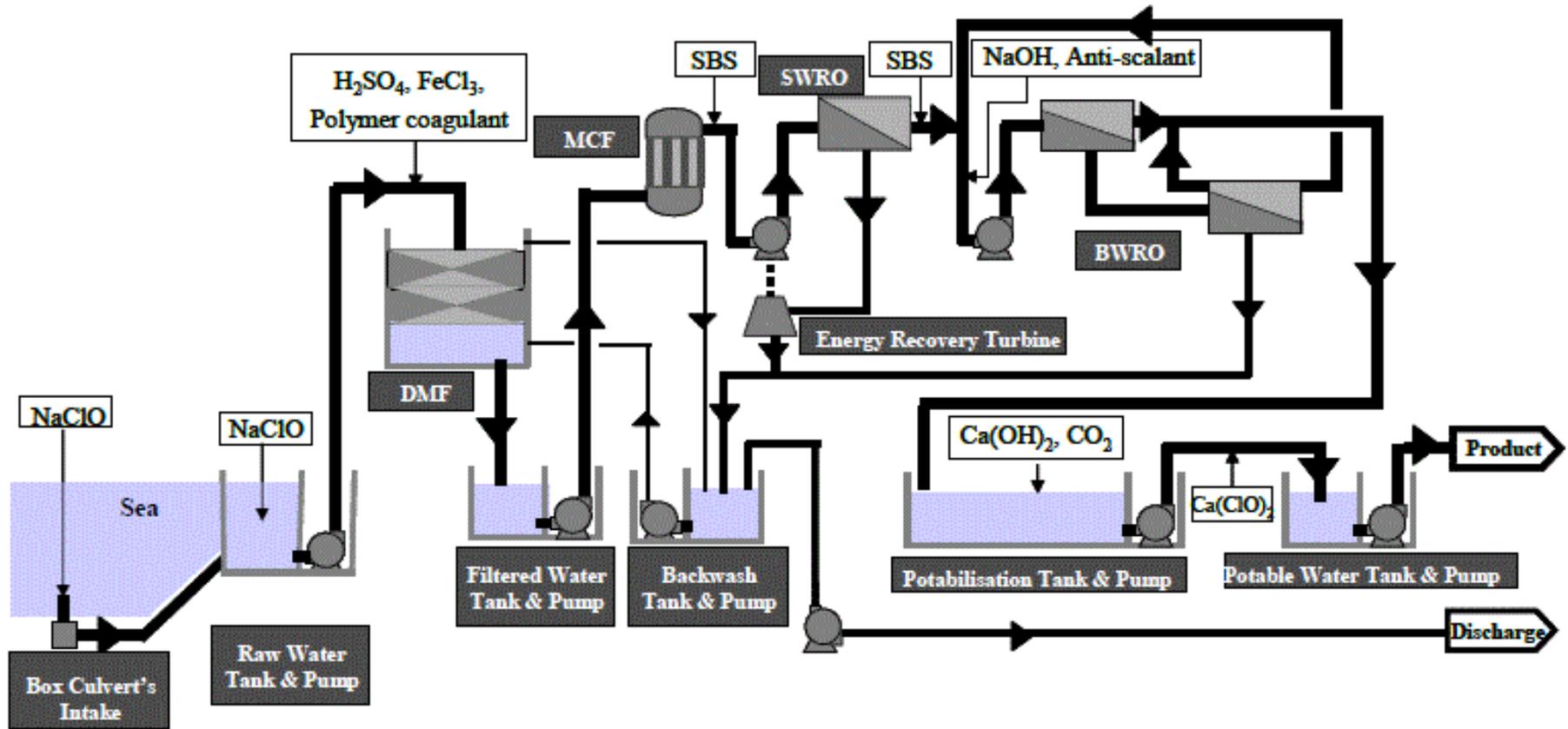
Choix du système de pré-traitement

Qualité de l'eau de source	Configuration recommandée	Notes
Turbidité < 0,1 NTU SDI < 2/TOC < 1	Filtres à cartouche ou Filtres à sac uniquement	Un dessablage peut être nécessaire
Turbidité > 0,1 NTU < 5 NTU SDI < 5/TOC < 1	Filtres bicouche à une seule étape + Filtres à cartouche Ou MF/UF	L'ajout de coagulant n'est généralement pas nécessaire si UF est utilisé
Turbidité > 5 NTU < 30 NTU SDI < 5/ TOC < 4	Filtres bicouche à une seule étape + Filtres à cartouche Ou MF/UF	L'ajout de coagulant est généralement nécessaire
Turbidité > 30 NTU < 50 NTU SDI > 5/ TOC > 4 et/ou Potentiel de déversements d'hydrocarbures	Sédimentation/DAF + Filtres bicouche à une seule étape + Filtres à cartouche Ou Sédimentation/DAF + MF/UF	L'ajout de coagulant est nécessaire
Turbidité > 30 NTU < 50 NTU SDI > 5/ TOC > 4 et Potentiel élevé de déversements d'hydrocarbures	Sédimentation à taux élevé/DAF + Filtres bicouche à deux étapes + Filtres à cartouche Ou Sédimentation à taux élevé/DAF + MF/UF	L'ajout de coagulant est nécessaire

Observations clés pour le choix de la configuration d'une usine

- ▶ Profondeur de la prise > 8 mètres signifie eau de source à faible encrassement
- ▶ Choix :
 - Pré-traitement par filtration par gravité sur milieu granulaire à une étape
 - Récupération élevée de l'usine - 45 %
- ▶ Si l'eau était de l'eau à encrassement élevé - filtration à deux étapes et récupération plus basse (38 à 40 %) nécessaires

Schéma de l'Usine SWRO 40 MLD



Coûts d'investissement



Coûts de préparation du site

- ▶ Coûts de préparation du site @ US\$15-200/m³.jour =
US\$15/m³.jour x 40 000 m³.jour= US\$0,6 MM
- ▶ Bas régime de la fourchette de coût choisie - Site non contaminé et sans structures et autres infrastructures.

Détermination du flux de design de la prise

- ▶ Flux de design de la prise = $\frac{\text{Flux d'eau produite} \times 1,1}{\text{Récupération (\%)}}$

Flux de la prise pour l'Usine 40 MLD :

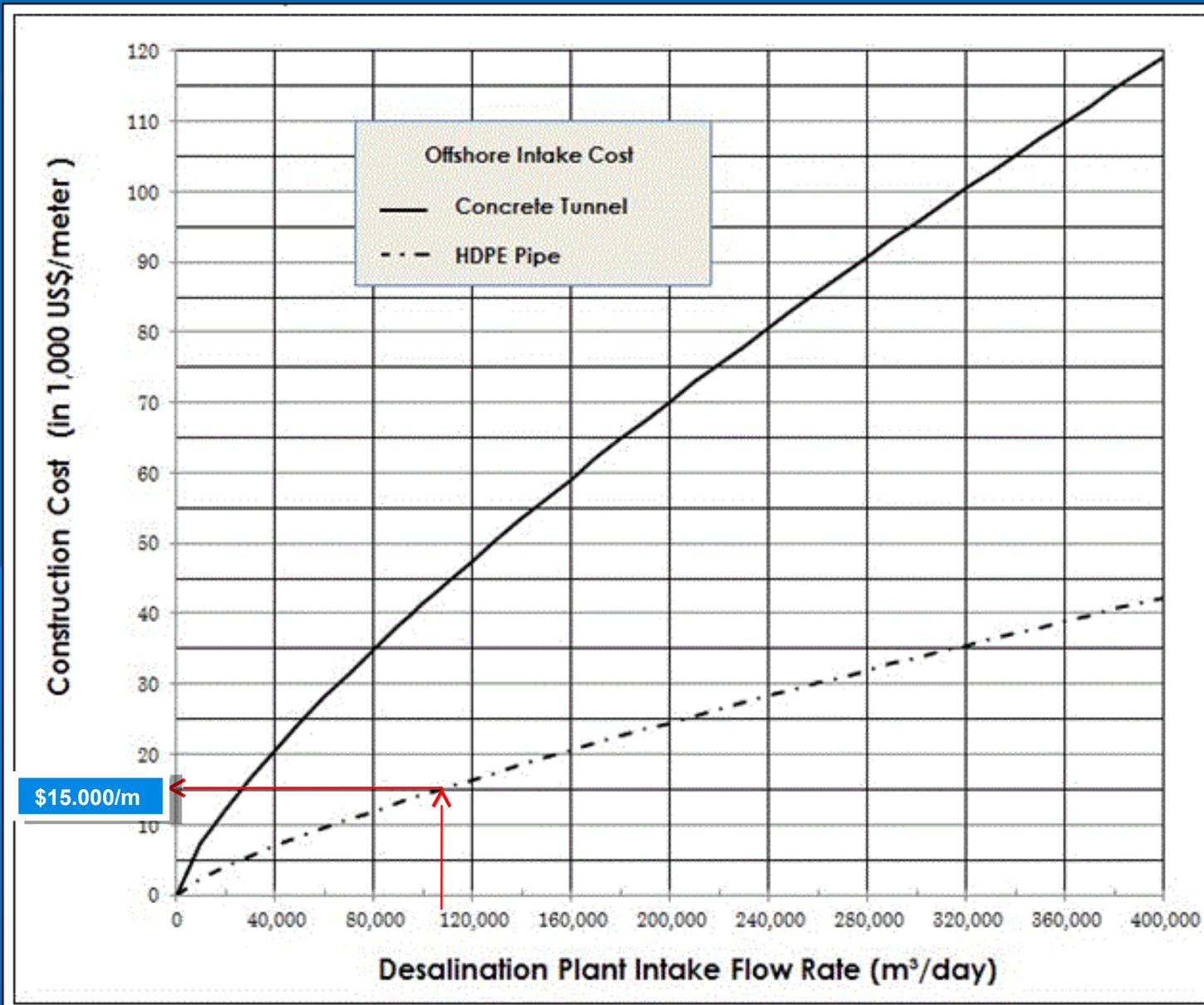
- ▶ Moyenne = $40 \text{ MLD} \times 1,1 / (0,45) = 98 \text{ MLD}$
- ▶ Flux minimum = $36 \text{ MLD} \times 1,1 / (0,45) = 88 \text{ MLD}$
- ▶ Flux maximum = $44 \text{ MLD} \times 1,1 / (0,45) = 108 \text{ MLD}$

Configuration de la prise

- ▶ Prise Offshore
- ▶ Écrans Onshore
- ▶ Station de pompage Onshore



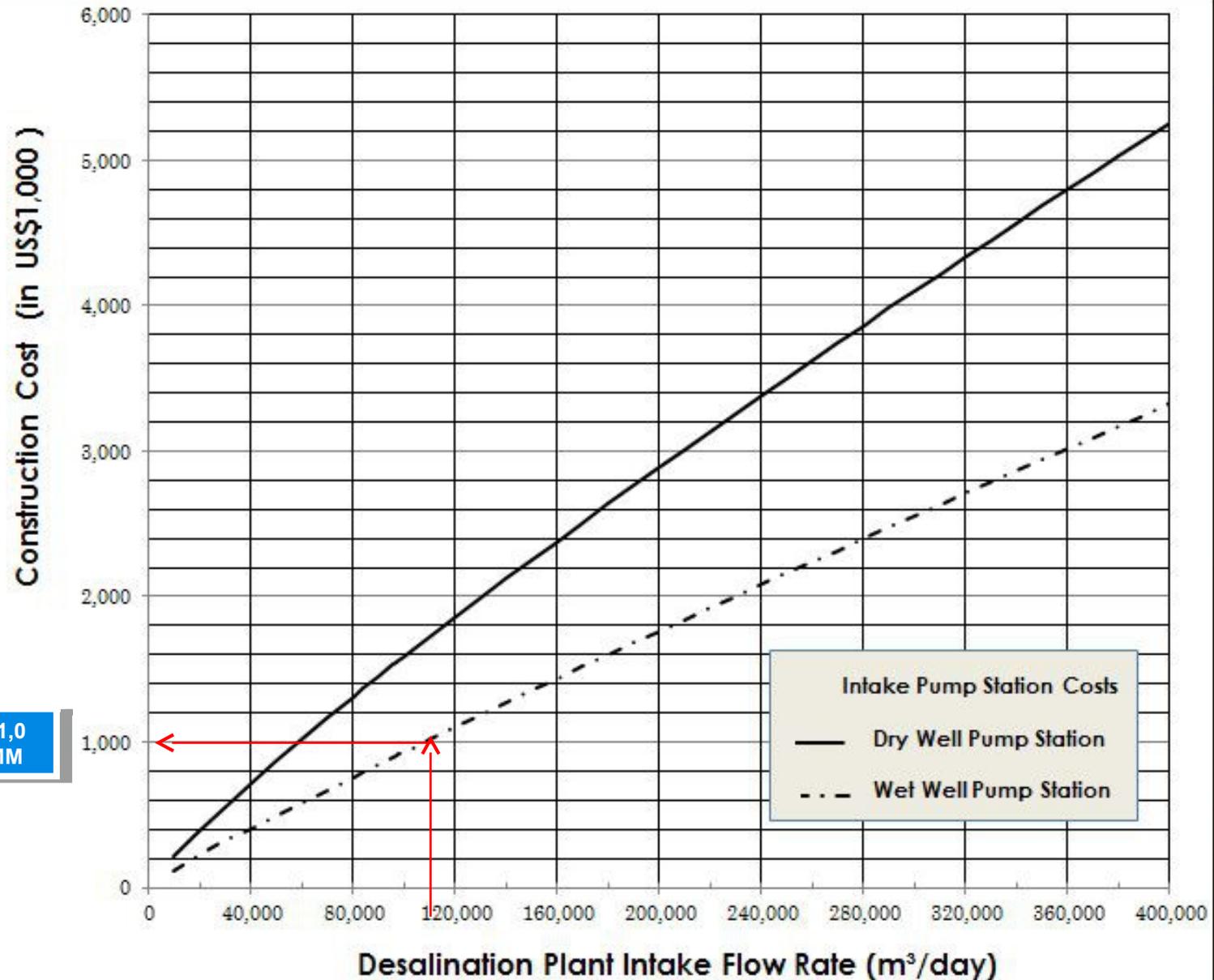
Coûts de construction des prises Offshore



Coût de la prise Offshore

- ▶ Coût de la prise ouverte = Coût de la prise de l'unité x longueur du tuyau de la prise
- ▶ Coût de la prise ouverte = US\$15.000/m x 500 m = US\$7,5 millions

Coûts de la station de pompage de la prise Onshore



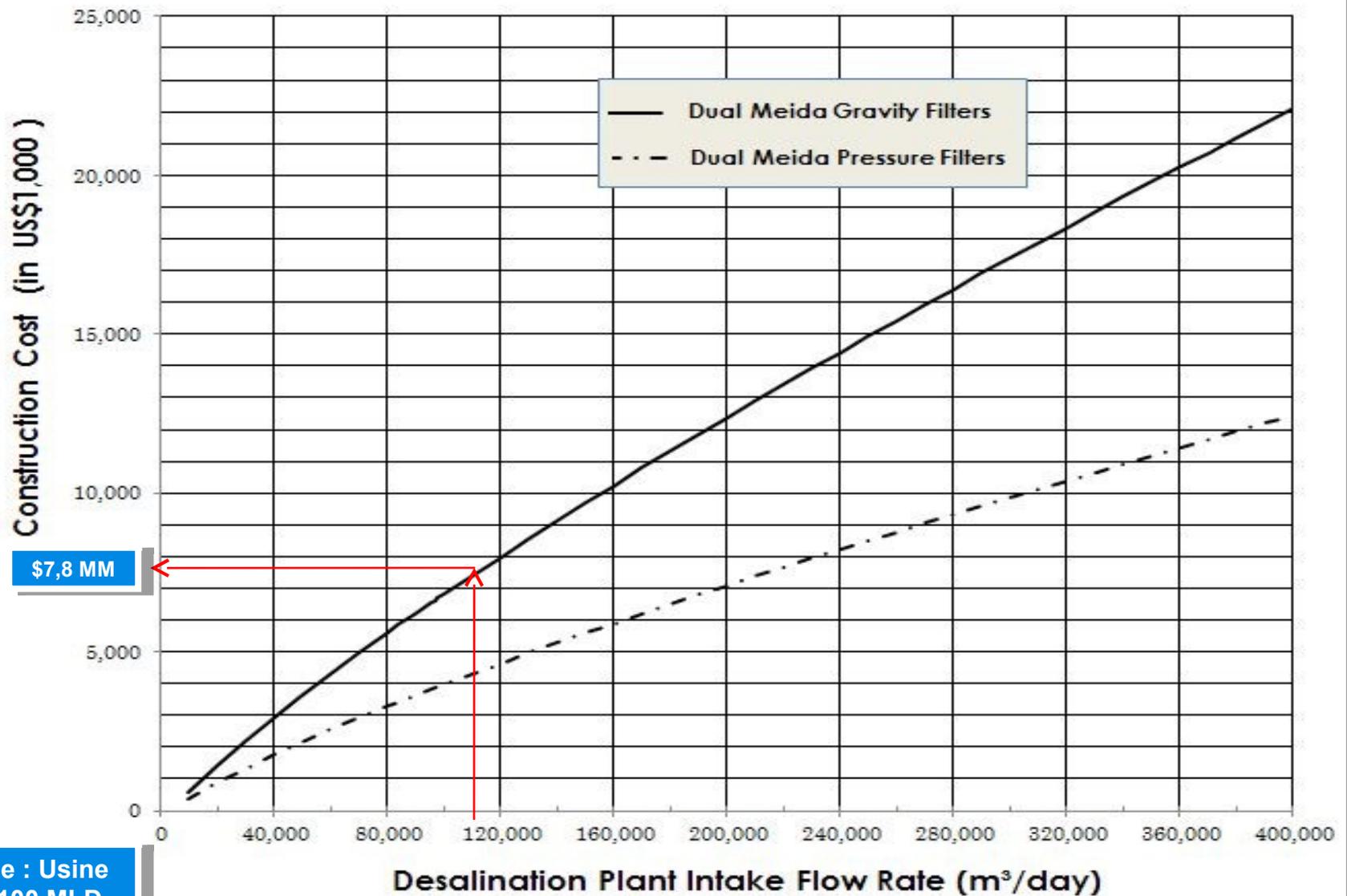
\$1,0
MM

Coût de construction total de la prise

- ▶ Prise Offshore = US\$7,5 MM
- ▶ Écrans Onshore = US\$1,0 MM
- ▶ Station de pompage de la prise Onshore = US\$1,0 MM

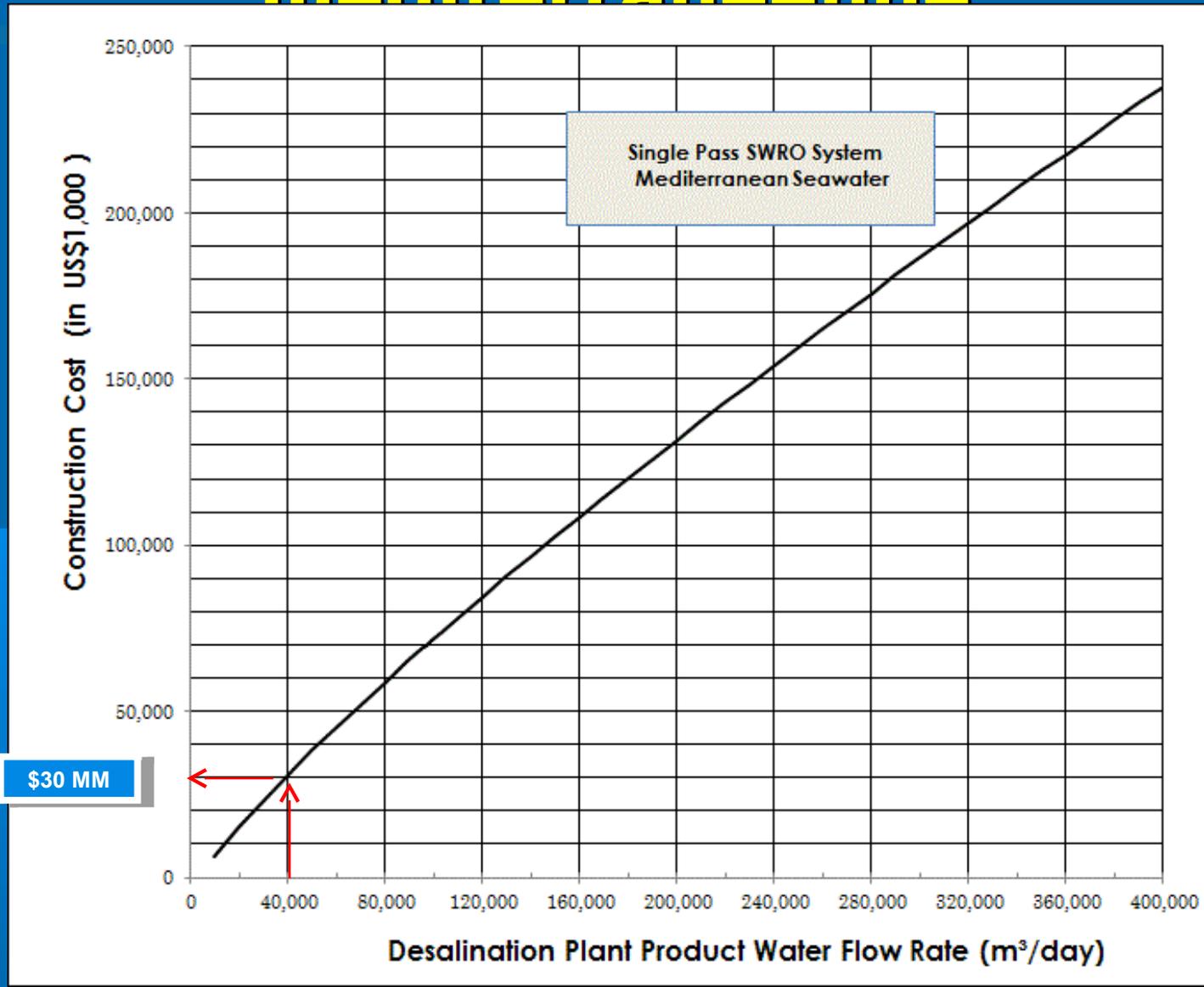
Total = US\$9,5 MM

Coût de construction du pré-traitement sur milieu granulaire



Exemple : Usine SWRO 100 MLD

Coût de construction du système RO - Passage simple Eau méditerranéenne



Qualité de l'eau de source

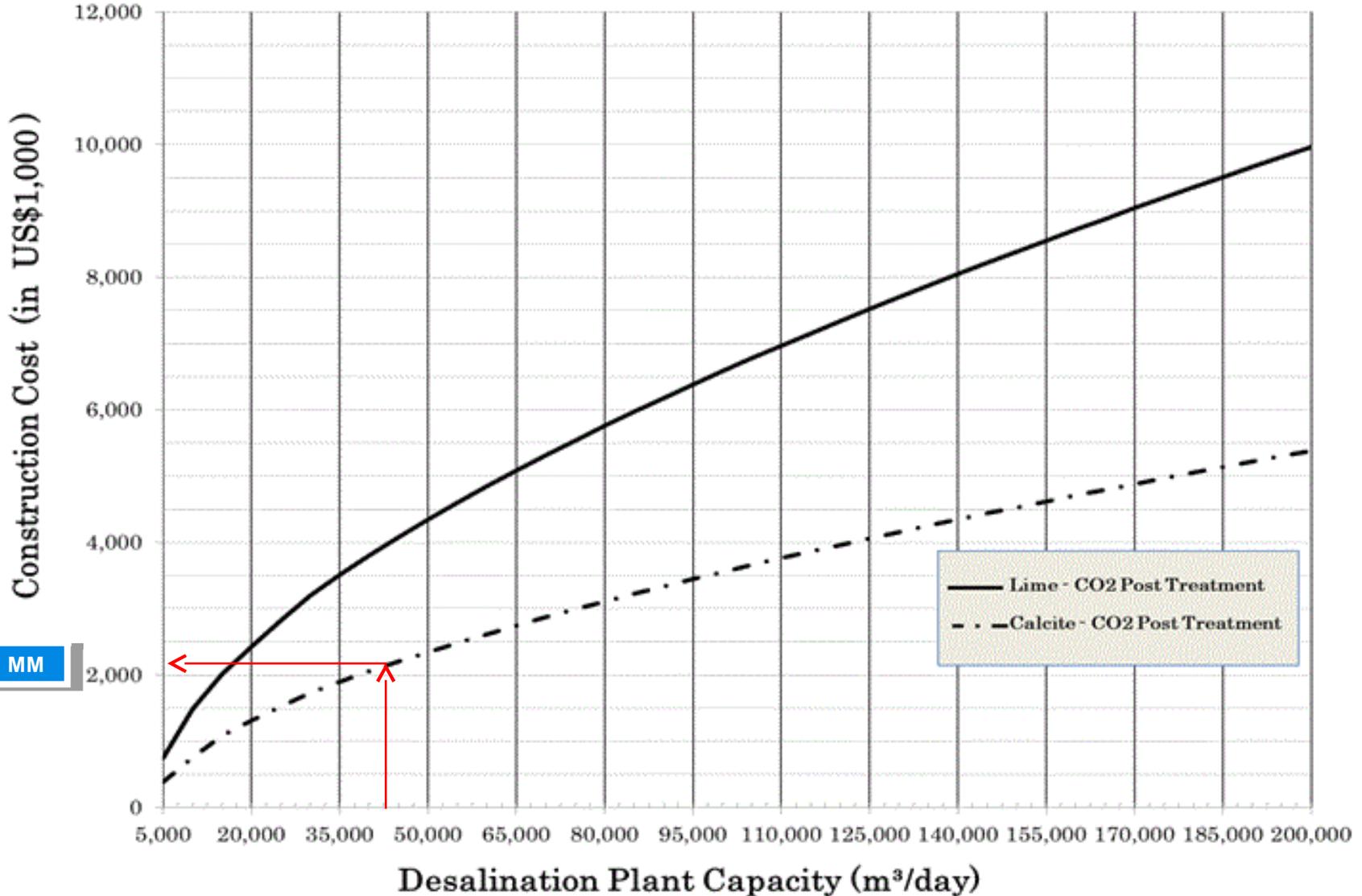
- Incidence sur les coûts

Source d'eau de mer	Coûts de construction de l'unité	Coûts de F&E de l'unité	Coûts d'investissement de l'unité
Méditerranée	1,0	1,0	1,0
Golfe d'Oman	1,09	1,07	1,08
Mer rouge	1,12	1,10	1,11
Golfe arabe	1,16	1,14	1,15

Effet de la qualité de l'eau produite sur les coûts du système RO

Effet de la qualité de l'eau produite cible sur les coûts de l'eau			
Qualité de l'eau produite cible	Coûts de construction	Coûts F&E	Coût de l'eau
TDS = 500 mg/L Chlorure = 250 mg/L Bore = 1 mg/L Bromure = 0,8 mg/L	1,00	1,00	1,00
Système RO à passage simple			
TDS = 250 mg/L Chlorure = 100 mg/L Bore = 0,75 mg/L Bromure = 0,5 mg/L	1,15 – 1,25	1,05 – 1,10	1,10 – 1,18
Système RO à second passage partiel			
TDS = 100 mg/L Chlorure = 50 mg/L Bore = 0,5 mg/L Bromure = 0,2 mg/L	1,27 – 1,38	1,18 – 1,25	1,23 – 1,32
Système RO à deux passages complets			
TDS = 30 mg/L Chlorure = 10 mg/L Bore = 0,3 mg/L Bromure = 0,1 mg/L	1,40 – 1,55	1,32 – 1,45	1,36 – 1,50
Système RO à deux passages complets + IX			

Coûts de construction d'un système à chaux et calcite/CO₂



\$2,1 MM

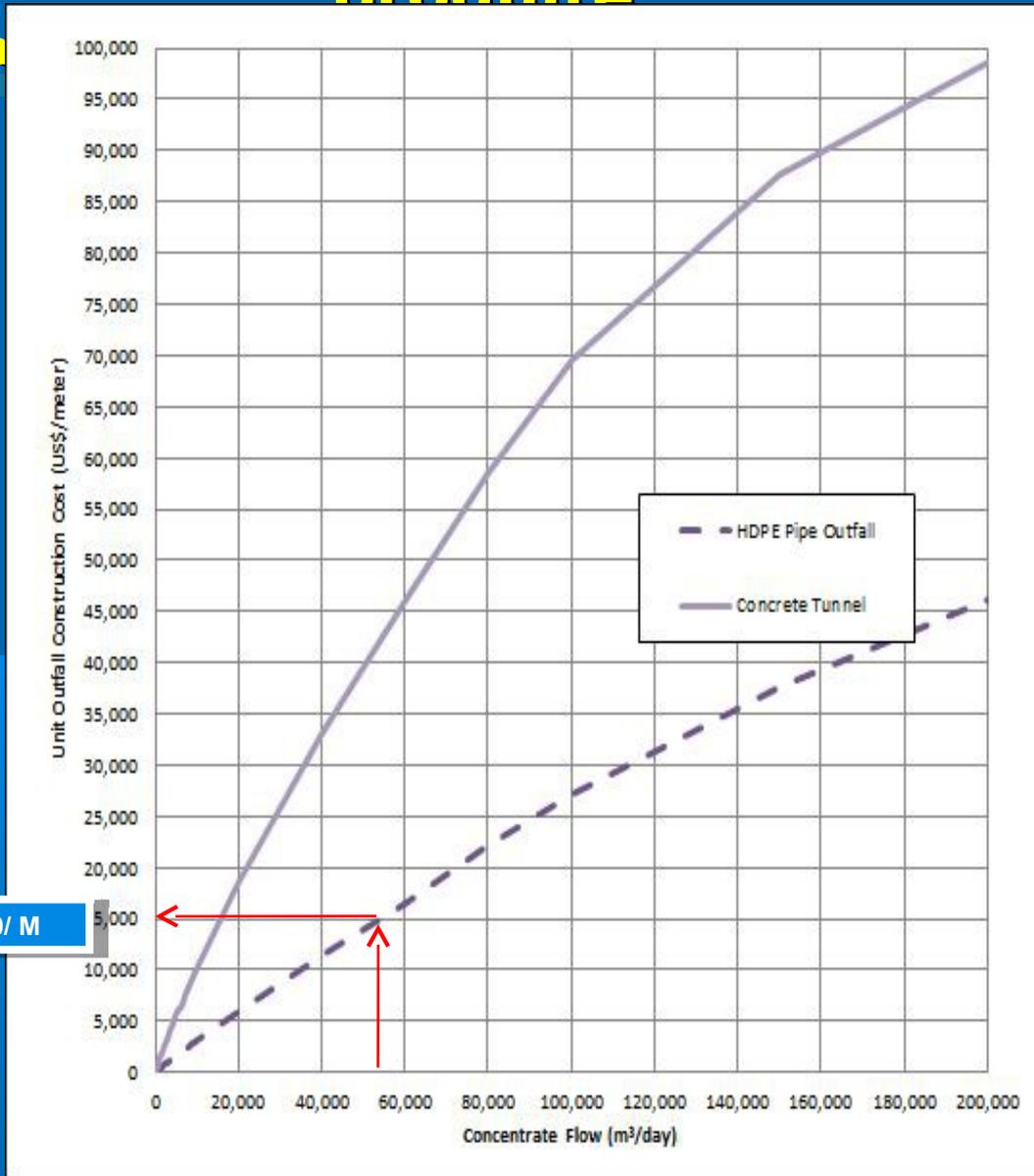
Rejet à proximité des côtes

Coûts

Conc. Flux = Flux de la prise - flux d'eau produite

Par exemple

8 MLD



\$15.000/ M

Coût du rejet Offshore

- ▶ Coût du déversoir par diffuseur = Coût du déversoir de l'unité x Longueur du tuyau de rejet
- ▶ Coût de la prise ouverte = US\$15.000/m x 200 m = US\$3,0 millions

Autres coûts d'investissement

Exemple pour l'Usine 40 MLD

- ▶ **Traitement des déchets et des solides @ US\$15-75/m³.jour**
(Bassin de retenue) = US\$45/m³.jour x 40 000 m³.jour = **US\$1,8 MM**
- ▶ **Systèmes électriques et instrumentation @ US\$100-250/m³.jour**
= US\$200/m³.day x 40 000 m³.jour = **US\$8,0 MM**
- ▶ **Installations auxiliaires et de services @ US\$30-150/m³.jour =**
US\$80/m³.jour x 40 000 m³.jour = **US\$3,2 MM**
- ▶ **Bâtiments @ US\$50-100/m³.jour = US\$60/m³.jour x 40 000**
m³.jour = **US\$2,4 MM**
- ▶ **Lancement, mise en service et essais d'acceptation @ US\$40-**
80/m³.jour = US\$50/m³.jour x 40 000 m³.jour = **US\$2,0 MM**

Coûts d'investissement directs - Example - Usine 40 000 m³/jour

Poste de coût	Coût (US\$)
Préparation du site, routes et parking	0,6 MM
Arrivée	9,5 MM
Pré-traitement	7,8 MM
Équipement du système RO	30,00 MM
Post-traitement	2,1 MM
Rejet	3,0 MM
Traitement des déchets et des solides	1,8 MM
Systèmes électriques et instrumentation	8,0 MM
Installations auxiliaires et de services	3,2 MM
Bâtiments	2,4 MM
Lancement, mise en service et essais d'acceptation	2,0 MM
Coûts (de construction) d'investissement directs	<i>US\$70,4 MM</i>

Coûts d'investissement indirects - Usine 40 000 m³/jour

Poste de coût	Coût total unitaire (US\$/m ³ .jour)	Coût (US\$)
Ingénierie préliminaire	30-100	1,2 MM
Essais pilotes	10-50	0,4 MM
Conception détaillée	75-175	3,0 MM
Gestion de la construction et surveillance	40-80	1,6 MM
Administration, contrats et gestion	25-50	1,0 MM
Autorisations environnementales et sensibilisation du public	20-200	0,8 MM
Services juridiques	20-150	0,8 MM
Intérêt au cours de la construction	20-180	0,8 MM
Fonds de réserve du service de la dette	80-340	3,2 MM
Autres coûts de financement	20-80	0,8 MM
Imprévu	5-10 % du Total	4,6 MM
Coûts d'investissement indirects		\$18,2 MM

Total Coûts d'investissement

- ▶ Total coûts d'investissement = coûts d'investissement directs + indirects

$$\text{US\$70,4MM} + \text{US\$18,2 MM} = \text{US\$88,6 MM}$$

Exemple pour délai de paiement à 20 ans Taux d'intérêt 5 %

$$\text{CRF} = [(1+0,05)^{20} - 1] / [0,05 (1+0,05)^{20}] = 12,462$$

Coûts de recouvrement de l'investissement = Cap/
(CRF x Qp x 365 j)

$$= \text{US\$88,6 MM} / (12,462 \times 40.000 \text{m}^3/\text{j} \times 365 \text{j}) = \text{8\$0,49/m}^3$$

Coûts de fonctionnement et d'entretien



Répartition des coûts de F&E totaux

Répartition coûts F&E annuels		
Poste de coût	Pourcentage du coût total F&E (%)	
	Projet basse complexité	Projet haute complexité
Coûts F&E variables		
5. Électricité	45,0 – 61,0	35,0 – 58,0
6. Produits chimiques	3,0 – 6,5	5,5 – 9,0
7. Remplacement des membranes et filtres à cartouche	5,0 – 9,0	6,5 – 11,0
8. Rejet de flux de déchets	2,5 – 5,5	3,5 – 7,0
Sous-total Coûts F&E variables	55,5 – 82,0	50,5 – 85,0
Coûts F&E fixes		
5. Main d'œuvre	5,0 – 9,5	4,0 – 11,0
6. Maintenance	6,5 – 12,5	3,0 – 13,0
7. Suivi environnemental et performance	0,5 – 4,0	1,0 – 5,0
8. Coûts F&E indirects	7,5 – 18,5	7,0 – 20,5
Sous-total Coûts F&E fixes	19,5 – 44,5	15,0 – 49,5
Total Coûts F&E	100 %	100 %

Utilisation d'énergie et Fonction de la source d'eau

(Moyennes et grandes Usines SWRO)

Source d'eau de mer	Utilisation d'énergie d'un système SWRO (kWh/m ³)
Méditerranée	3,6 – 4,0
Golfe d'Oman	3,9 – 4,2
Mer rouge	4,0 – 4,3
Golfe arabe	4,2 - 4,5

Coûts de F&E - 40 000 m³/jour Usine

Poste de coût	Coût total unitaire (US\$/m ³)	Coût (Millions US\$/an)
Coûts de F&E variables		
Électricité @ 4,0 kWh/m ³ @ US\$0,06/kWh	Fonction de la source d'eau et tarification	3,504
Produits chimiques	0,025-0,075	0,365
Remplacement des membranes et des cartouches	0,020-0,070	0,292
Rejet de flux de déchets	0,015-0,035	0,219
Total Coûts de F&E variables		4,380 MM
Coûts de F&E fixes		
Main d'œuvre	0,015-0,040	0,219
Maintenance - 2 à 4 % des coûts d'investissement directs	0,035-0,075	0,511
Suivi de l'environnement et de la performance	0,005-0,015	0,073
Coûts de F&E indirects	0,025-0,075	0,365
Total Coûts de F&E fixes		1,168 MM

Coût de l'eau - composants variables et fixes

Coût du poste eau	Coûts, (US\$/m ³)	Coûts, (% du Total)
Composants coût de l'eau variables		
Courant électrique	0,240	27,6 %
Produits chimiques	0,025	2,9 %
Remplacement des membranes RO et des filtres à cartouche	0,020	2,3 %
Rejet de flux de déchets	0,015	1,7 %
<i>Coûts variables totaux</i>	<i>0,30</i>	<i>34,5 %</i>
Composants coût de l'eau fixes		
Recouvrement d'investissement Coûts	0,490	56,3 %
Main d'œuvre	0,015	1,7 %
Maintenance	0,035	4,0 %
Suivi de l'environnement et de la performance	0,005	0,6 %
Autres coûts de F&E	0,025	2,9 %
<i>Total Coûts fixes</i>	<i>0,57</i>	<i>65,5 %</i>
Total Coûts de production de l'eau	<i>0,87</i>	<i>100 %</i>



Questions ?



Pause repas - 12h00 à