

CPET, Continued  
Professional  
Education  
and Training



THE MIDDLE EAST DESALINATION RESEARCH CENTER

## Estimation de coût des installations de dessalement SWRO

*Jour 1 : Coût des installations*

*25 juin 2013*

*13h00 - 14h30*

*1.3 Frais de construction pour les prises d'eau et systèmes de pré-traitement*



Water Globe Consulting

Nikolay Voutchkov, PE, BCEE

# Frais de construction pour les prises d'eau et systèmes de pré-traitement

- Coûts de construction liés à la situation de l'unité
- Coûts des prises d'eau
  - Coûts pour prises d'eau sous-marines
  - Coûts pour prises d'eau ouvertes
  - Coûts de tuyauterie pour prise d'eau et station de pompage
  - Coûts de contrôle de prises d'eau
- Coûts de construction de l'installation de pré-traitement
  - Coûts de conditionnement des produits chimiques
  - Coûts pour les clarificateurs par gravité et DAF
  - Coûts des filtres par matériau granulaire
  - Coûts des membranes UF et MF pour le pré-traitement
  - Coûts des filtres à cartouches

# Coûts de construction liés à la situation de l'unité

- Comprennent les coûts de :
  - Terrain
  - Préparation du site
  - Routes
  - Parking
- Coûts approximatifs – US\$15 – 200/m<sup>3</sup>.jour de capacité de production de l'unité
- La variation des coûts est principalement due aux :
  - Différences des prix des terrains ;
  - Besoins en terrains.

# Quelle surface est nécessaire pour l'installation d'une usine de dessalement ?

Capacité de l'installation m <sup>3</sup> /jour	Taille de l'installation (m <sup>2</sup> )	Taille de l'installation (hectares)
1000 m <sup>3</sup> /jour	800 – 1600	0,2 – 0,4
5 000 m <sup>3</sup> /jour	2000 – 3200	0,5, – 0,8
10 000 m <sup>3</sup> /jour	6100 – 8100	1,5 – 2,0
20 000 m <sup>3</sup> /jour	10100 – 14200	2,5 – 3,5
40 000 m <sup>3</sup> /jour	18200 – 24300	4,5 – 6,0
100 000 m <sup>3</sup> /jour	26300 – 34000	6,5 – 8,5
200 000 m <sup>3</sup> /jour	36400 – 48600	9,0 – 12,0

# Installations de prises d'eau

- Prises d'eau sous-marine ;
- Prises d'eau de surface (ouvertes) ;
- Co-implantation : Prise  
Liaison avec l'installation de rejet.

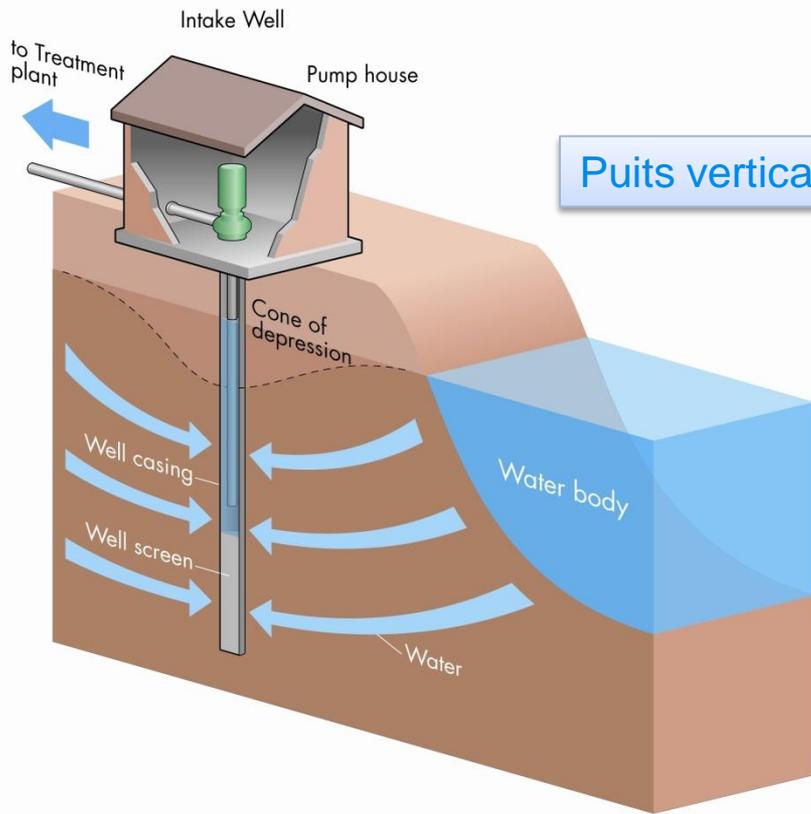


Dhekelia, Chypre  
Installation de  
dessalement 15 MGD  
Prises d'eau de surface  
(ouvertes) dans l'océan



Installation SWRO de prise d'eau de puits  
verticale 1 MGD Grand Cayman

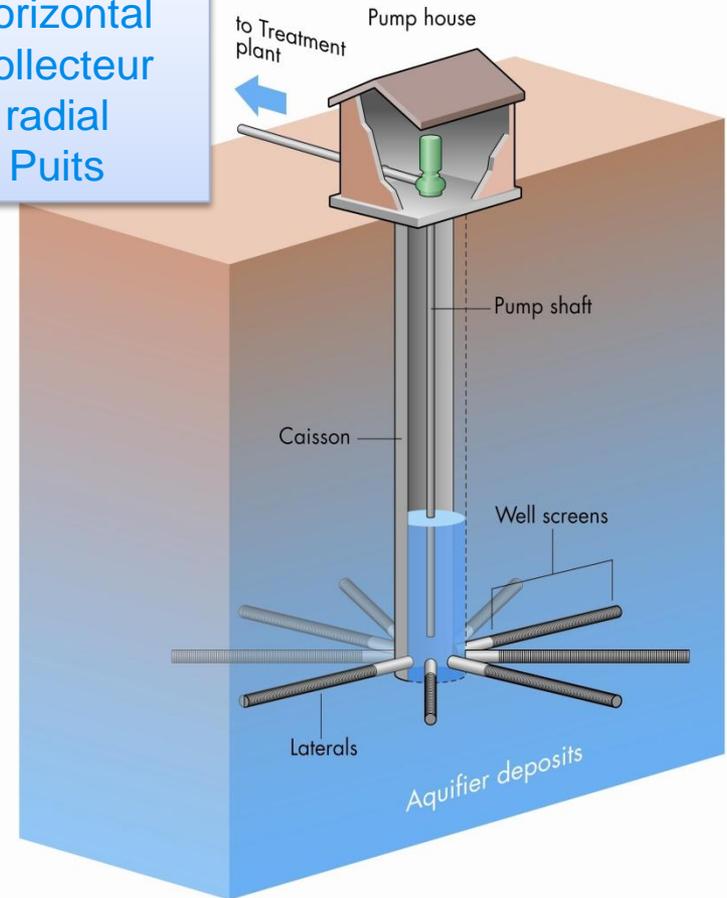
# Installations de prises d'eau sous-marine (puits)



Puits vertical

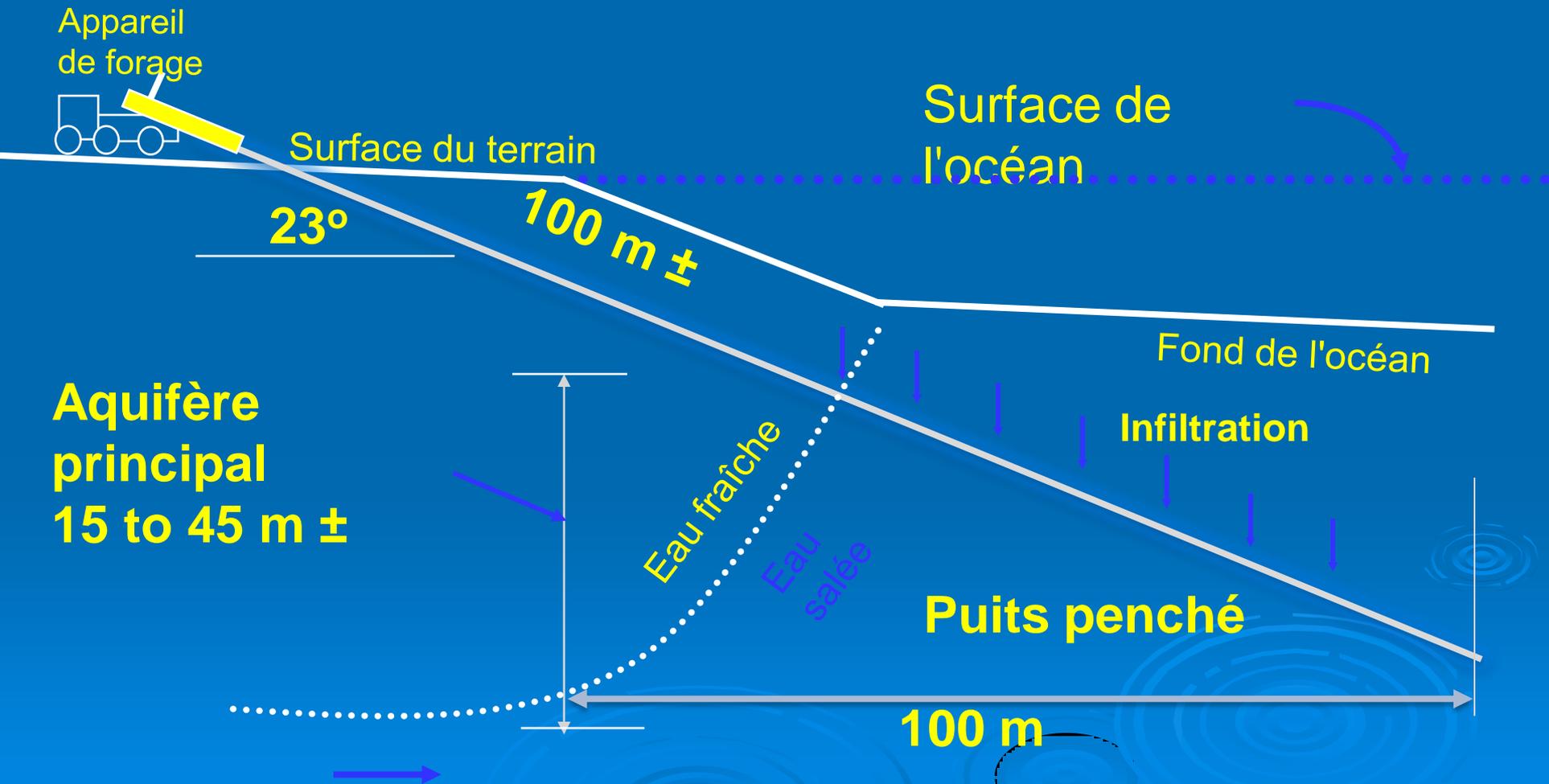
Capacité moyenne : 100 à 3 000 m<sup>3</sup>/jour

Horizontal  
Collecteur  
radial  
Puits

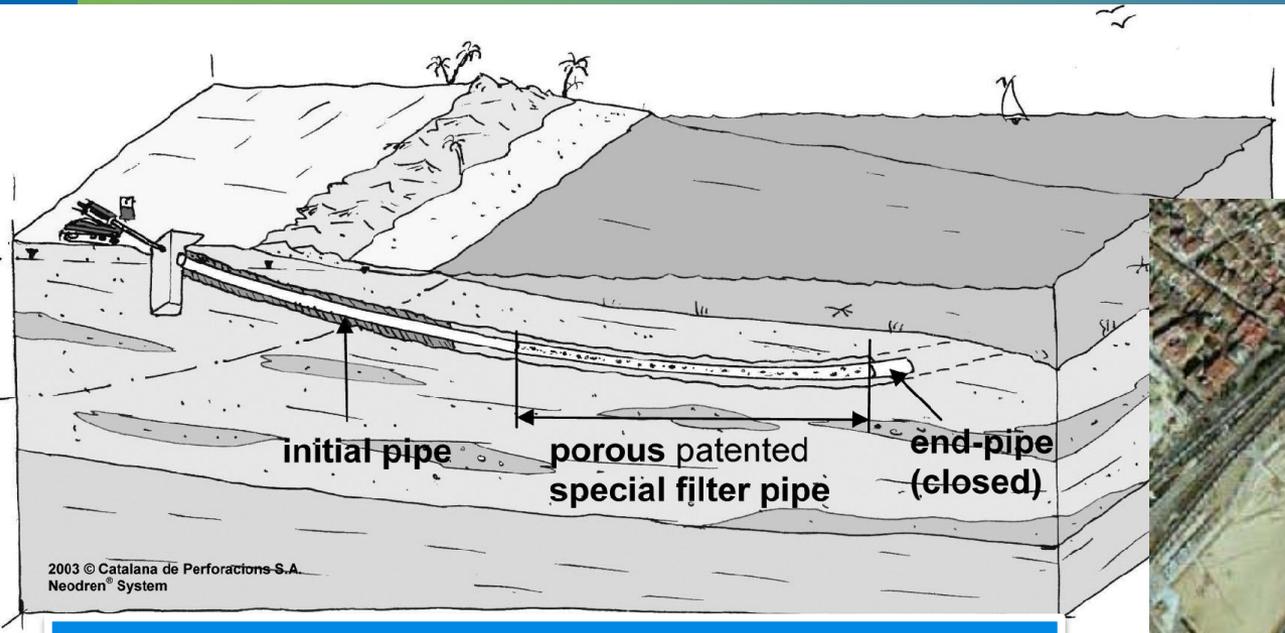


Capacité moyenne : 4 000 à 20 000 m<sup>3</sup>/jour

# Schéma puits penché



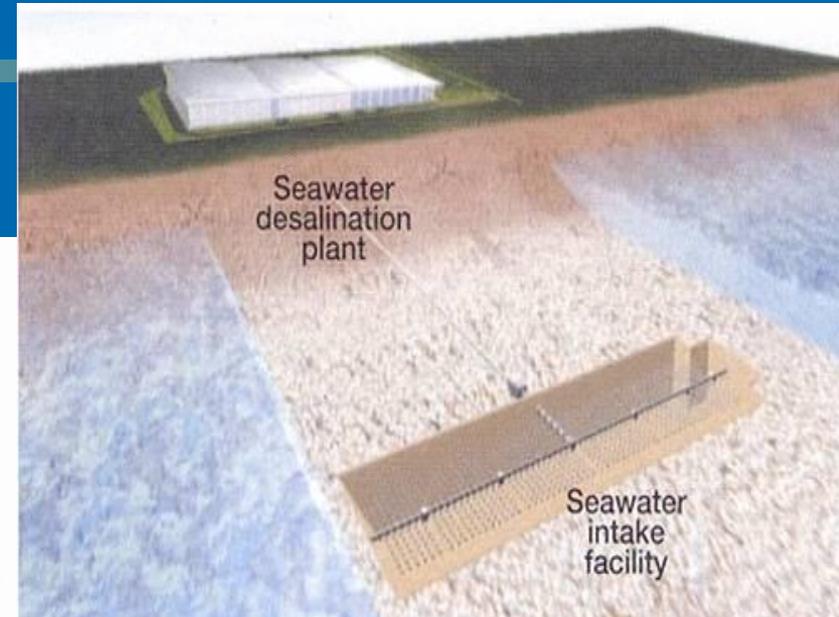
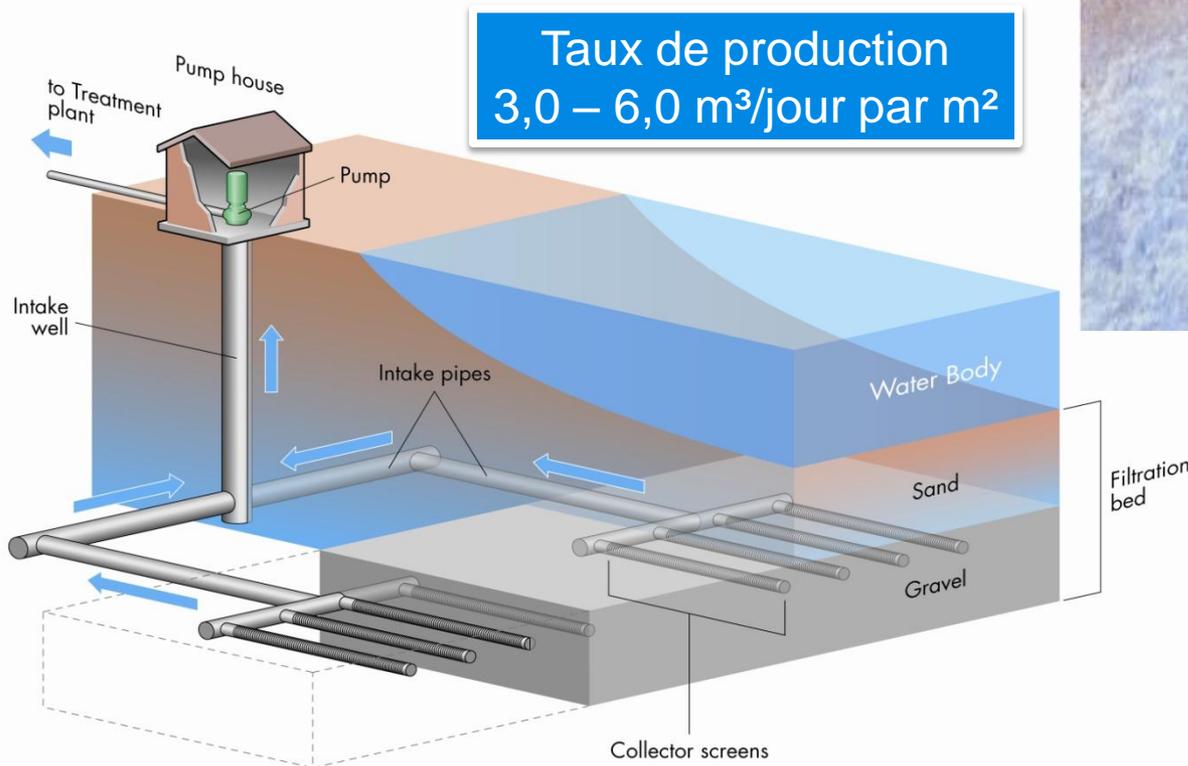
# Puits forés à l'horizontale (HDD)



- Technologie NEODREN
- Canalisations HDPE perforées ouvertures 120- $\mu$
- Taille moyenne des tuyaux – 350 mm
- Profondeur des tuyaux – 5 à 10 sous le fond de l'océan
- Longueur des tuyaux – 200 à 600 m
  
- Unité SWRO 65 ML/j Cartagena, Espagne
- 20 tuyaux @ 350 mm - 6 ML/j par tuyau



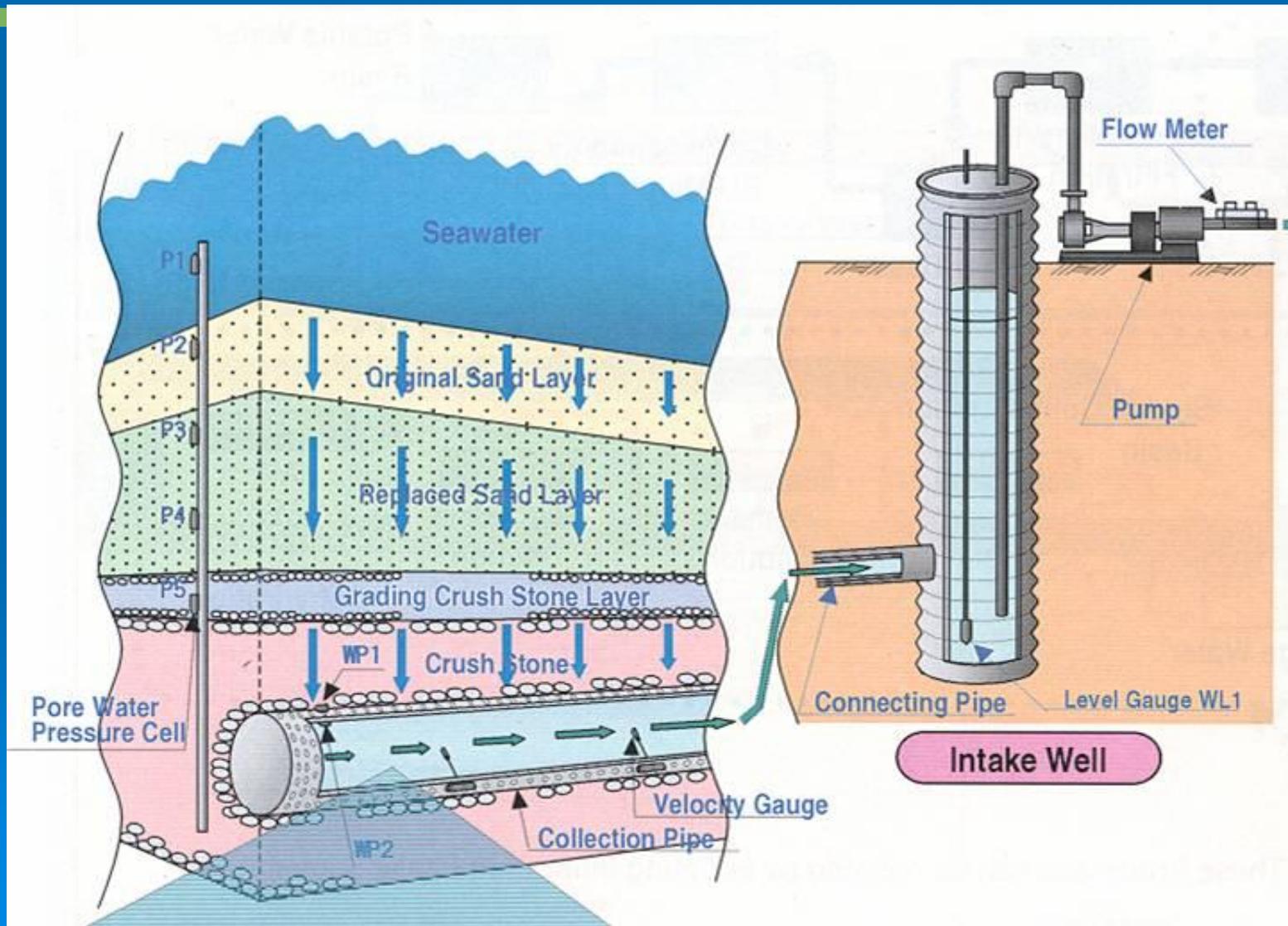
# Systeme de filtration dans lit de riviere/fond de mer



## Unité SWRO Fukuoka, Japon

- 50 ML/j
- Zone de prise d'eau – 7,2 hectares
- Frais de construction - 1,2 à 2,3 fois plus chers que les puits verticaux

# Galerie sous-marine



# Productivité et coûts du puits

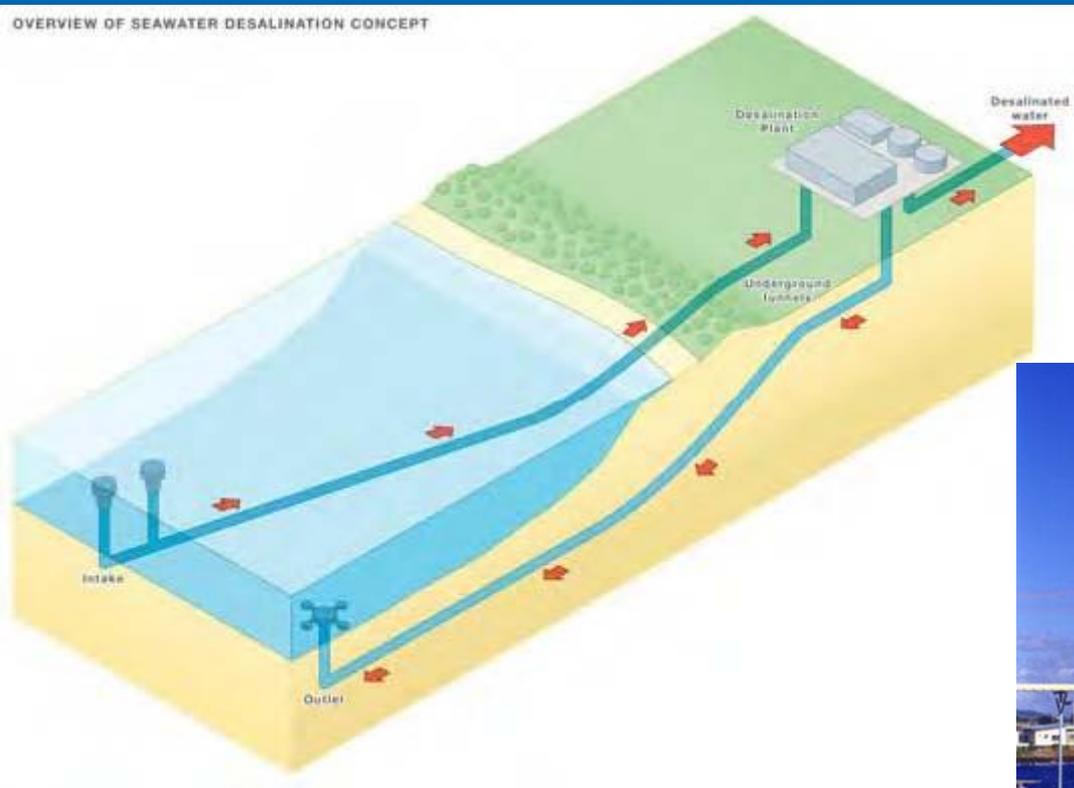
Type de puits	Capacité de production moyenne (rendement) d'un puits individuel (ML/j)	Coût de Puits individuel (US\$ MM)
Puits vertical	0,1 – 3,5 ML/j	\$0,2 - \$2,5 MM
Puits horizontal collecteur radial	0,5 – 20 ML/j	\$0,7 – \$5,8 MM
Puits penché	0,5 – 10 ML/j	\$0,6 - \$3,0 MM
Puits HDD (par ex., Neodren)	0,1 – 5,0 ML/j	\$0,3 - \$1,3 MM
Galerie d'infiltration	0,1 – 50 ML/j	\$0,5 - \$27,0 MM

# Puits de plage verticaux - Coûts

## Coûts de construction des puits verticaux

Capacité de production du puits vertical (m <sup>3</sup> /jour)	Coûts de construction en 2012 US\$ en fonction de puits, Q (m <sup>3</sup> /jour) et profondeur puits H (m)
1000-2000	$40Q+700H+25000$
2000-4500	$50Q+850H+50000$
4500-6500	$65Q+1100H+80000$
6500-10000	$76Q+2000H+150000$
10000-15000	$85Q+2100H+190000$
15000-30000	$90Q+3300H+260000$

# Prises d'eau ouvertes- types



Prises d'entrée pour l'eau de Sydney  
Unité de dessalement, Australie



Prise d'entrée littoral - Unité de  
dessalement Point Lisas, Trinité

# Exemples de grandes prises d'entrée ouvertes dans l'océan

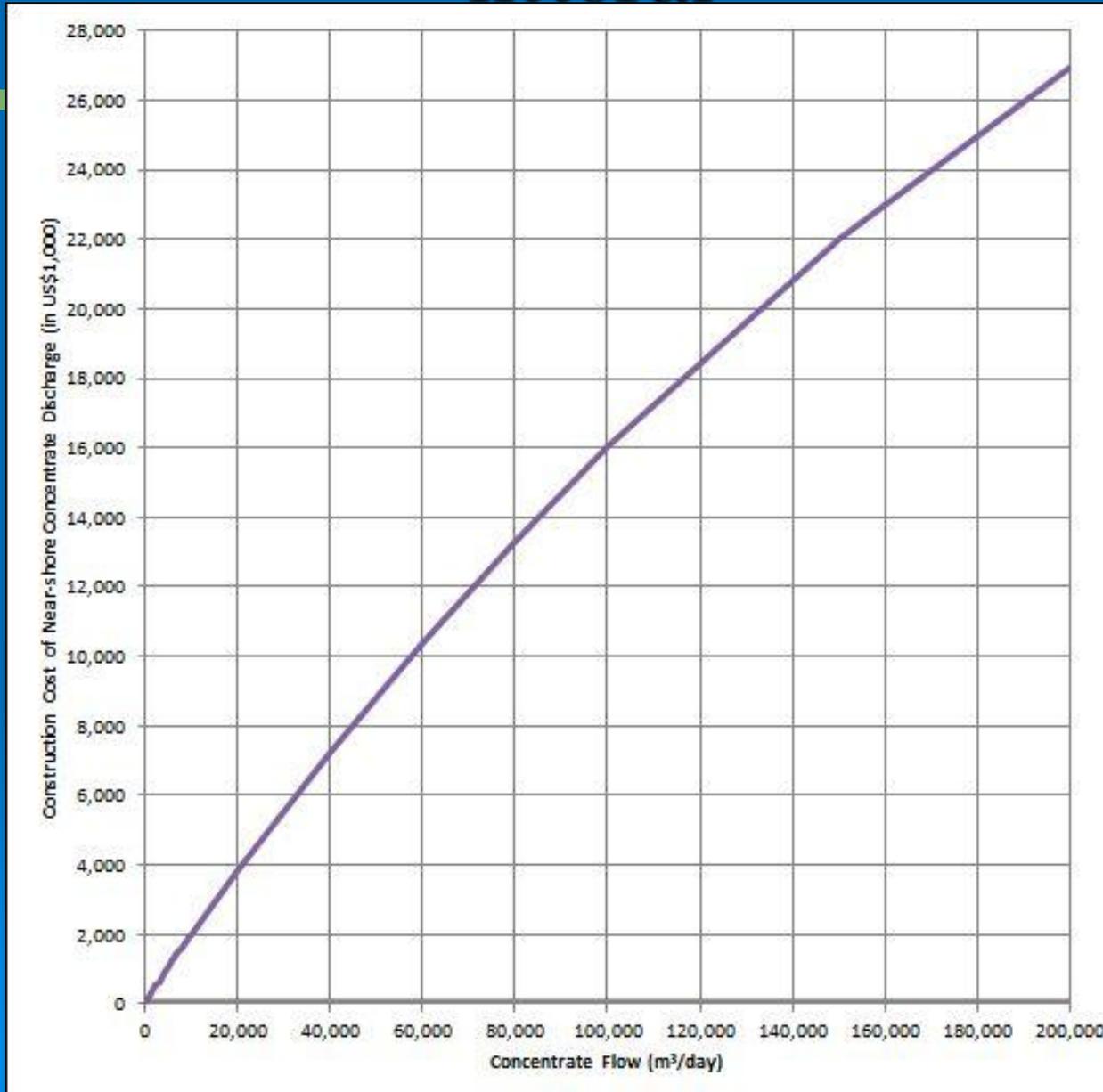
Exemples de grandes prises d'eau ouvertes pour unités de dessalement de l'eau de mer

Installation de dessalement/capacité de production	Vitesse d'entrée max. m/s/fps	Profondeur sous la surface m/ft	Distance du fond m/ft	Nombre d structures et conduits en amont	Diamètre des conduits m/ft et taille des grilles mm/in	Diamètre du conduit m/ft, équipement et distance depuis le rivage m/ft
Adelaide, Australie 300000m3/jour	0.15/0.50	18/59	5.0/16.4	1/1	9.5/31.2 100/4	2.8/9.2 tunnel 1000/3300
Sydney, Australie 500000m3/jour	0.15/0.50	24/79	6.0/20.0	4 ouvrages de raccordement sur un tunnel commun	8.5/27.9 340/13	3.4/11.2 tunnel 300/980
Gold Coast, Australie 136000m3/jour	0.05/0.16	22/72	4.4/14.4	1/1	5.8/19.0 154/5.5	2.8/9.2 Tunnel 1400/4600
Perth I, Australie 130000m3/jour	0.10/0.33	8/26	4.0/13.0	1/1	100/4	2.8/9.2 Prix GRP 300/1000
Perth II, Australie 300000m3/jour	0.15/0.50	10/33	4.0/13.0	2	7.0/23 100/4	2.4/9.1 Tuyaux GRP
Fujairah I, EAU 170000m3/jour	0.10/0.33	10/33	6.0/19.7	3/3	3.0/9.8 80/3	2.0/6.6 Tuyaux GRP 380/1250
Al Dur, Bahrein 240000m3/jour	0.10/0.33	4/13	2.3/7.5	4/4	7.2/23.6	2.4/7.9 Tuyaux GRP 1500/4920

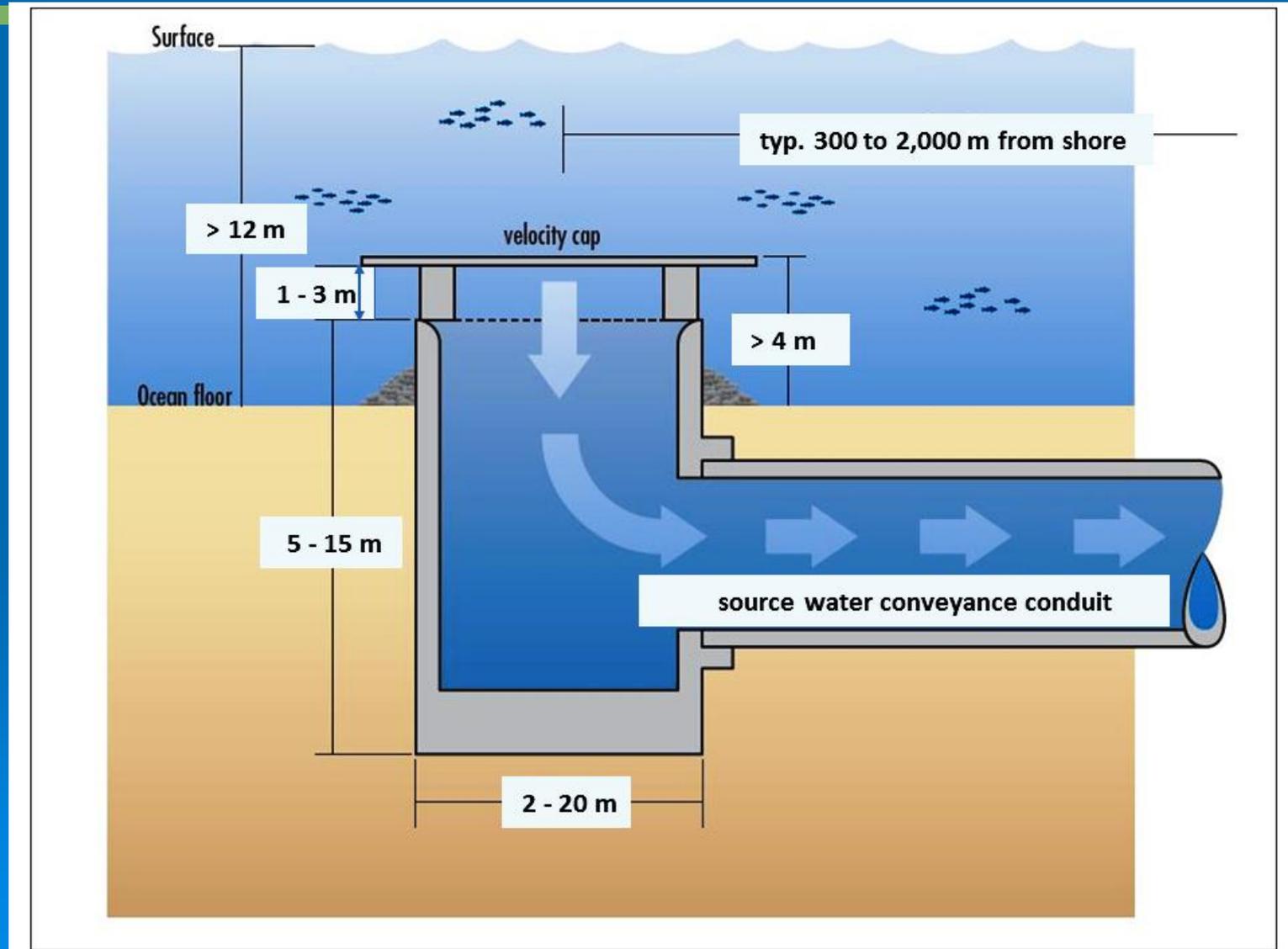
# Prises d'eau côtière - Utilisées pour les unités de dessalement thermiques



# Coûts de construction de prises d'eau littoral



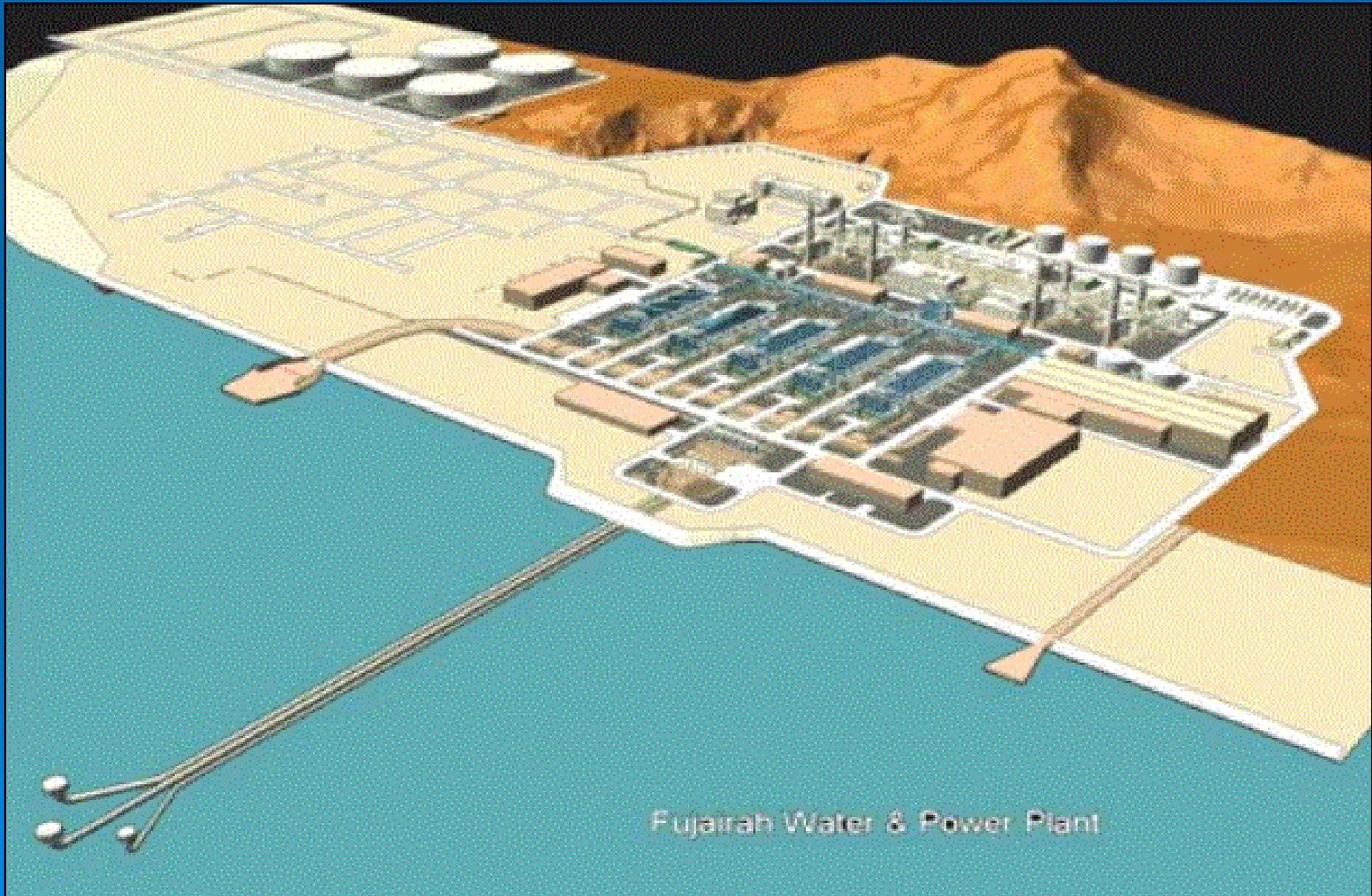
# Dégrilleurs grossiers - Situation et configuration



# Structure de prise d'eau de l'unité SWRO Gold Coast



# Prises d'eau Fujairah



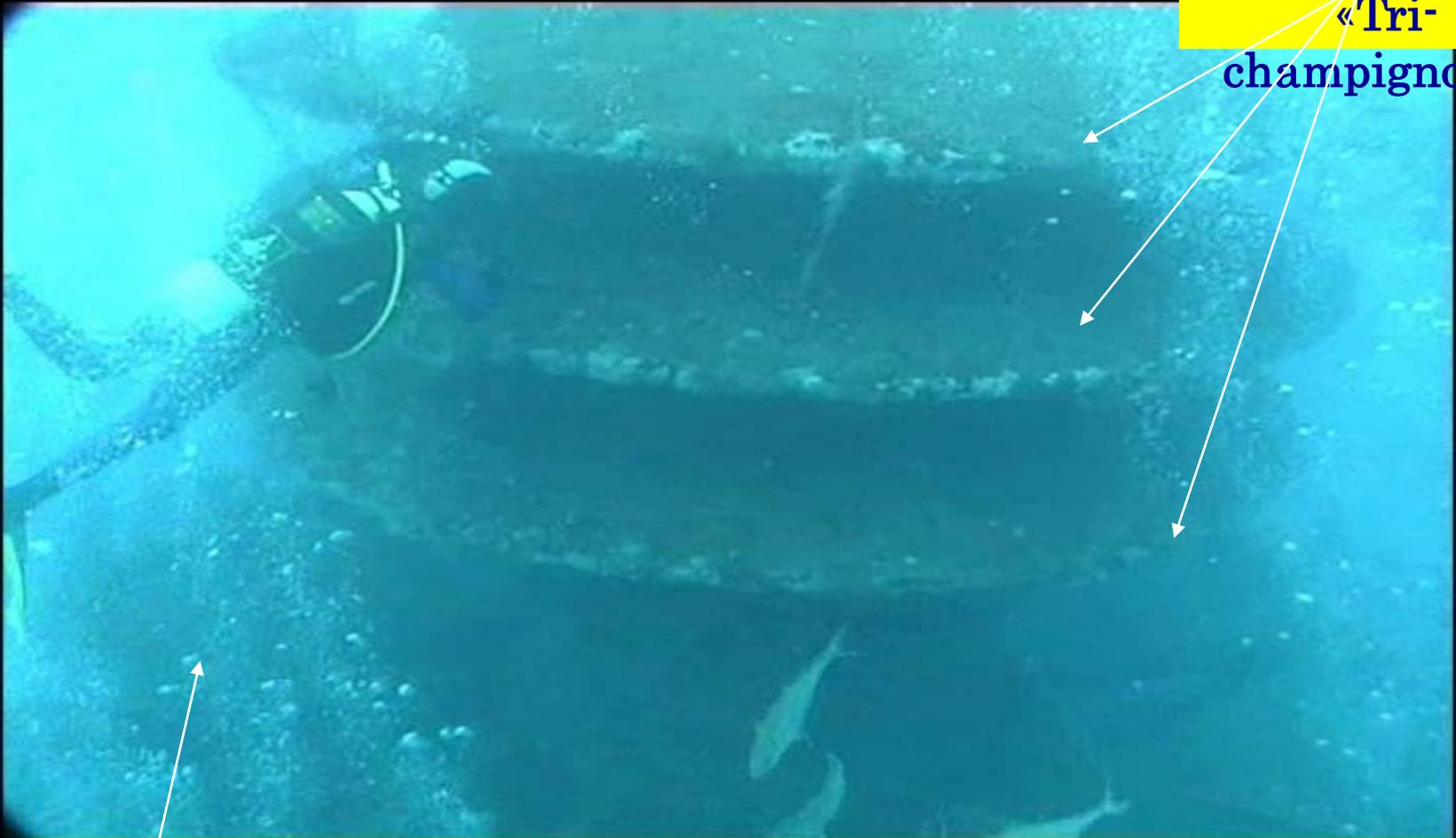
Fujairah Water & Power Plant

# Prise d'eau de l'unité SWRO de Larnaka, Chypre – 50 000 m<sup>3</sup>/jour



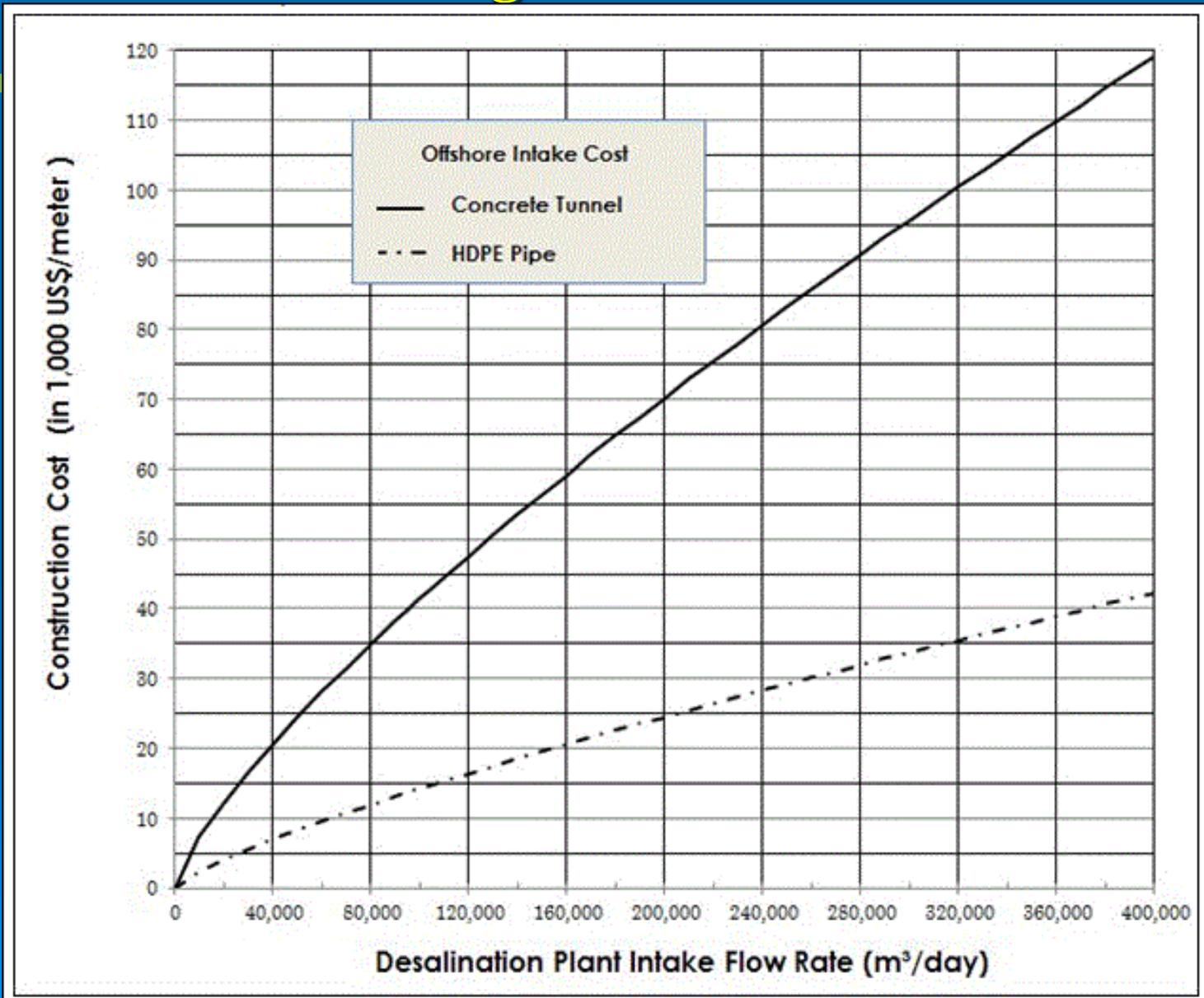
# Prise d'eau de 330 000 m<sup>3</sup>/jour de l'unité de dessalement d'Ashkelon, Israël

Configuration  
«Tri-  
champignons»

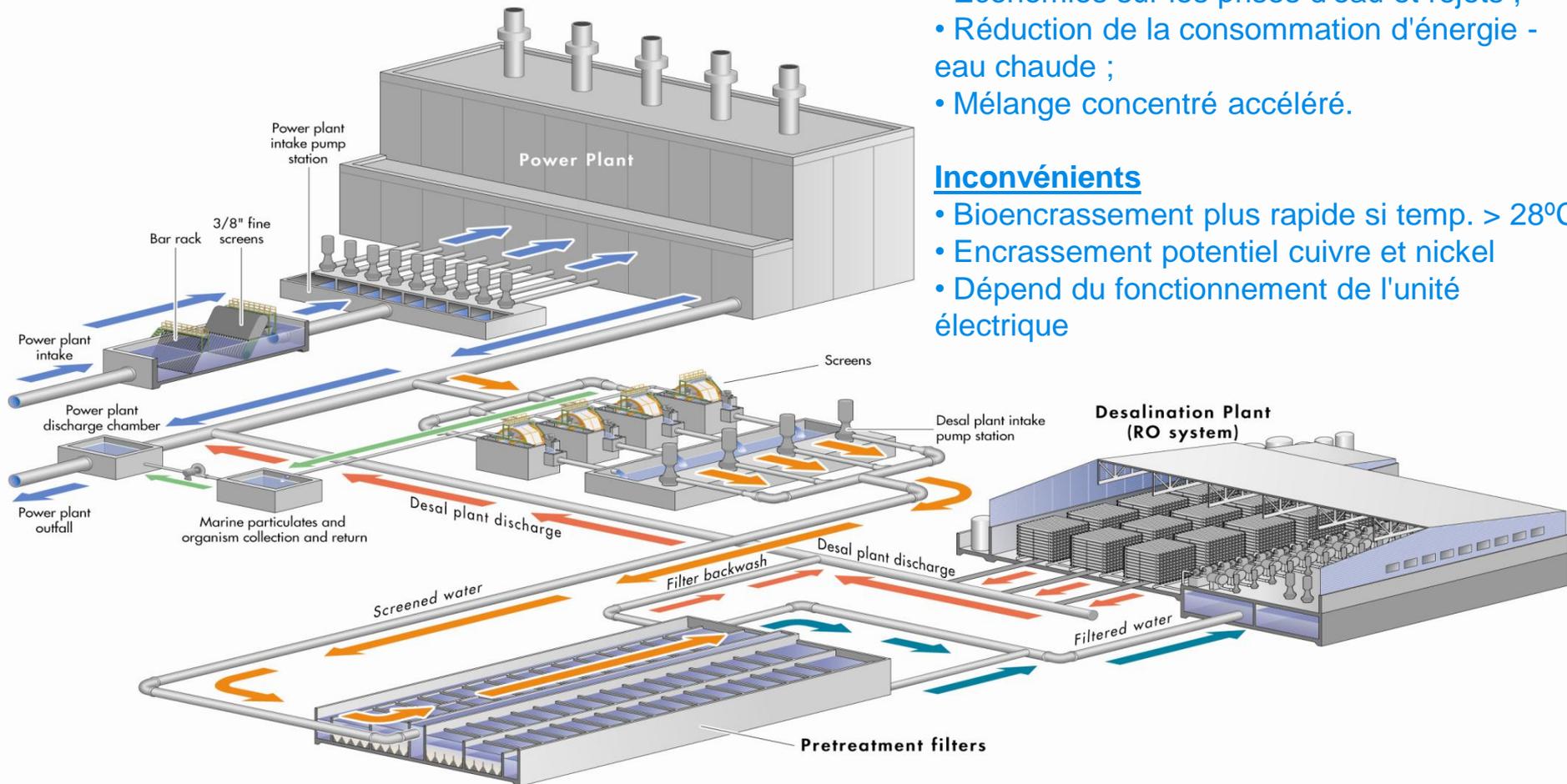


Insufflation d'air- Très efficace pour réduire l'entraînement

# Coûts de construction de prises d'eau au large des côtes



# Co-implantation unité électrique - Utilisation de prises d'eau et rejets existants



## Avantages :

- Économies sur les prises d'eau et rejets ;
- Réduction de la consommation d'énergie - eau chaude ;
- Mélange concentré accéléré.

## Inconvénients

- Bioencrassement plus rapide si temp. > 28°C
- Encrassement potentiel cuivre et nickel
- Dépend du fonctionnement de l'unité électrique

# Co-implantation- économies du coût d'investissement

- Pas besoin de construire une nouvelle prise d'eau et installation de rejet – 10 à 30 % des frais de construction ;
- Pas besoin de construire et faire fonctionner une nouvelle installation de contrôle ;
- Économies d'énergie :
  - Tarif énergétique faible ou inexistant ;
  - Utilisation de la « réserve tournante » des unités énergétiques « must run ».

# Grilles d'entrée

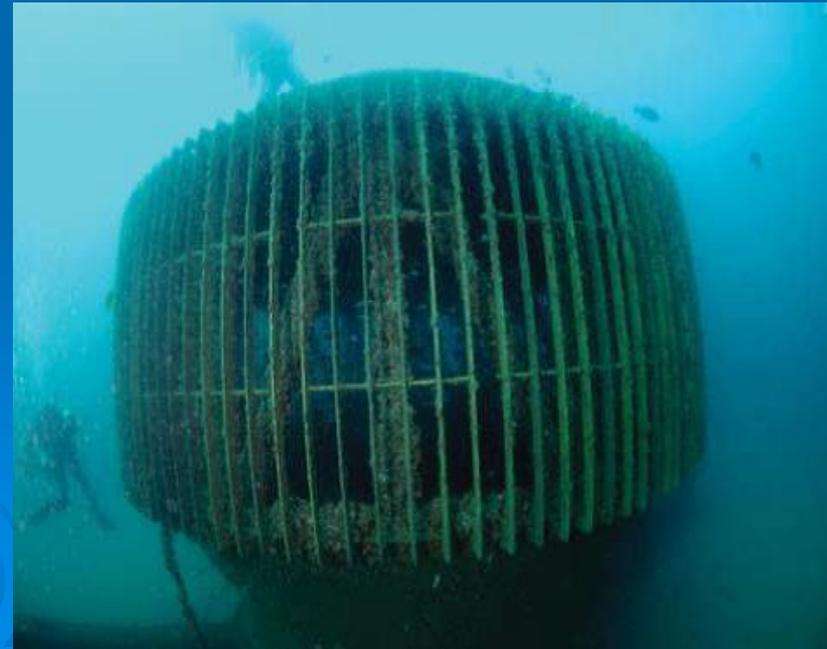


# Classification des grilles

- Dégrilleurs grossiers (barques) :
  - Au large
  - Côtiers
- Grilles fines
  - Rotatifs (tamis à bande et à tambour)
  - Tamis à bandes grillagées
- Micro-grilles
  - Micro-grilles à bande
  - Micro-tamis
  - Filtres à disques

# Dégrilleurs grossiers- installés sur des prises d'eau côtières et au large

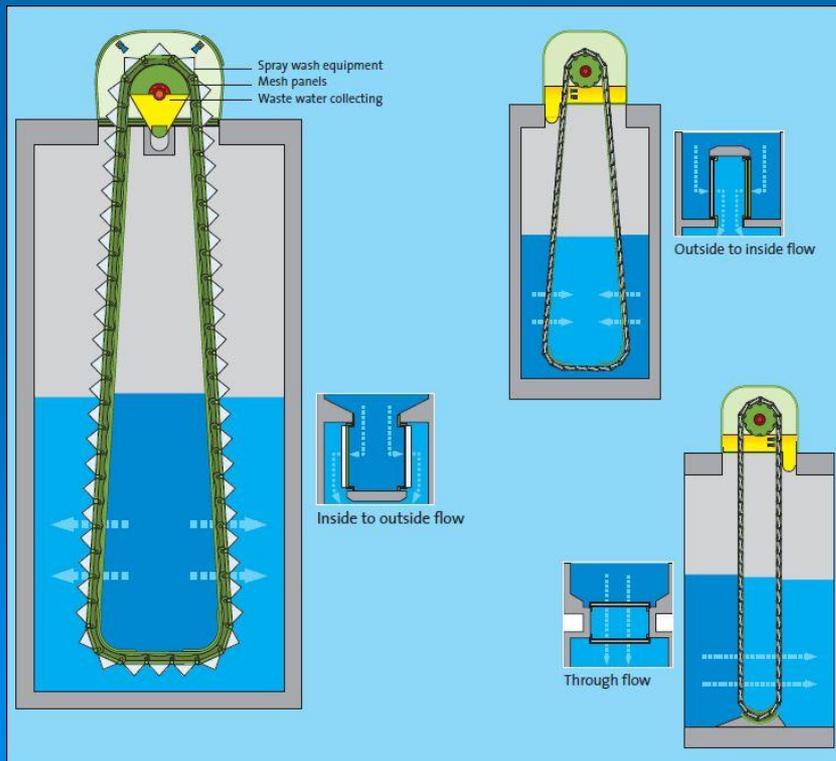
- Fonction : Empêcher les gros débris et la vie marine d'entrer dans l'unité de prise d'eau
- Vitesse du flux – 0,10 à 0,15 m/s (pour réduire les coûts)
- Écartement-
  - 50 - 300 mm
- Dégrilleurs grossiers -
  - Super-duplex
  - Acier inoxydable
  - Alliage Cu-Ni



# Grilles fines - types

- Grilles rotatives
  - Tamis
  - Tamis à bandes
  - Tamis à tambour

- Tamis à bandes grillagées - fixes



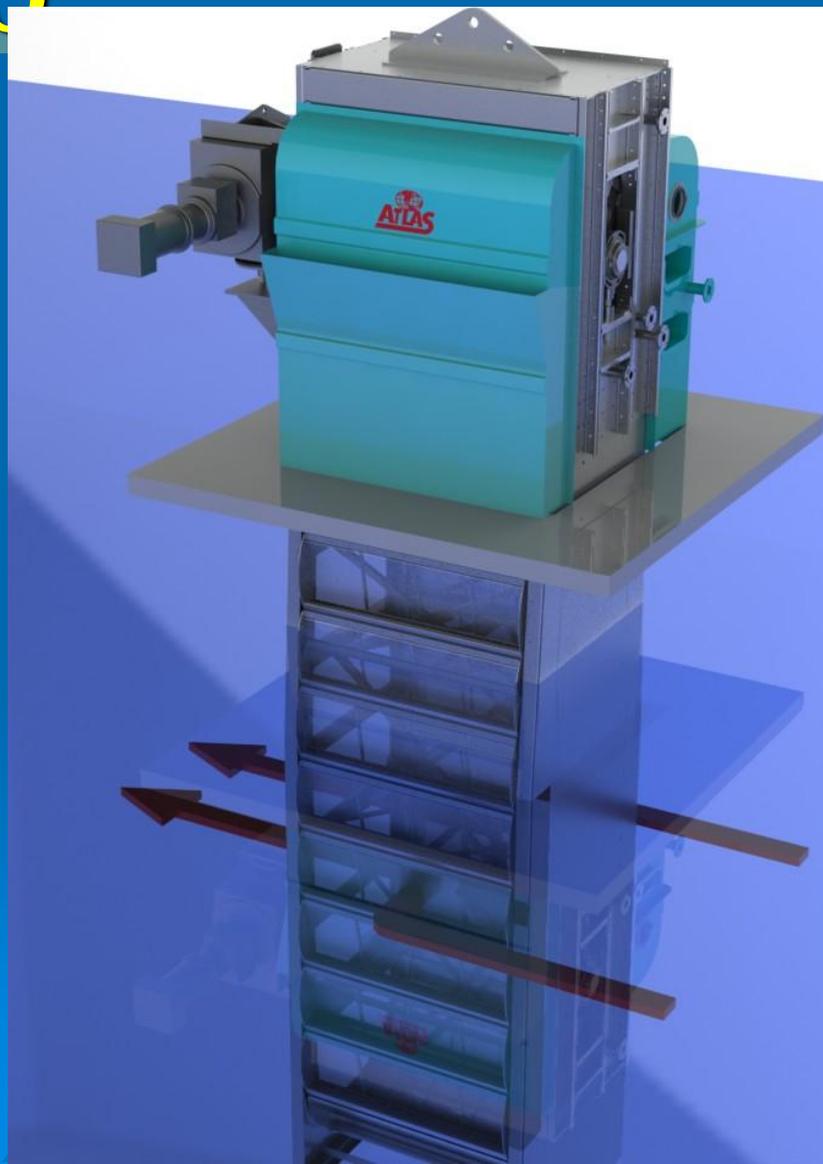
# Grilles fines de prises d'eau



Utilisées principalement pour les unités SWRO avec prises d'eau profondes  
Écartement – 3 à 10 mm

# Grilles rotatives à bandes- plus fréquemment utilisées dans les unités SWRO

- Grilles verticales rotatives à une vitesse de 2 à 10 m/min
- Écrans de contrôle individuels avec filets attachés aux chaînes
- Des sprays à basse pression enlèvent les débris des grilles
- Grilles faits de grillage
  - Plastique
  - Acier inoxydable duplex



# Projet de dessalement de l'eau de mer de Perth- Grilles à terre - grilles à bande



*Crédit photo the Water Corporation*

# Tamis à tambour

- Cylindre rotatif couvert de tourbière-maille
- Situé dans une structure contrôlée
- Grilles fixées sur l'arbre central
- Configuration la plus courante- double entrée

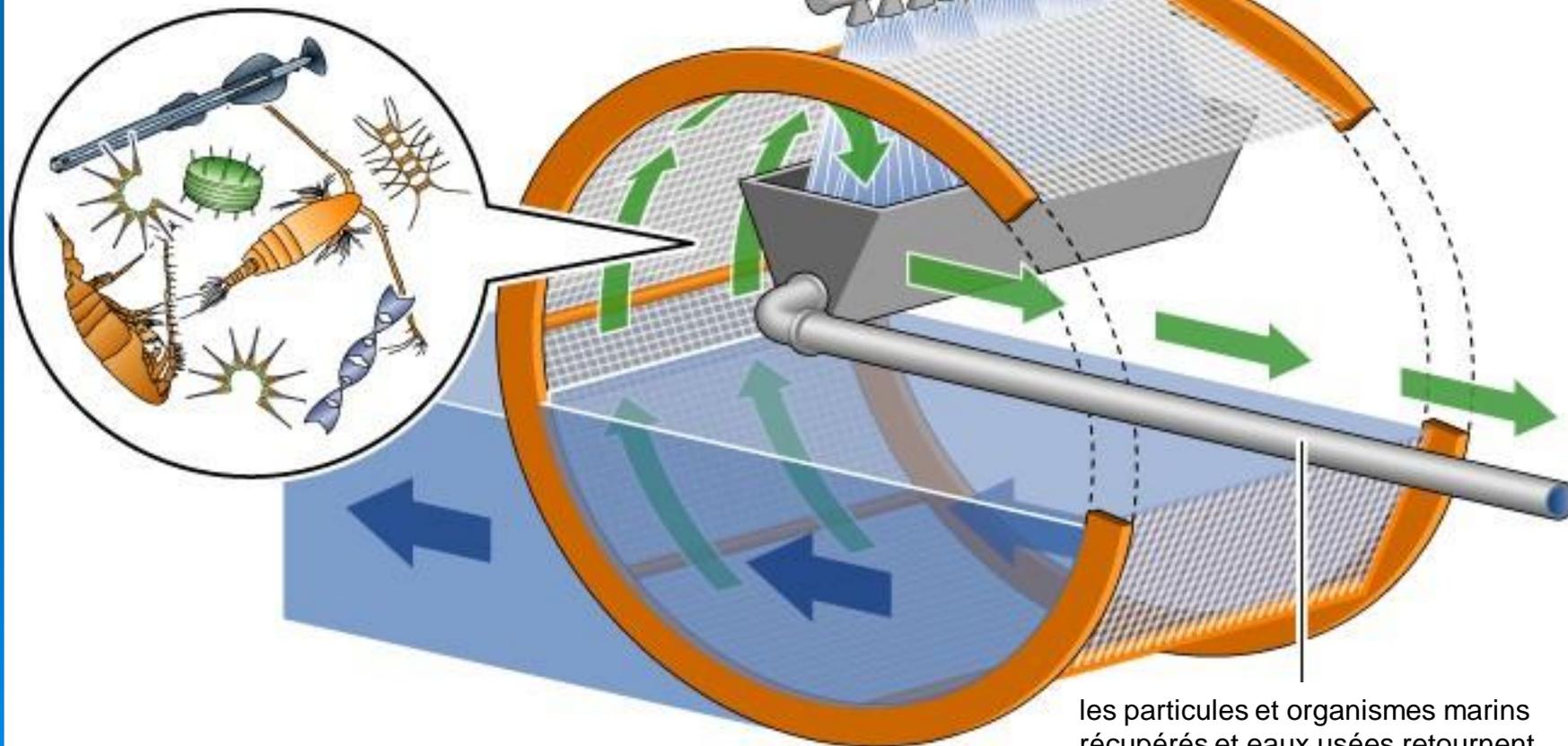


Tamis à tambours de l'unité SWRO de prises d'eau

# Tamis à tambours - Configuration

Lorsque l'eau passe dans les micro-grilles tournantes, les particules et organismes marins (3/8 ' à 120 microns) sont attirés sur la surface interne.

L'eau de nettoyage pousse les particules et organismes marins dans le collecteur.



les particules et organismes marins récupérés et eaux usées retournent dans l'océan.

# Comparaison des tamis à tambour et à bandes

➤ **Tamis à bandes :**  
Empreinte carbonique  
réduite de 30 à 50 %

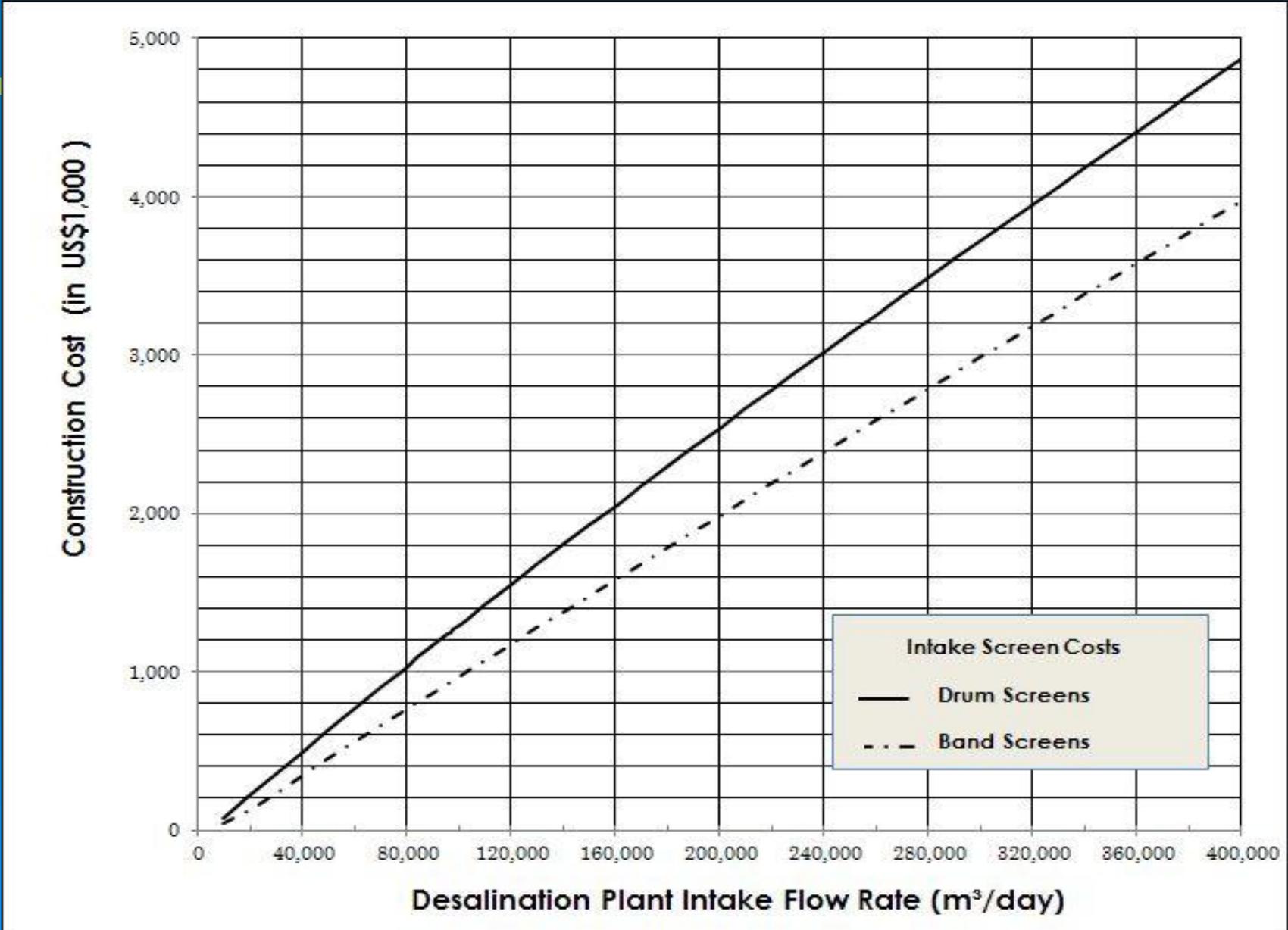
Sont 30 à 40 % moins  
chers

➤ **Tamis à tambours :**  
Moins de frais de  
maintenance

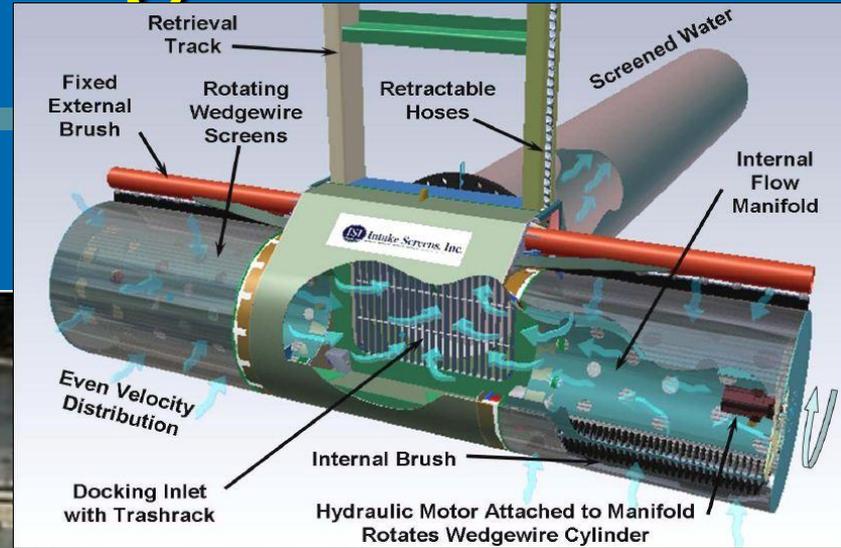
Traite différents flux et  
solides

Créer un flux plus faible -  
perte en charge

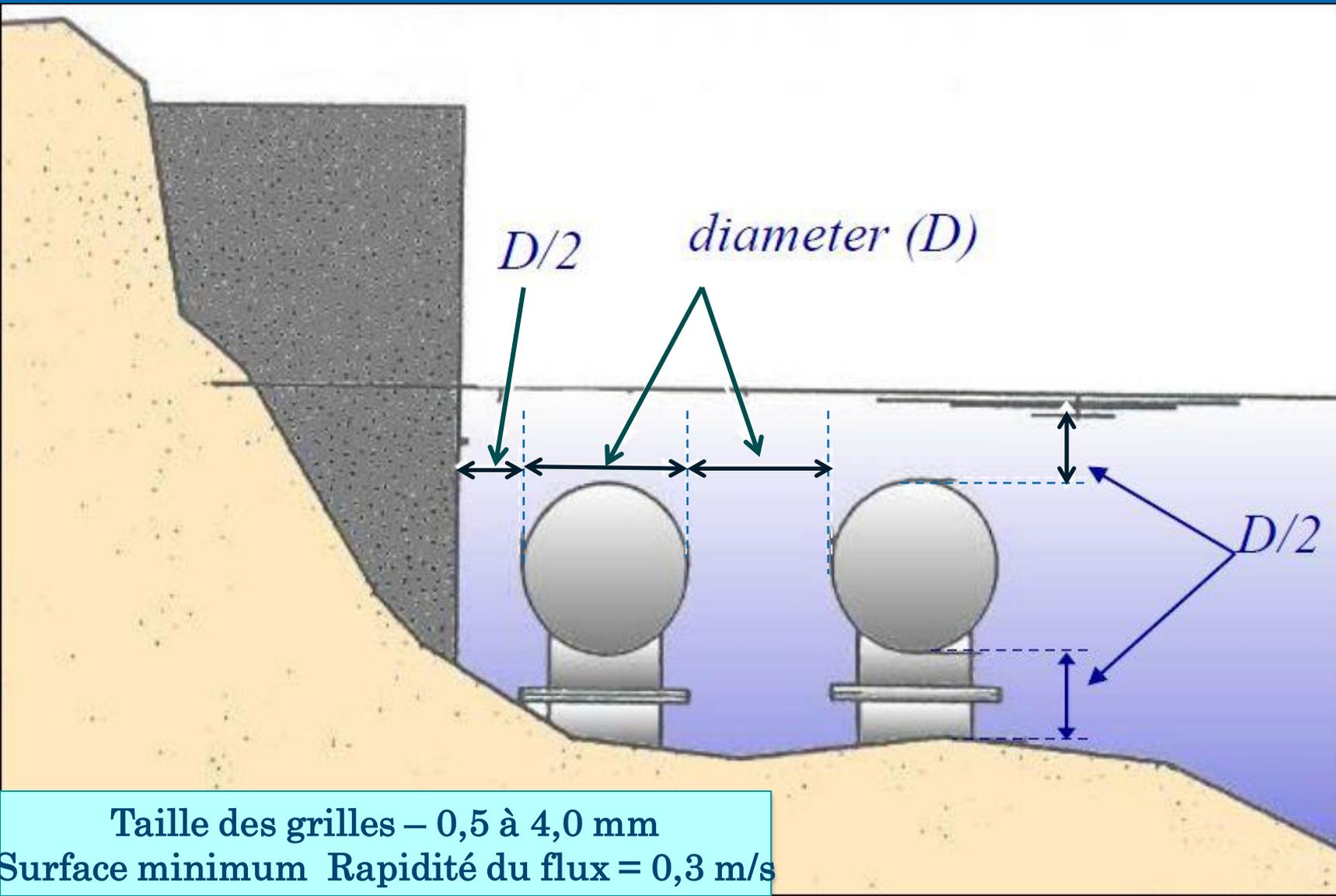
# Comparaison de coûts des tamis à tambour et à bandes



# Tamis à bandes grillagées



# Tamis à bandes grillagées - préférées pour prises d'eau peu profondes



# Comparaison des tamis rotatifs et à bandes grillagées

## ➤ Grilles rotatives

Idéal pour les prises d'eau à au moins 5 mètres

Plus universel en terme de situation

À installer de préférence loin des courants sous-marins

Utilisé dans toutes les grandes unités SWRO en Australie, Méditerranée et Espagne

## ➤ Prise tamis à bande grillagée

Peut être installée dans des endroits peu profonds (profondeur de 5 m ou moins)

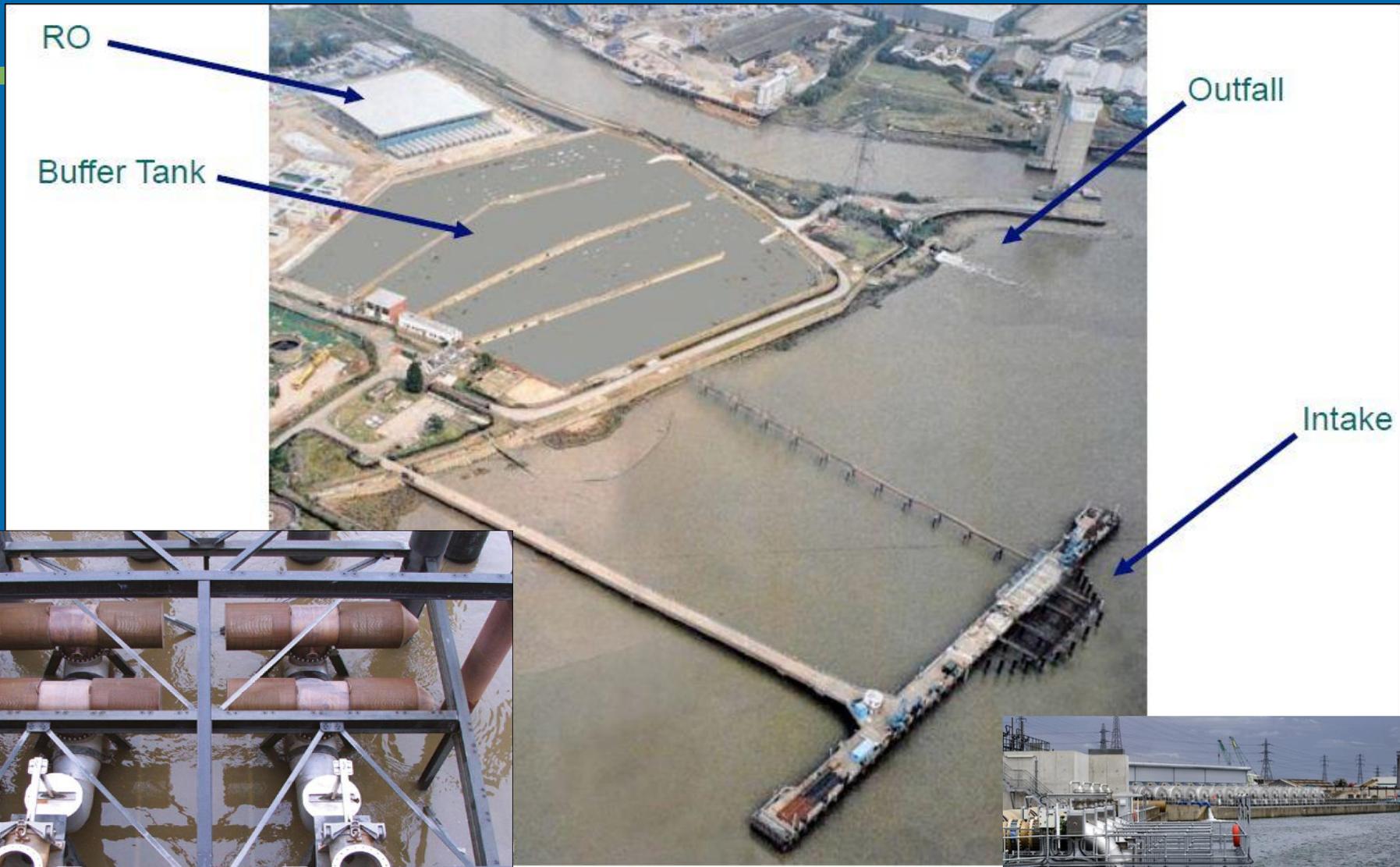
Nécessite un courant sous-marin minimum de 0,3 m/s pour éviter l'encrassement

Les applications à pleine échelle sont utilisées dans les petites unités

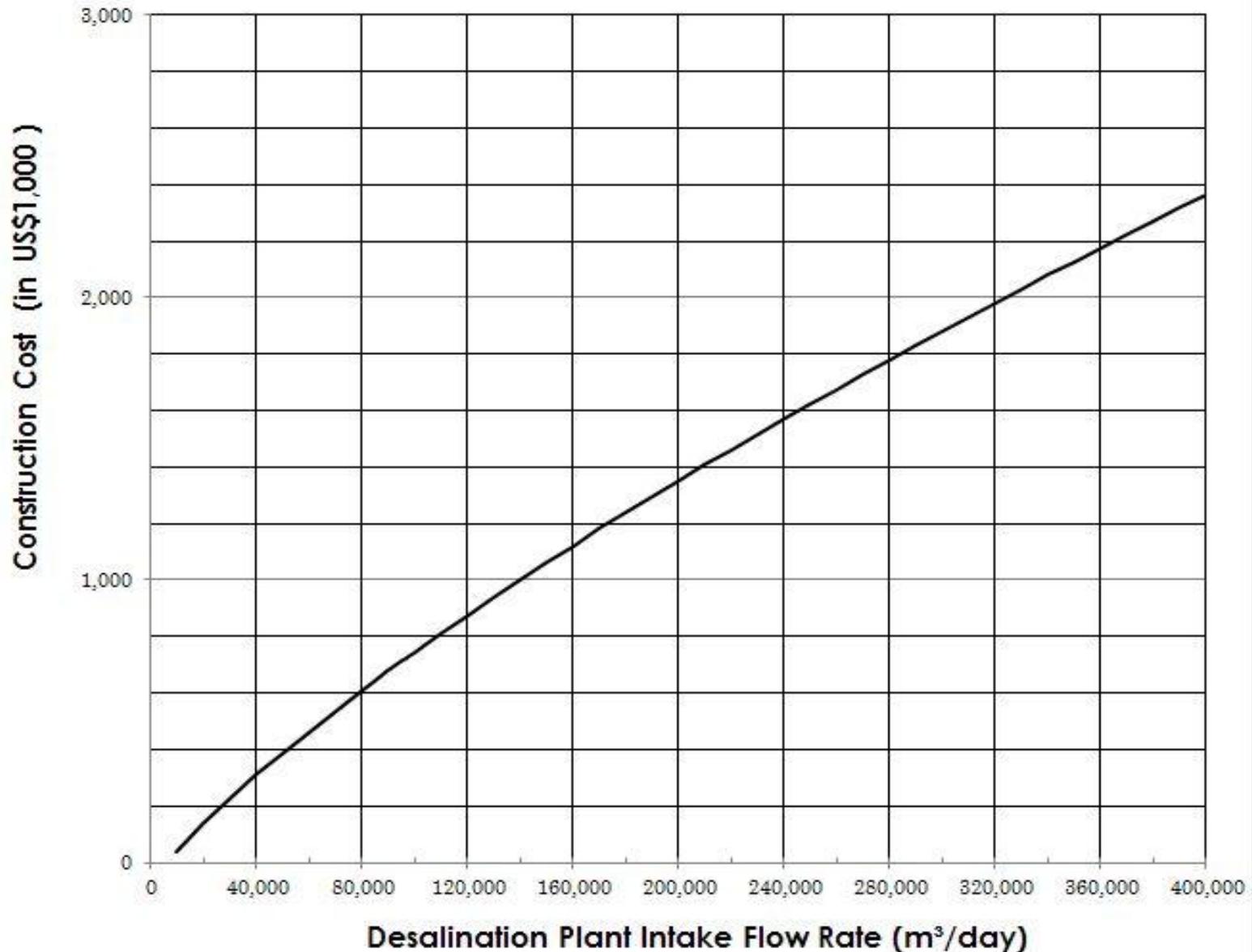
Utilisés avec succès dans 150 MLD de l'unité de Beckton, Londres (Royaume-Uni)

# 150 000 m<sup>3</sup>/jour Unité Beckton Plant, Londres

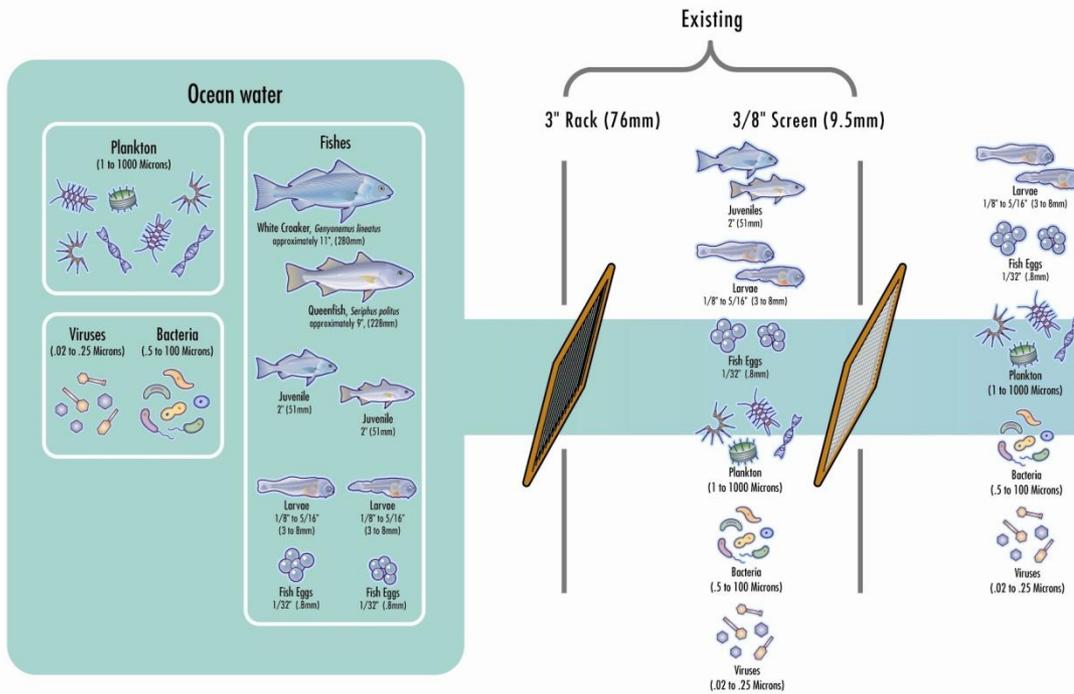
## Prise tamis à bande grillagée



# Coûts de construction tamis à bande grillagée



# Prises d'eau ouvertes - micro grilles



500- $\mu$  filtres

Screened water to power plant and desalination project



120- $\mu$  filtres à disque

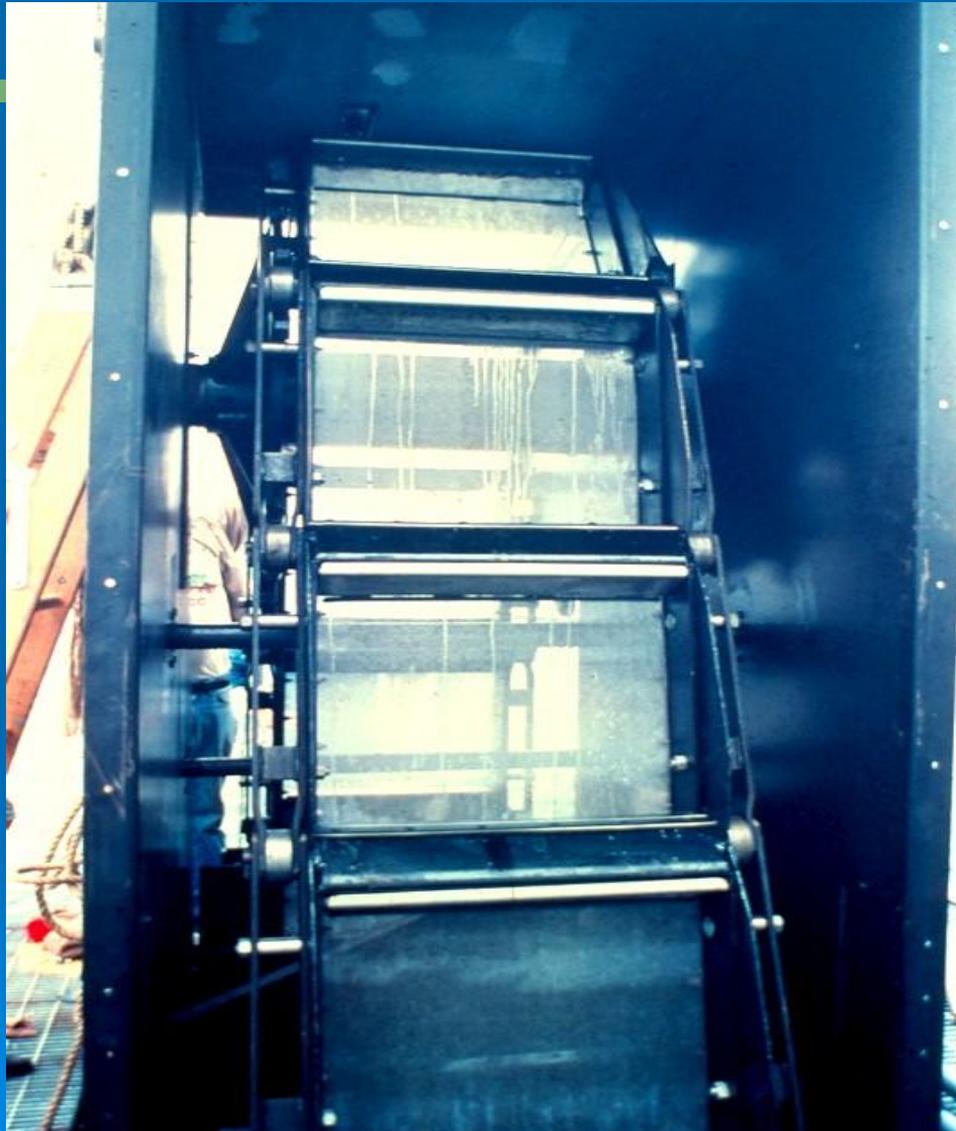
Prises d'eau ouvertes - tamis mécaniques

# Pourquoi avoir besoin de micro grilles ?

## Dommmages de la membrane

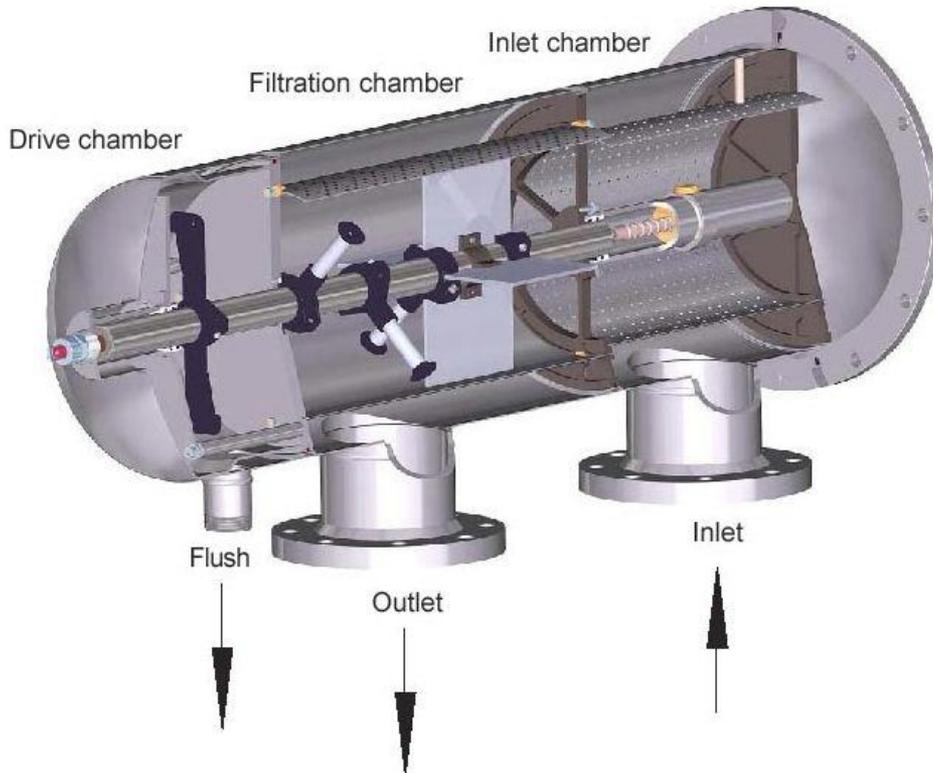
- Sable : **50 - 250  $\mu$**
- Algues, micro algue, fibres : **100 - 500  $\mu$**
- Zooplancton - Rotifère, Crustacés, etc : **80 - 100  $\mu$**
- Couche de débris : **50 - 500  $\mu$**
- Colonies minéralisées d'éponges et autres organismes marins : **>100  $\mu$**
- Bioencrassement microbiologique et incrustations des parois

# Micro-grilles à bande



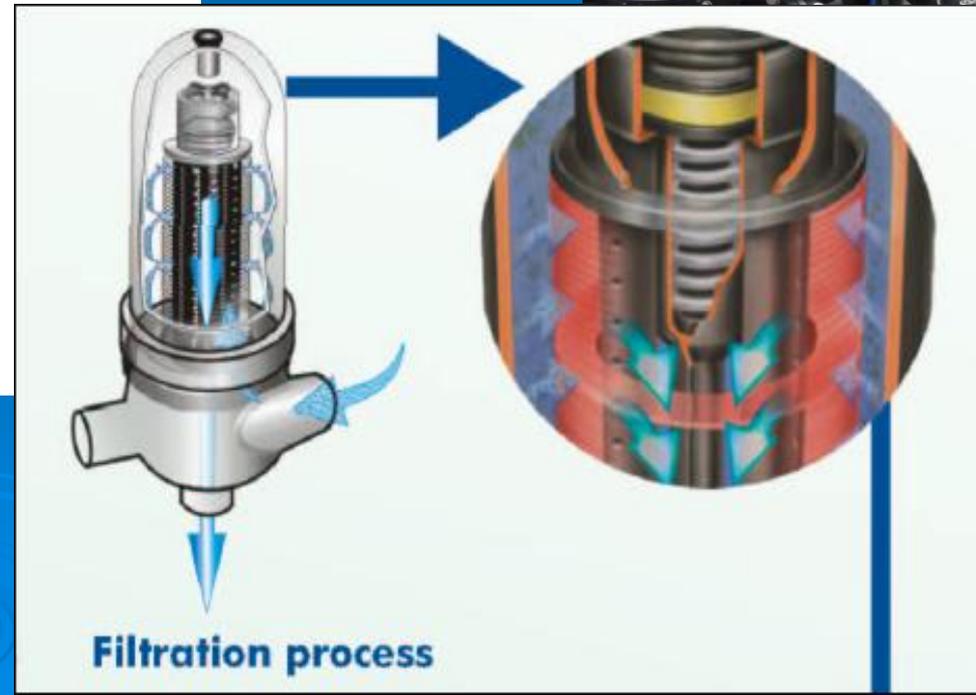
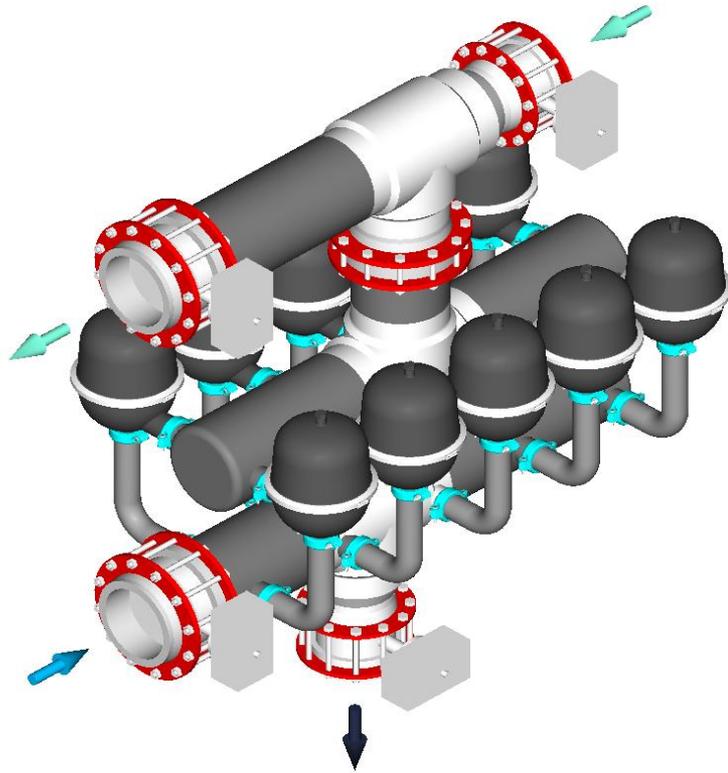
Micro grilles à bandes 500  $\mu$  – Unité SWRPO de prise d'eau de Tampa

# Micro-tamis



- L'eau de source entre par le côté interne et se déplace à travers la grille
- L'accumulation graduelle sur les murs internes crée un cake des résidus de l'eau de source
- La perte en charge pousse à l'auto-nettoyage

# Biodisques (80 à 120 $\mu$ )



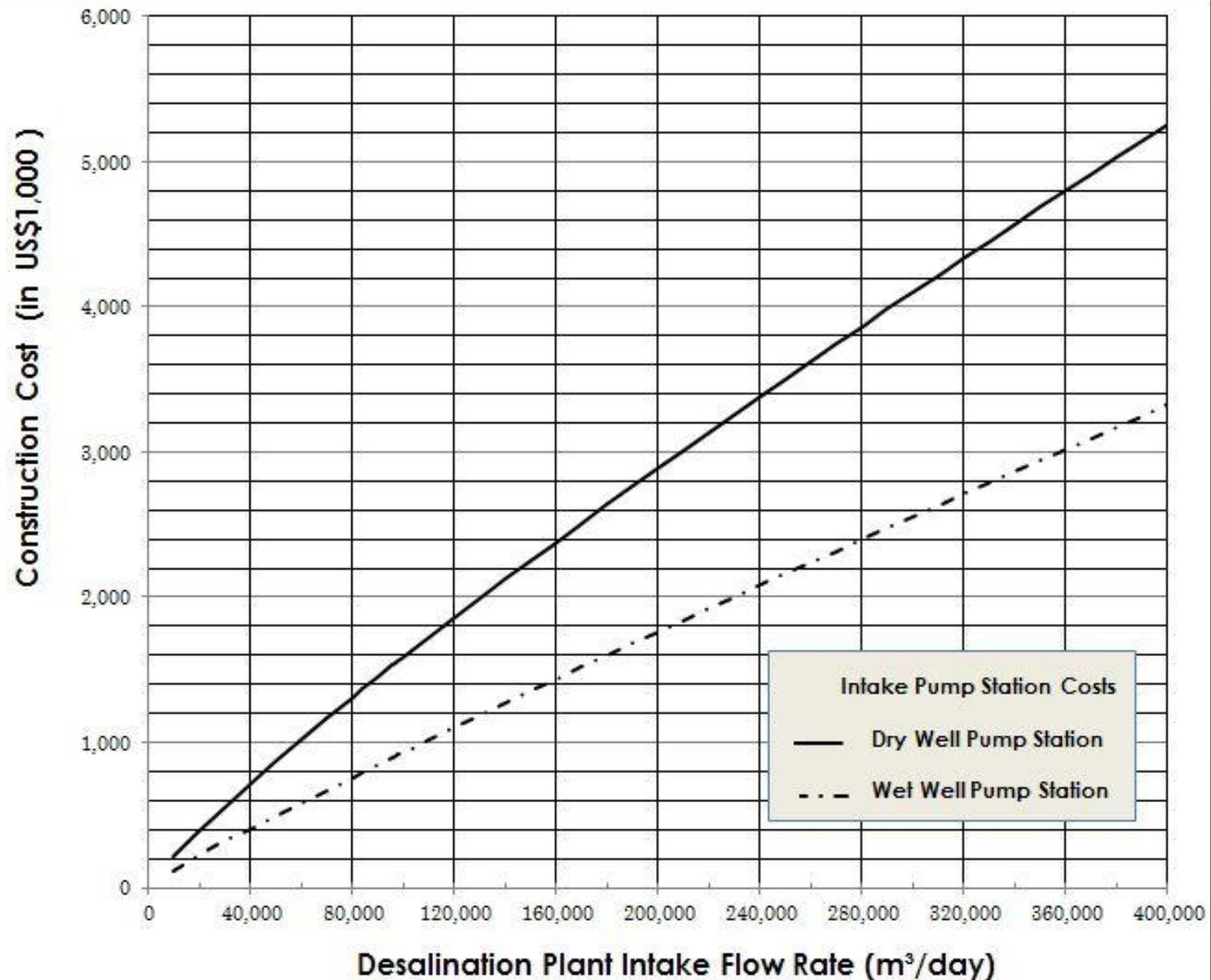
# Micro grilles - coûts de construction



# Résumé des coûts de construction de la prise d'eau

- Dépend de la qualité de l'eau brute
- Habituellement entre US\$50 et 100/m<sup>3</sup>/jour
- Puits côtiers généralement moins chers
- Puits à l'horizontale et penchés comparables aux prises d'eau ouvertes
- Galeries d'infiltration souvent plus chères que les prises d'eau ouvertes

# Coûts de station de pompage



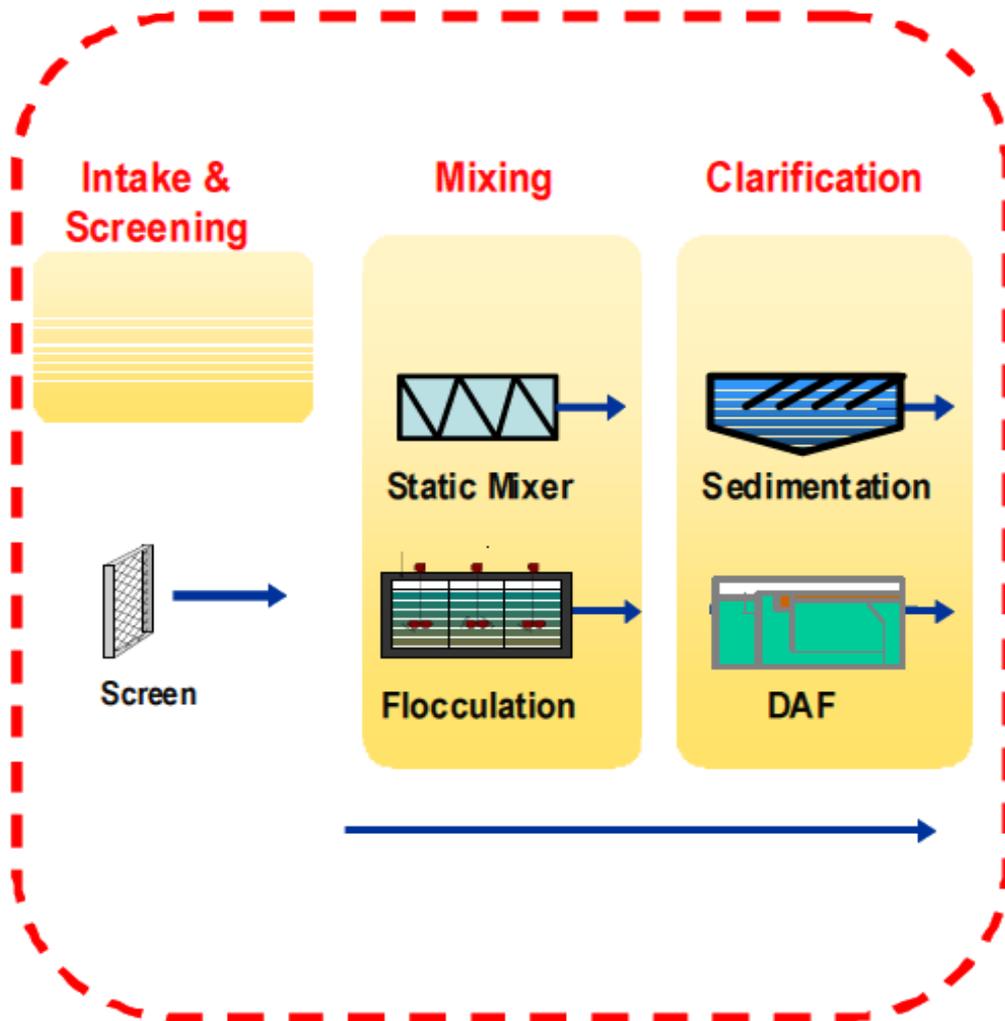
# Pré-traitement de l'eau brute

---

- Coagulation et Flocculation ;
- Sédimentation renforcée et conventionnelle ;
- Filtres par matériau granulaire ;
- Filtration UF et MF ;
- Suppression de la formation calcaire sur les membranes ;
- Élimination de l'oxydant.

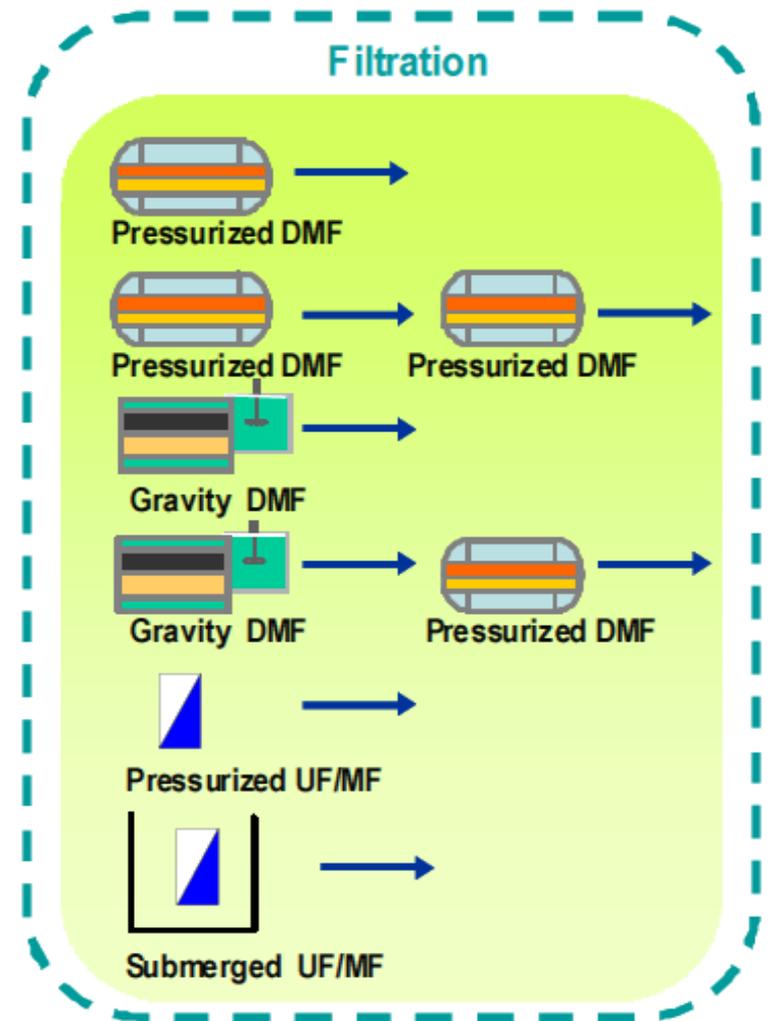
# Alternatives de pré-traitement

## Primary

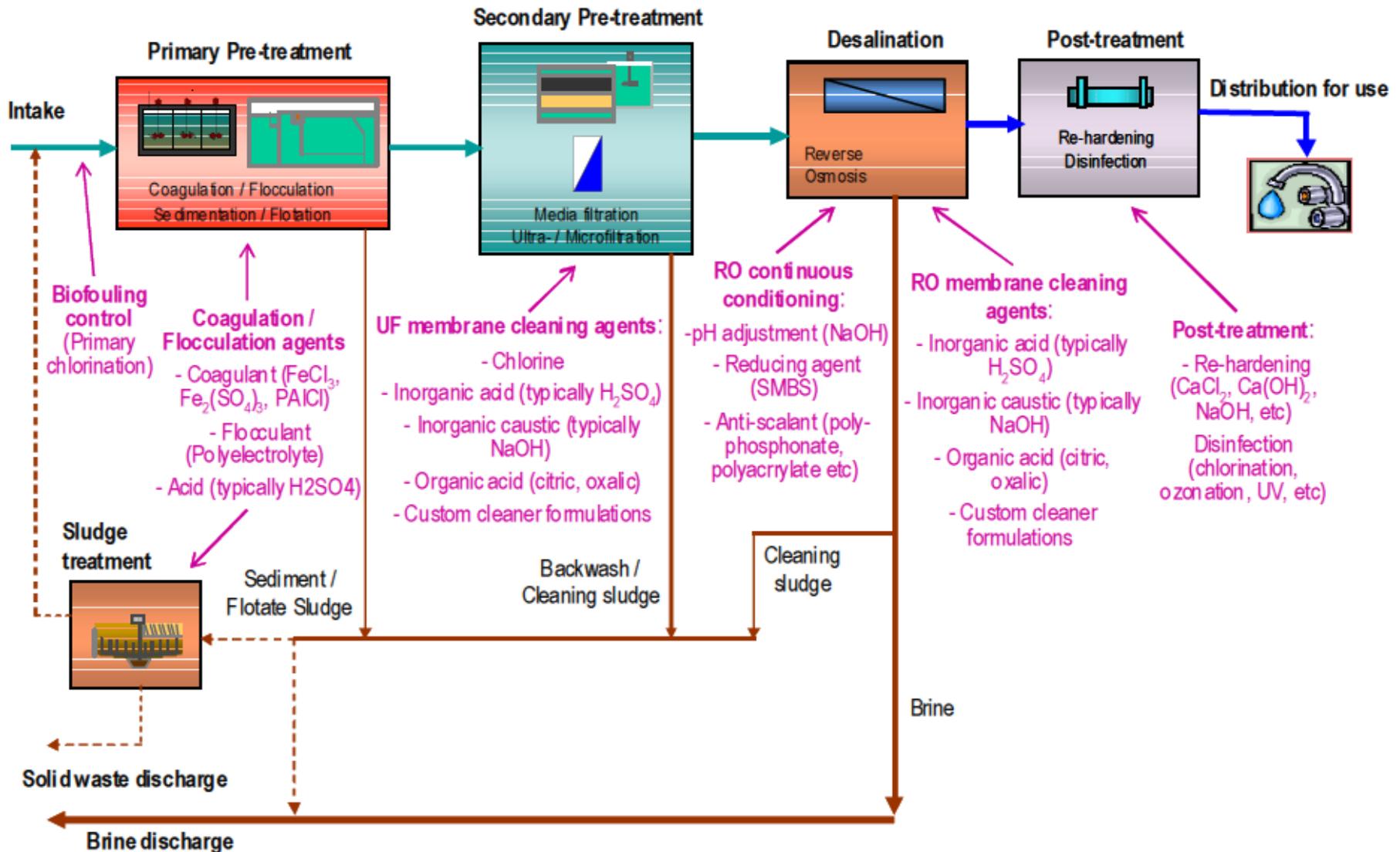


## Secondary

### Filtration



# Conditionnement de l'eau de source

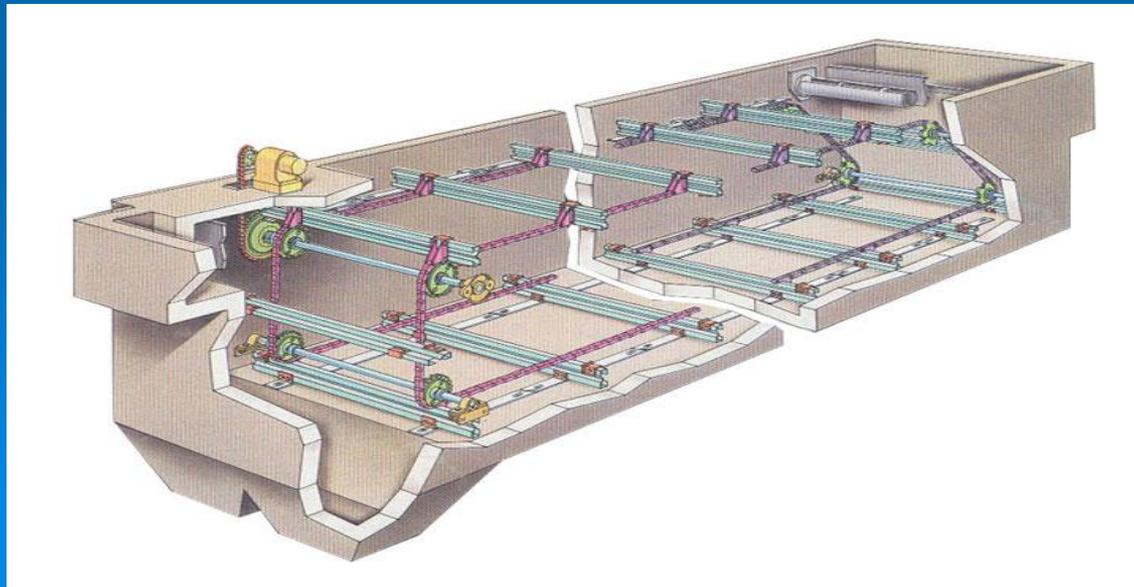


# Coagulation et Flocculation

- Objectif - Agrandir la taille de l'encrassement colloïdal pour renforcer son élimination
- Coagulants - sels de fer- neutralise les charges négatives des particules dans l'eau de mer pour faciliter la sédimentation et la filtration
- Flocculants - polymère- augmente la taille des particules coagulés pour filtration facilitée
- Acides- ajoutent de la charge positive au coagulant et renforcent ainsi sa capacité à attirer les particules

# Sédimentation renforcée et conventionnelle

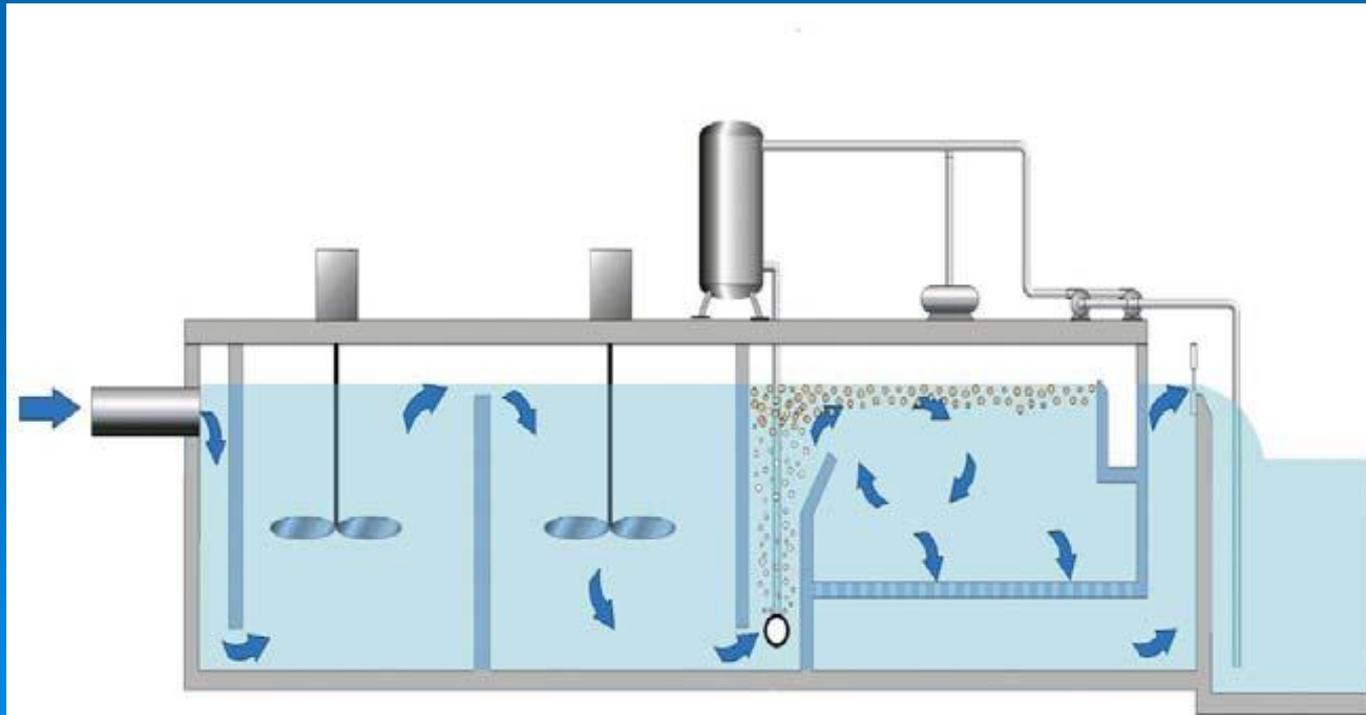
- Sédimentation conventionnelle - retirer les particules coagulées en réglant les clarificateurs
- Sédimentation renforcée (Lamelle) - pour retirer les solides de l'eau de mer



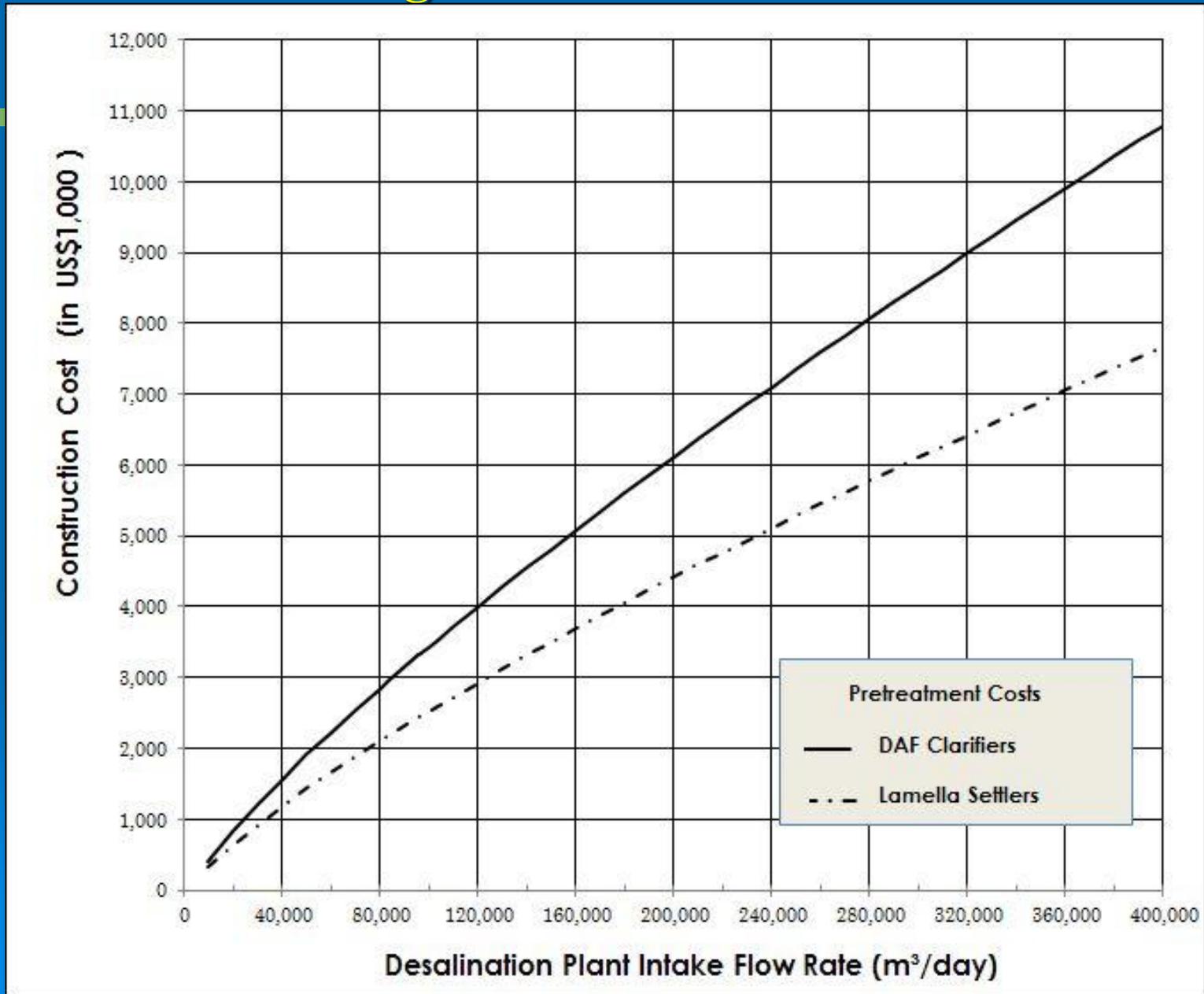
# Flottation à l'air dissous (DAF)

## ➤ Objectif :

- Élimination des algues et autres particules flottantes ;
- Élimination de l'huile et de la graisse ;



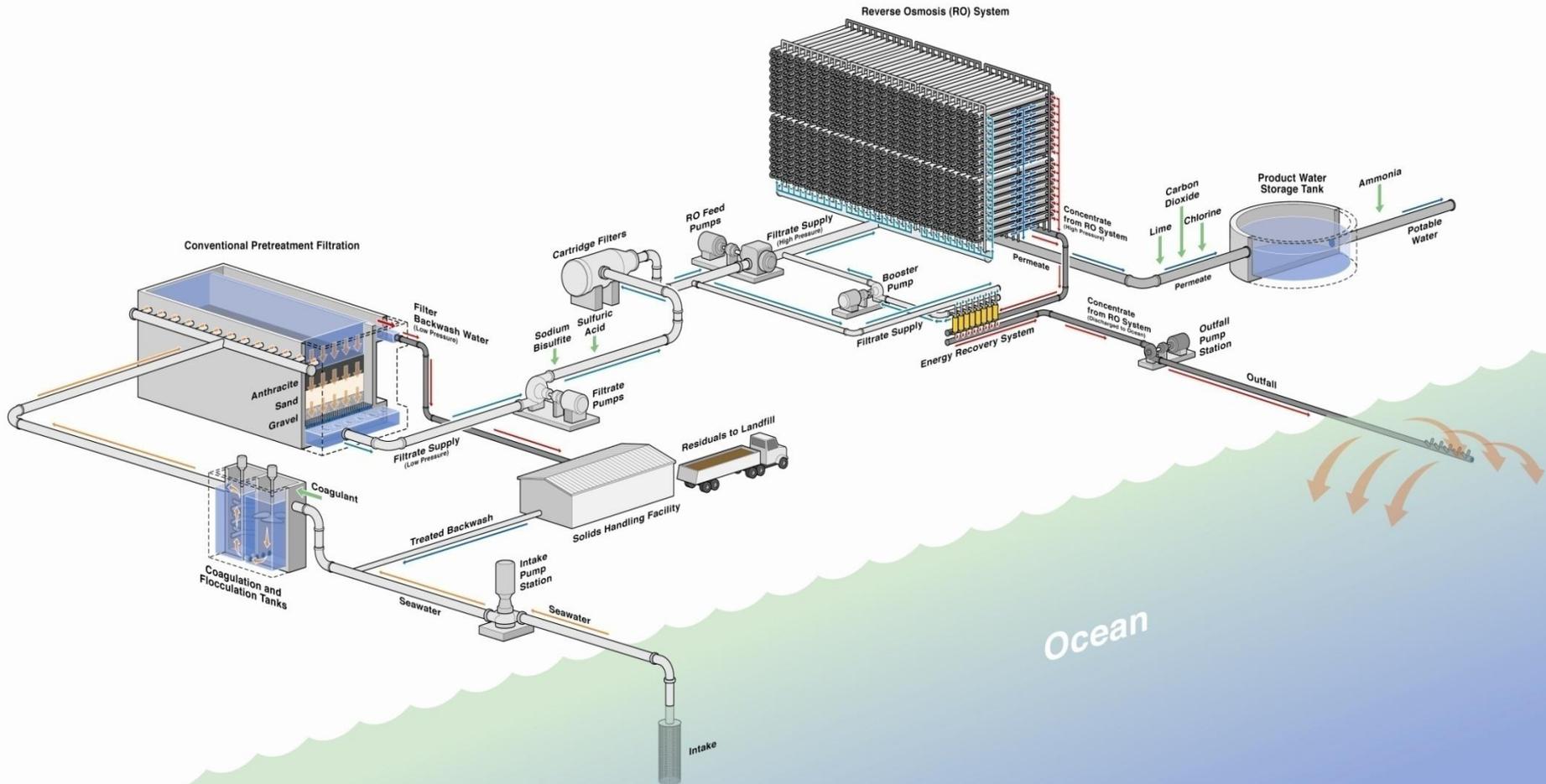
# Coûts de construction pour les clarificateurs par gravité et DAF



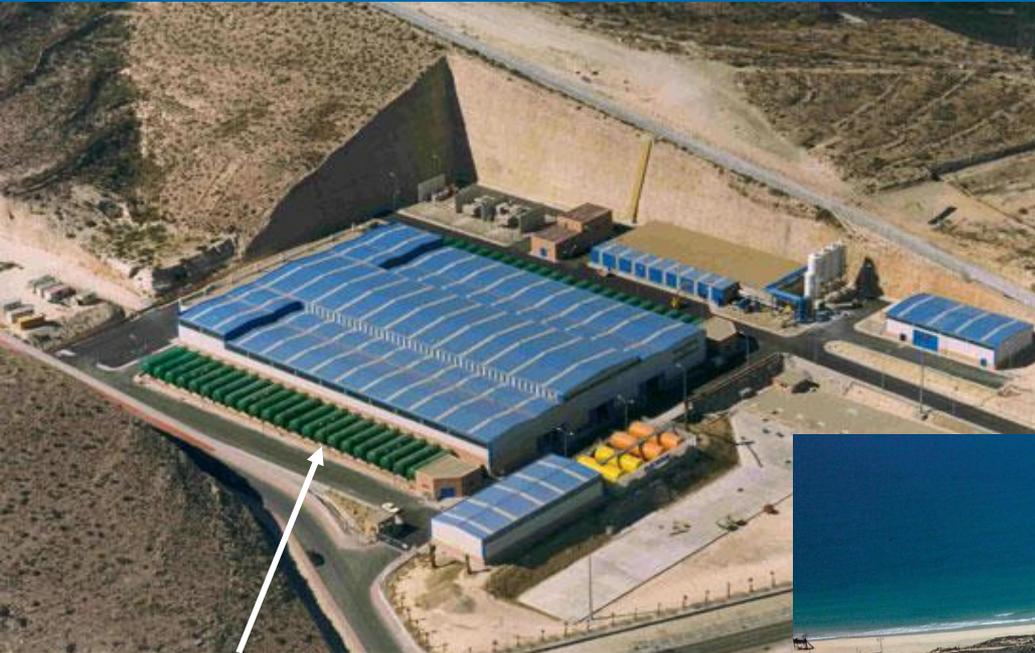
# Alternatives de pré-traitement

- Objectif : Éliminer les particules solides de l'eau de mer de source avant la séparation SWRO
- Filtres par matériau granulaire- filtration à travers matériau granulaire (anthracite ou pierre ponce et sable)
  - Gravité ou fonctionnement à pression ;
  - Simple et double.
- Filtres membranes- filtration par plastique poreux ou membranes céramiques
  - UF et MF ;
  - Distillation et fonctionnement à pression.

# Unité SWRO avec pré-traitement conventionnel



# Gravité et filtration sous pression

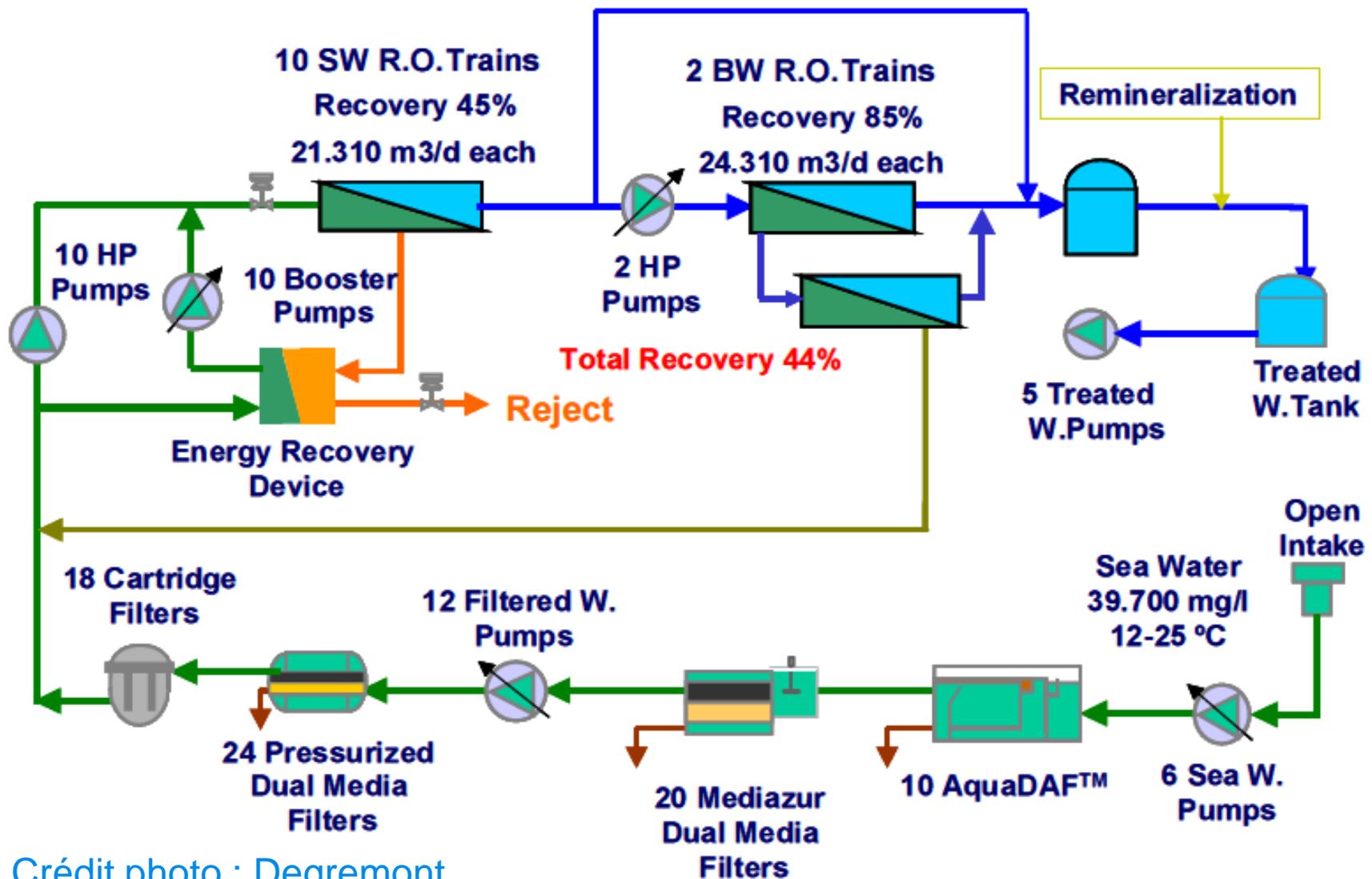


**Carboneras, Espagne**  
Filtration par pression

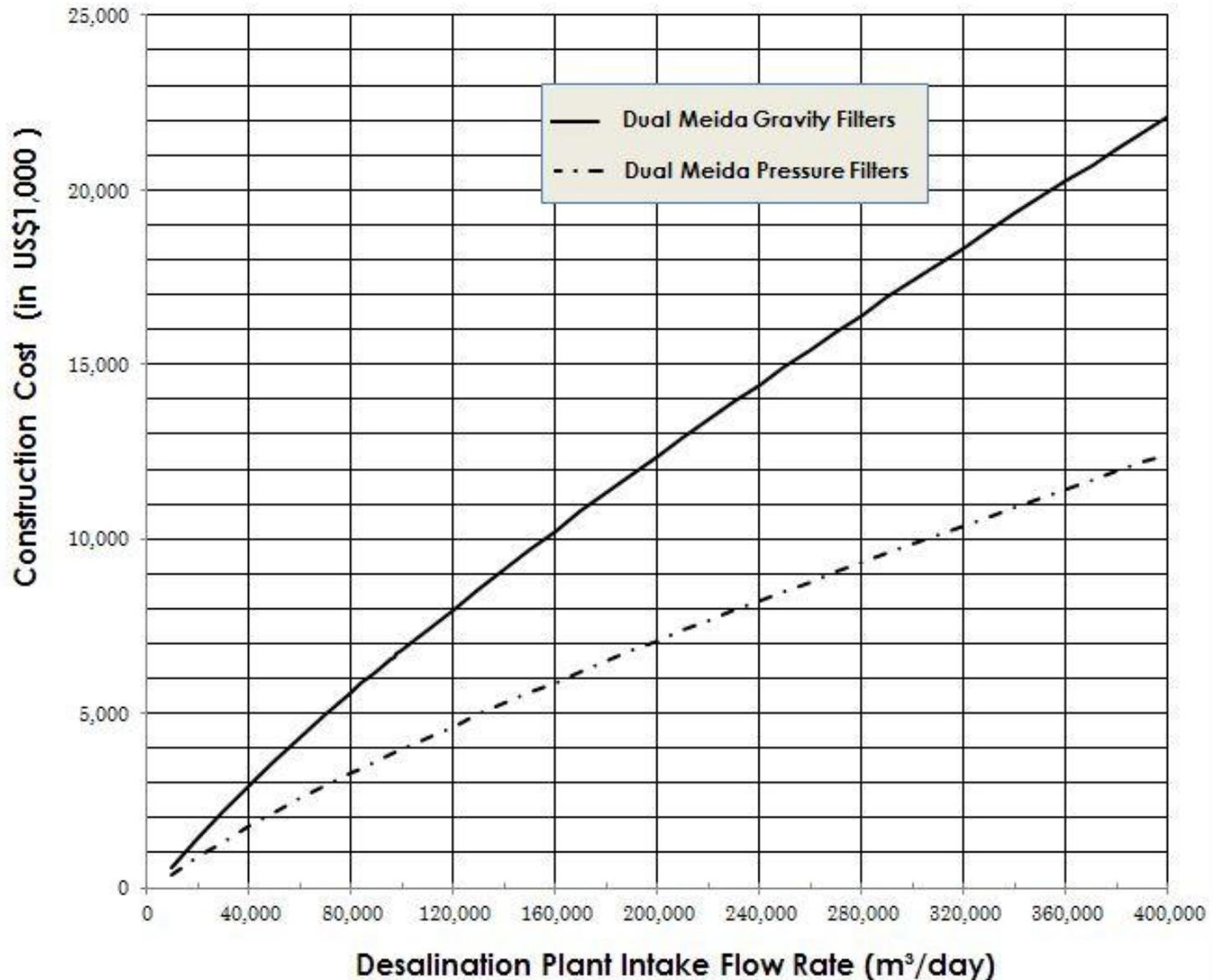
**Ashkelon, Israël**  
Filtration par gravité



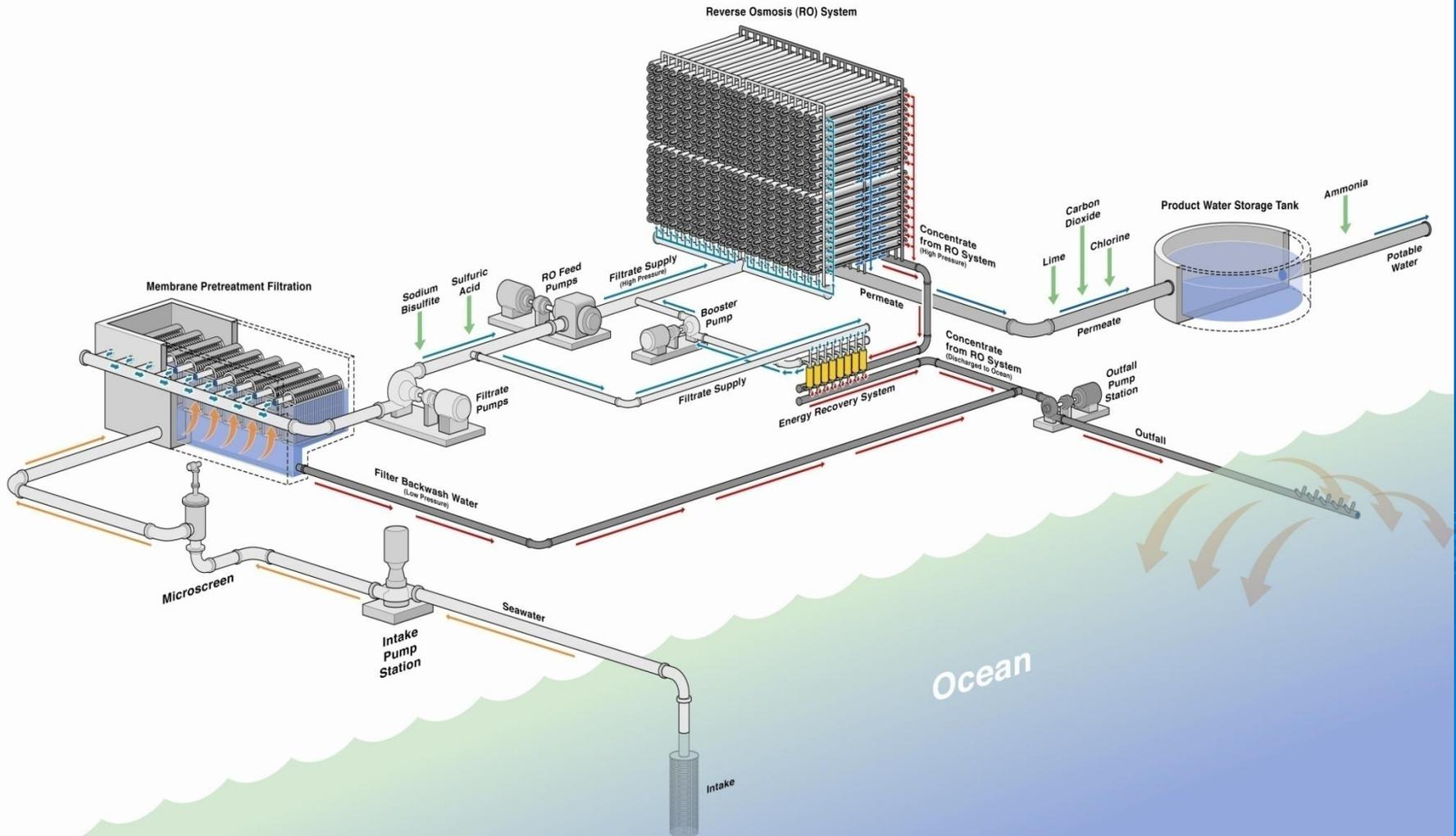
# Unité 200 ML/d de Barcelone – DAF + filtres par gravité + filtres pression



# Coûts de construction pour les filtres par matériau granulaire



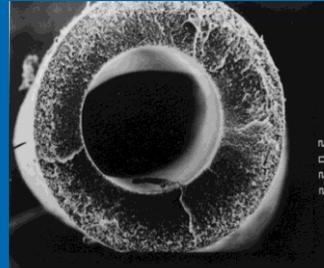
# Unité eau de mer avec pré-traitement membranaire



# Pré-traitement membranaire - Bénéfices potentiels

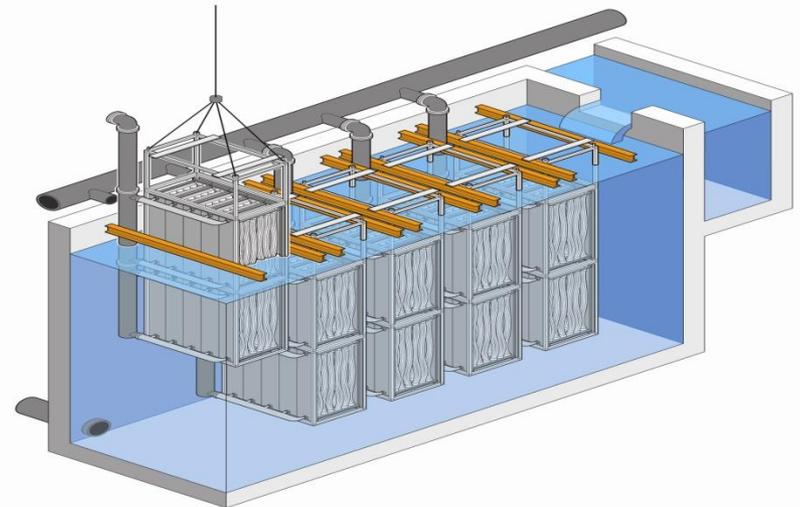
## ➤ Pour le prétraitement :

- Élimination des microbes ;
- Empreinte carbonique réduite ;
- Pas de conditionnement de l'eau de source requis ;
- Moins de résidus à traiter ;
- Facilité de fonctionnement.

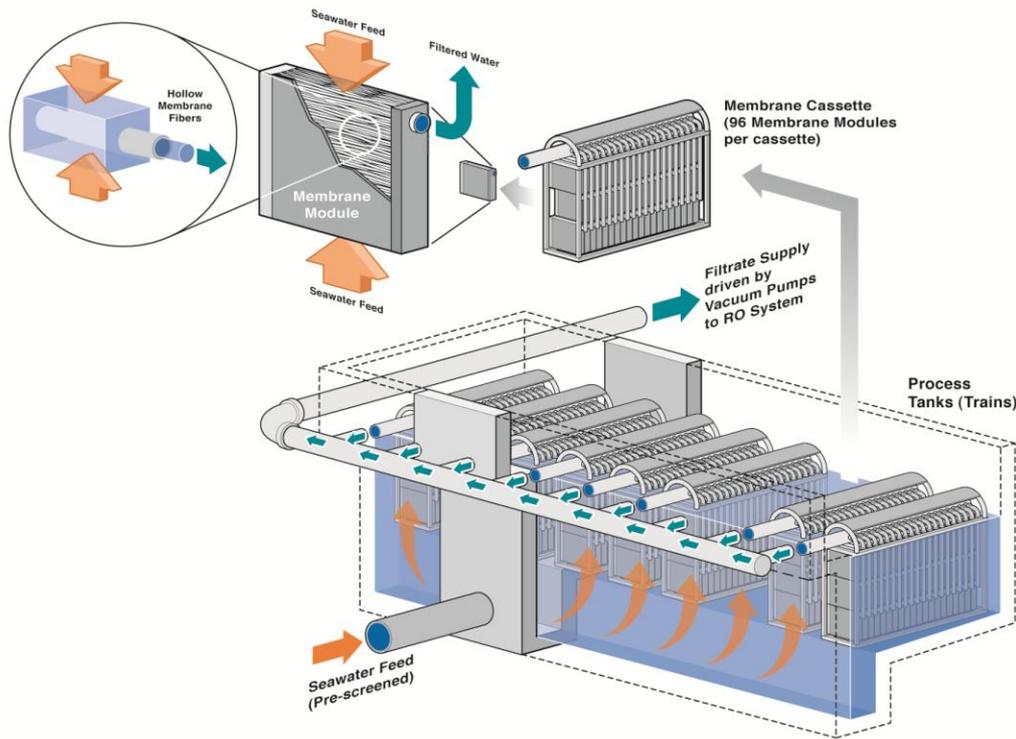


## ➤ Pour le système RO :

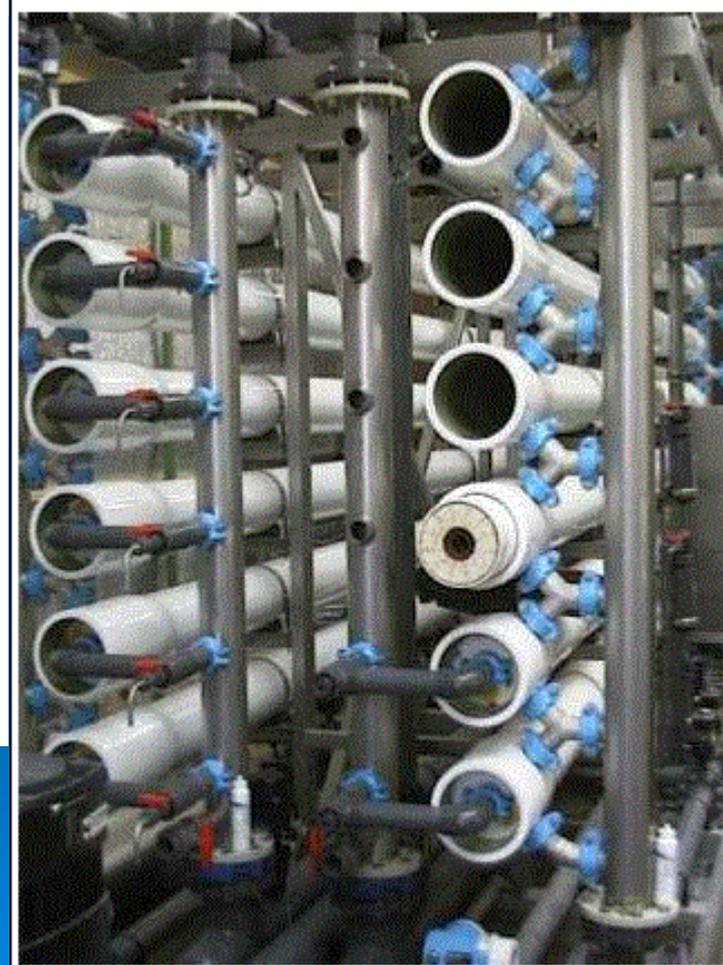
- Vie de la membrane plus longue ;
- Fonctionnement à des flux plus élevés (moins de membranes nécessaires) ;
- Frais de remplacement de la membrane et de nettoyage réduits.



# Filtres UF et MF de distillation et à pression

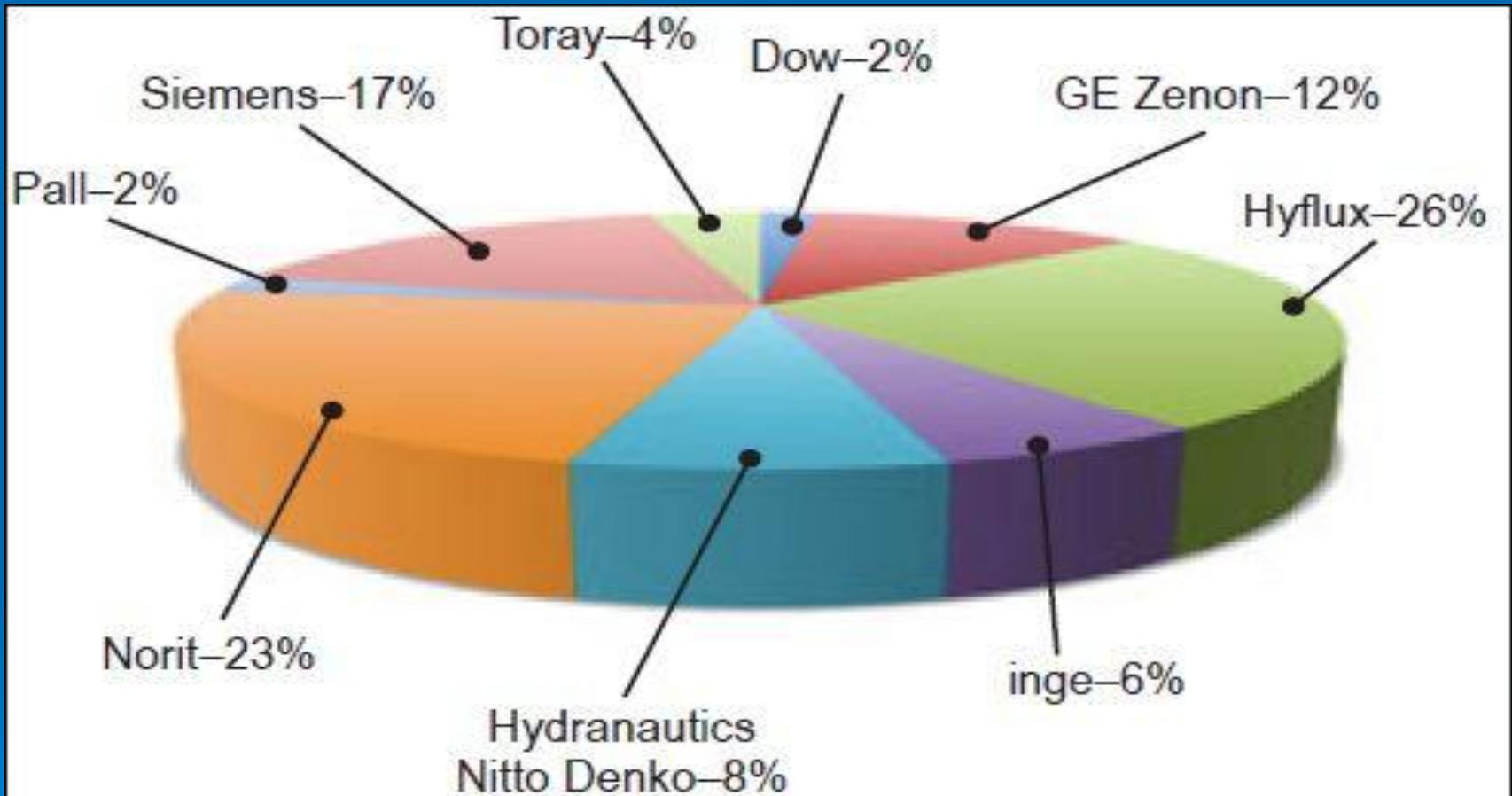


Filtres à distillation  
Exemple - Zenon



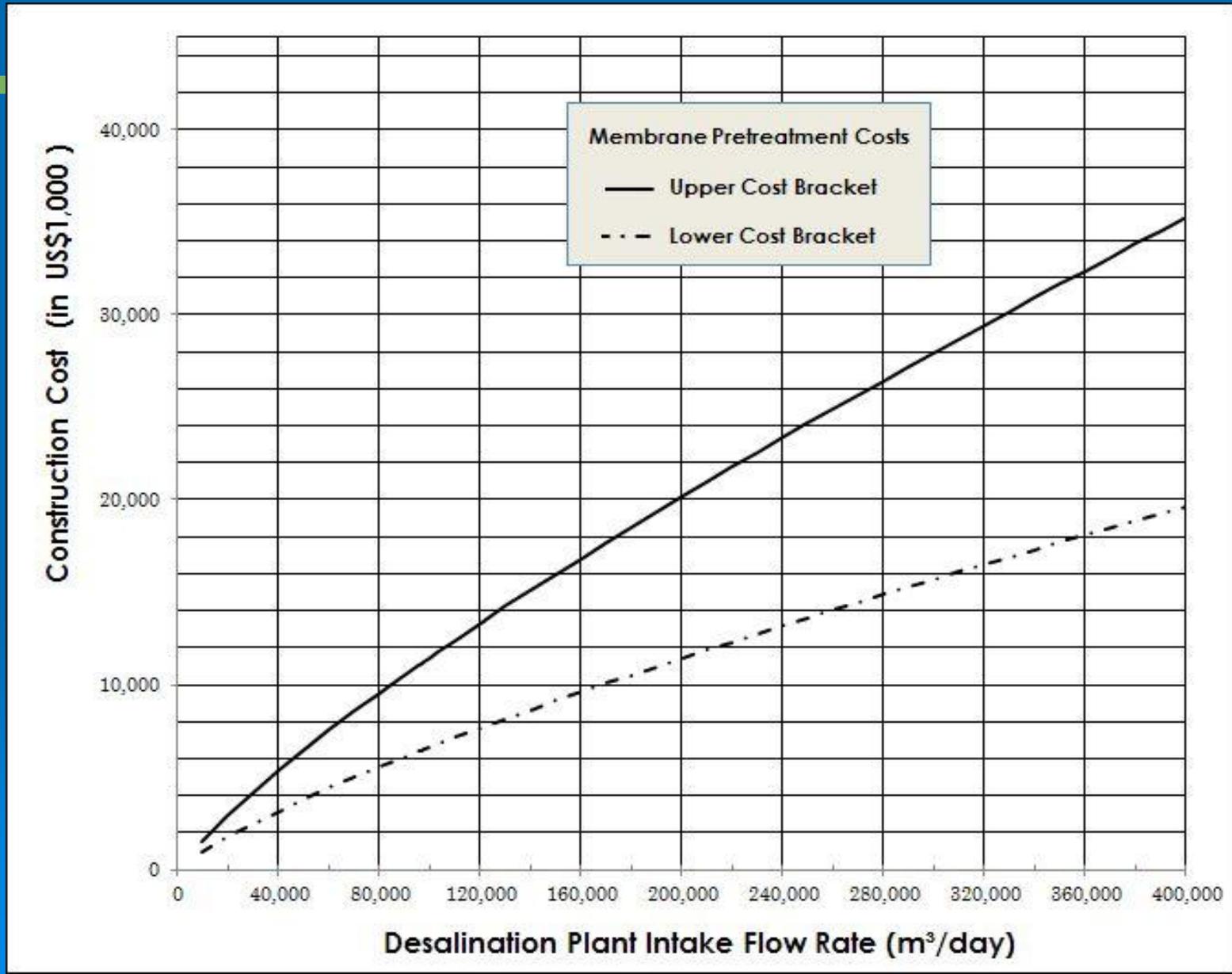
Filtres à pression  
Exemple - Norit- Palm Jumeirah

# Fournisseurs de technologie de pré-traitement de la membrane



*MF/UF Membrane Suppliers for SWRO Pretreatment  
% of Installed/contracted Capacity*

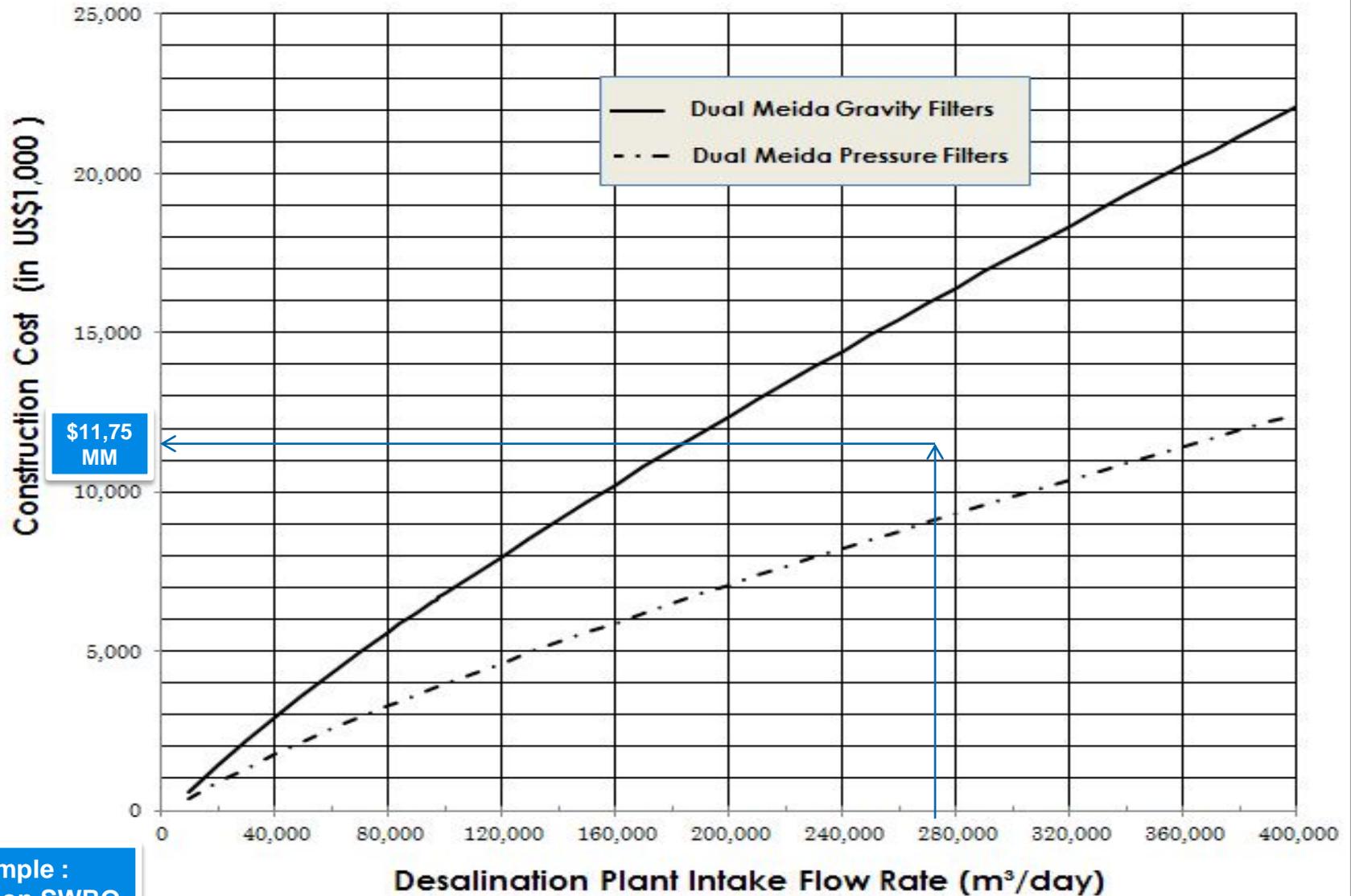
# Coût de construction du pré-traitement de la membrane



# Comparaison entre pré-traitement conventionnel et membranaire pour une unité 100 MLD



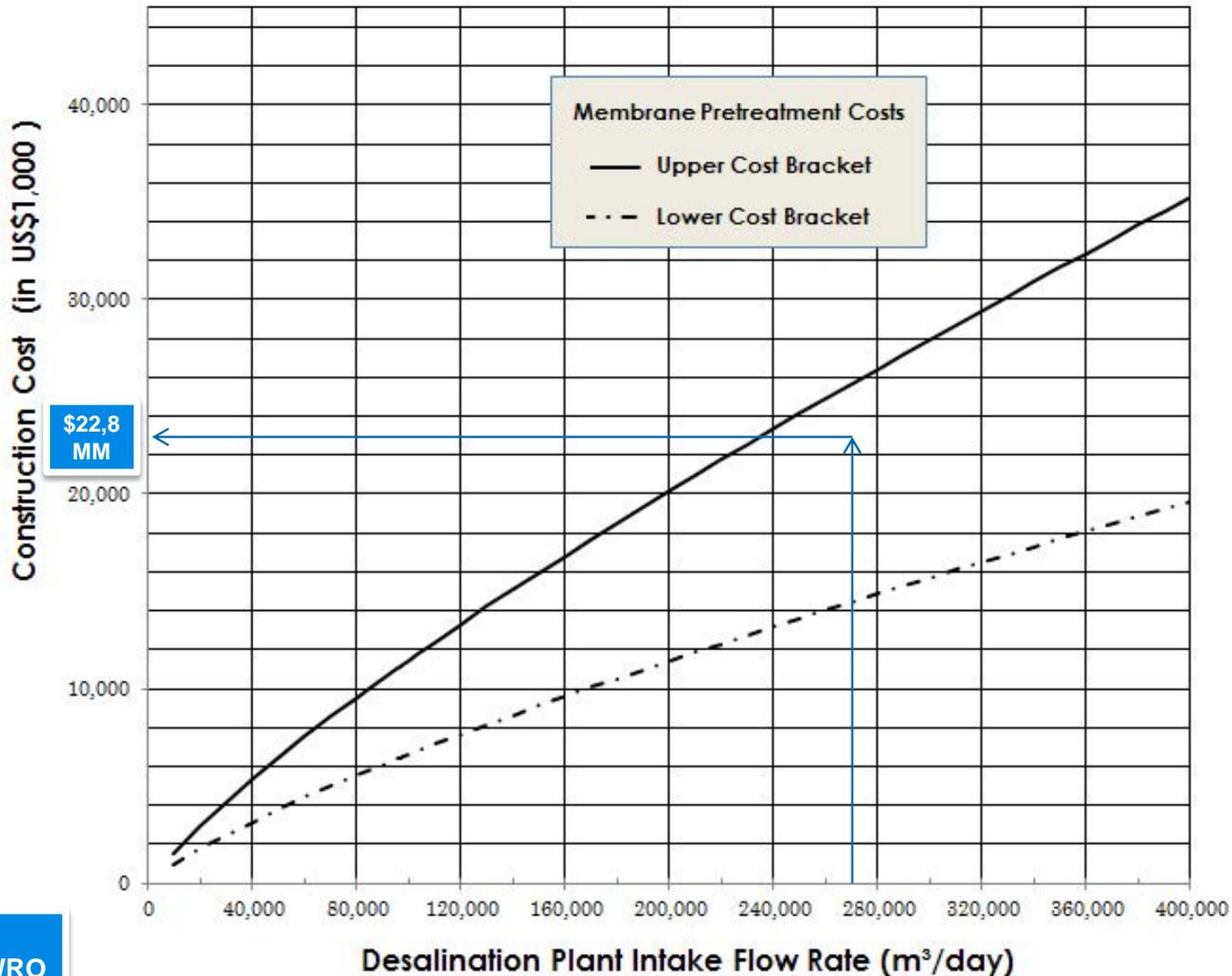
# Coût de construction du pré-traitement conventionnel



\$11,75  
MM

Exemple :  
Installation SWRO

# Coût de construction du pré-traitement de la membrane



Exemple :  
Installation SWRO

# Comparaison de coûts d'une unité SWRO 100 MLd avec traitement conventionnel et membranaire

	Coût par m <sup>3</sup>	Prétraitement membranaire		
		€ (en milliers)	US\$ (en milliers)	
Coûts d'investissement				
Plates d'eau ouvertes dans l'océan	70000	41300	76000	
Stations de pompage	6500	3835	7000	
Barreaux et grilles fines	2100	1239	2500	
Pro-grille	0	0	3200	
Système de coagulation/floculation	3200	1888	0	
Carouches filtrantes	4100	2419	0	
Système de chloration de l'eau	450	265,5	450	
Système de nettoyage de prétraitement membranaire	0	0	1800	
Reservoir de filtration (sauf granule/membrane)				
Station granulaire (sable/membrane UF ou anthracite)	9800	5782	77000	
Système de prétraitement membranaire- équipement				
Système de traitement des filtres	1000	596	7800	
Système de déchloration				
Travaux terrain	0	0	4600	
Système d'osmose inverse de l'eau de mer	950	560,5	1600	
Système de post traitement	200	118	350	
Installations déchets solides	2500	1475	1800	
Coût de rejet	64000	37760	56000	
Coûts des installations et systèmes	5100	3009	5100	
Coût de construction et ingénierie	1800	1062	100	
Coût et mise en service	45000	26550	48000	
Autres frais	4000	2360	4000	
	17000	10030	20000	
	3000	1770	3600	
	9000	5310	9000	
<b>Total coûts investissement</b>	<b>249700\$</b>	<b>147323€</b>	<b>259900\$</b>	<b>153341 €</b>
Investissement amorti (unité monétaire/m <sup>3</sup> )	0,549\$	0,324 €	0,571\$	0,337€

\$11,75  
MM

\$22,80  
MM

## Comparaison des coûts de F&E et coûts de production de l'eau- Unité SWRO 100 ML/j

### Pré-traitement conventionnel

### Pré-traitement membranaire

	US\$ /an	€ /an	US\$ /an	€/an
	(en milliers)	(en milliers)	(en milliers)	(en milliers)
Main d'œuvre	1500	885	1800	1062
Produits chimiques pour coagulation/floculation	700	413	0	0
Produits chimiques pour nettoyage prétraitement membranaire	0	0	280	165
Produits chimiques pour le CEB du prétraitement membranaire				
Produits chimiques pour le nettoyage de la membrane SWRO	0	0	350	207
Autres produits chimiques				
Maintenance micro-grille et pièces détachées	350	207	250	148
Remplacement de la cartouche filtrante				
Remplacement du prétraitement membranaire	1800	1062	2000	1180
Remplacement membrane SWRO	0	0	60	35
Supplément matériau granulaire	150	89	0	0
Autres frais maintenance et pièces détachées	0	0	550	325
Rejet matières solides et boues	850	502	600	354
Rejet solution de nettoyage de la membrane vers les égouts	30	18	0	0
Consommation d'énergie pour le prétraitement de l'eau	750	443	900	531
Consommation d'énergie utilisée par SWRO et autres systèmes	110	65	0	0
Autres frais F&E				
	80	47	210	124
	146	86	913	538
	10585	6245	10585	6245
	800	472	800	472
<b>Total coût annuel F&amp;E</b>	<b>17851\$</b>	<b>10532€</b>	<b>19298\$</b>	<b>11386 €</b>
<i>Coût annuel F&amp;E (unité monétaire/m3)</i>	<i>0,489\$</i>	<i>0,289 €</i>	<i>0,529\$</i>	<i>0,312€</i>
<b>Coût de la production de l'eau (unité monétaire/m3)</b>	<b>1038\$</b>	<b>0,612€</b>	<b>1100\$</b>	<b>0,649€</b>

# Matériau granulaire contre pré-traitement membranaire - Problèmes fréquemment omis dans les coûts de comparaison

- Coûts des membranes micro grilles ;
- Coûts des produits chimiques renforcés ;
- Coûts et temps d'arrêt de nettoyage de la membrane ;
- Coût de traitement de la membrane ;
- Perte d'intégrité de la membrane avec le temps ;
- Risques/pénalités financières liés à :
  - Manque de standardisation et inter changeabilité des éléments de la membrane produits par différents fabricants ;
  - Temps nécessaire à la production de nouvelles membranes pour votre unité si celles existantes ne conviennent pas ;
  - Résultats limités pour les applications d'eau de mer.

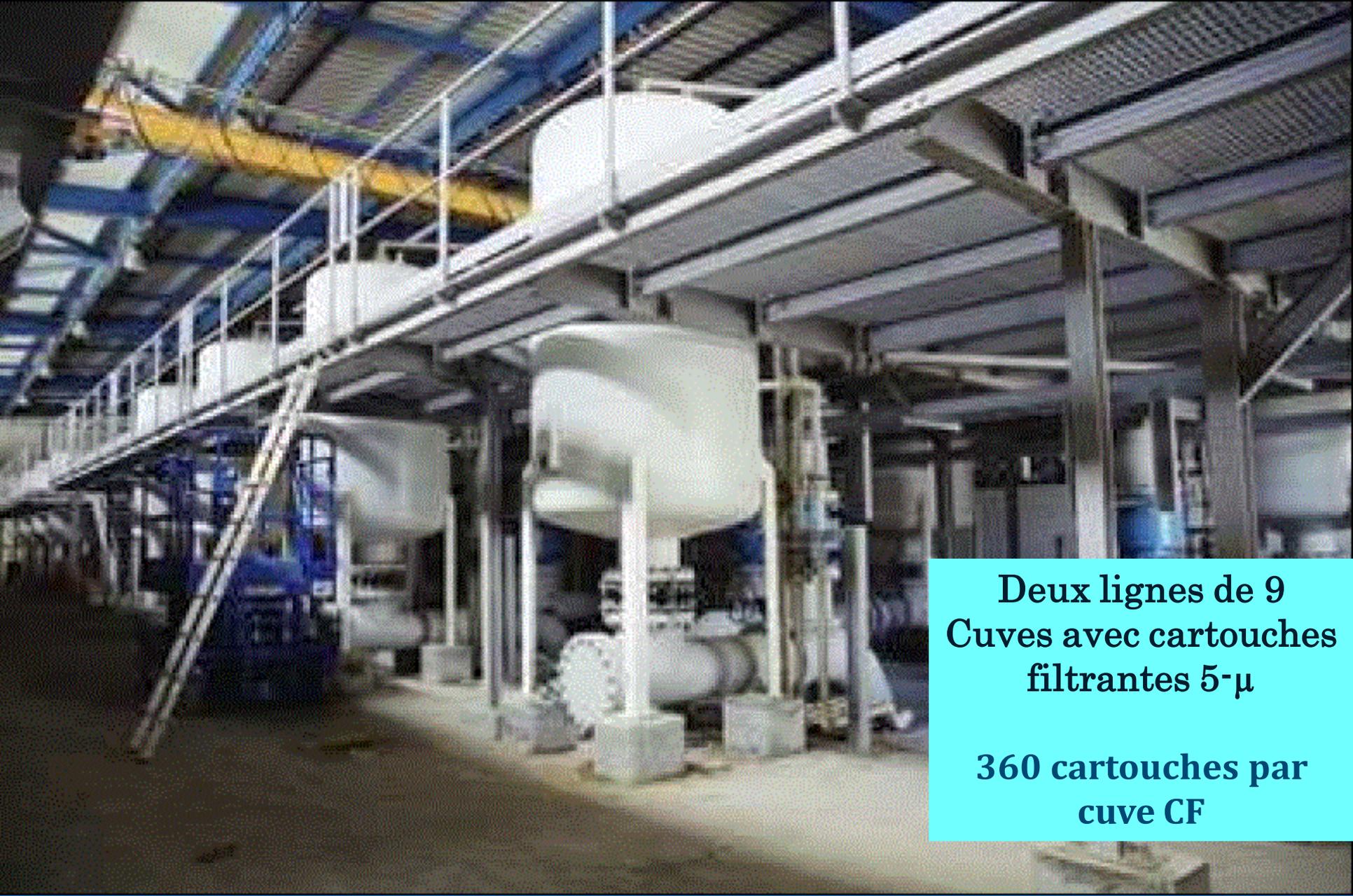
# Coûts de construction de pré-traitement-résumé

- Dépend de la qualité de l'eau brute et du type de technologies de traitement
- Habituellement entre US\$100 et 300/m<sup>3</sup>/jour
- Les eaux de puits de haute qualité ne nécessitent que la filtration par cartouche (traitement peu coûteux)
- La filtration par matériau granulaire à simple étape est généralement moins chère que le pré-traitement de la membrane

# Filtration par cartouche



# Fujairah - Filtres à cartouche



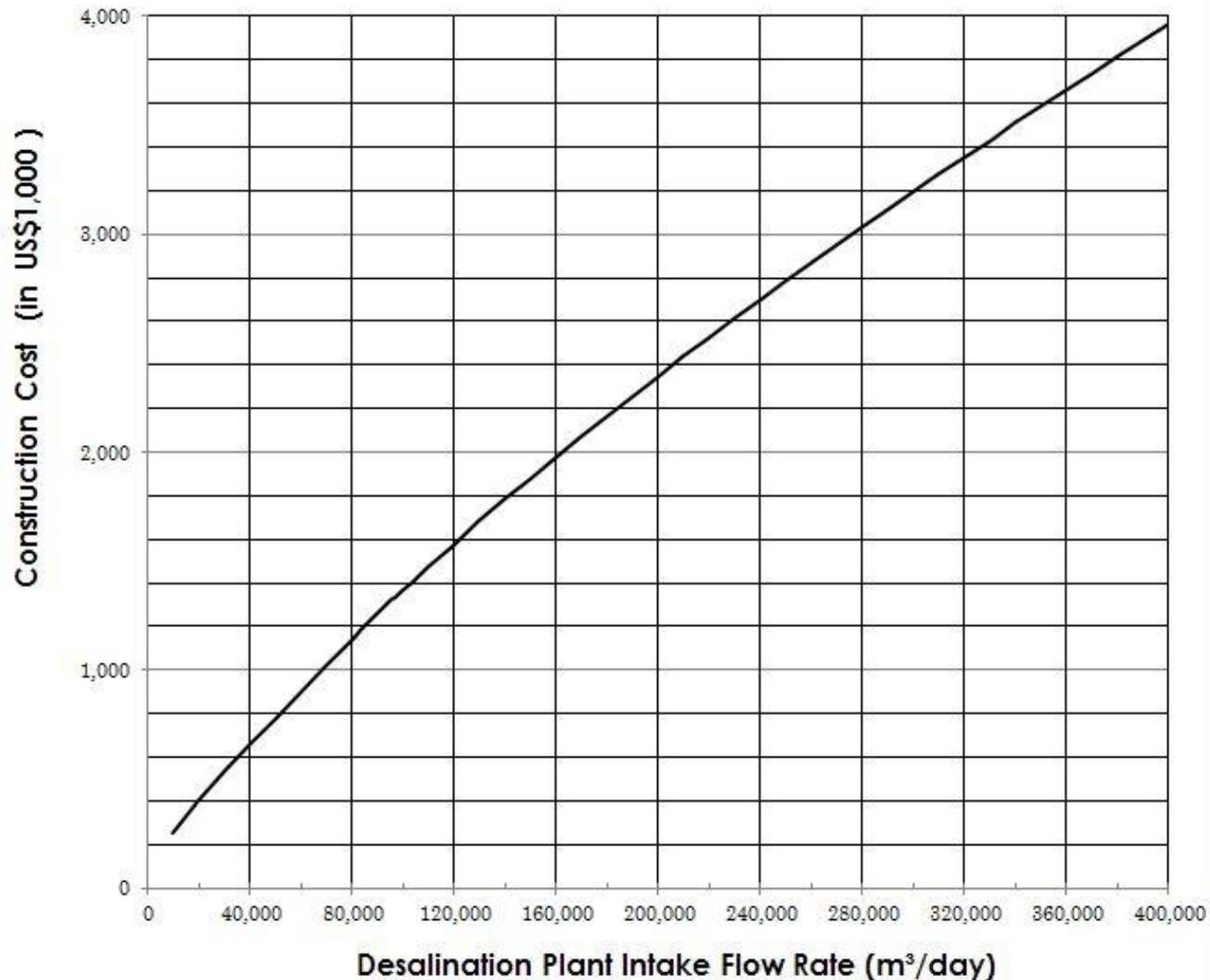
Deux lignes de 9  
Cuves avec cartouches  
filtrantes 5- $\mu$

360 cartouches par  
cuve CF

# Fonctions des cartouches filtrantes (CF)

- Protéger les membranes SWRO des algues, bactéries et particules
- Les systèmes CF bien conçus disposent :
  - Mesures de pression différentielle pour chaque cuve CF
  - Échantillonnage en amont et aval de chaque CF
- Si le système de pré-traitement fonctionne bien :
  - La réduction SDI à travers les CF est de moins de 0,5 unités
  - Les CF ne sont pas décolorés
  - Avant et après le CF les pads SDI restent inchangés

# Coût de construction du système de cartouches filtrantes



Questions ?



# Pause café

## Coffee Owls

**Half-Caf**

**Decaf**

**Espresso**

**Regular**

