

Troisième génération de procédé d'ultrafiltration pour le prétraitement des eaux de mer avant osmose inverse

ABSTRACT

The third generation of the ultrafiltration process for the pre-treatment of sea water before inverse osmosis.

This article describes operational experiments and design principles that are liable to minimize the appearance of biological fouling in desalination installations using inverse osmosis technology with pre-treatment by ultra-filtration.

F.N.M. Knops, Pentair X-Flow, Enschede, The Netherlands

Cet article décrit le cheminement et les avancées en termes de procédé d'ultrafiltration permettant de réduire au minimum l'apparition de l'encrassement biologique dans les installations de dessalement faisant usage de la technologie d'osmose inverse avec prétraitement par ultrafiltration.

L'une des étapes clés pour le bon fonctionnement d'une installation de dessalement utilisant l'osmose inverse (OI) est le prétraitement. Il est très souvent fait appel au flottateur à air dissous et au filtre multimédia pour cette étape. La plupart du temps, ce prétraitement conventionnel assurera une protection adéquate de l'étape d'OI. La qualité de l'eau obtenue en sortie de filtres multimédia à simple ou double étage est fortement influencée par le processus de coagulation. Le dosage de coagulant, notamment, doit

être augmenté lors d'événement de variation de qualité d'eau brute hors spécifications. Or les filtres granulaires ont tendance à se bloquer lorsqu'ils sont alimentés par une eau contenant des doses élevées de coagulant. Un système de décantation (clarificateur ou flottateur à air dissous) est alors positionné en amont des filtres afin de réduire la quantité de coagulant. De ce fait, il est important d'avoir des opérateurs expérimentés et qualifiés afin de maintenir une qualité d'eau conforme aux spécifications pour l'alimentation de l'étape d'OI.

De nombreuses usines de dessalement, dotées d'un prétraitement conventionnel, sont sujettes à des périodes d'arrêts de production ou à une augmentation des coûts opérationnels du fait d'une qualité d'eau brute hors spécifications. Cela peut être dû, soit à une réponse lente à de brusques changements dans la qualité de l'eau d'alimentation, soit en raison du manque d'expérience des opérateurs confrontés à ces événements.

De nombreux essais réalisés dans le monde entier ont démontré que les membranes

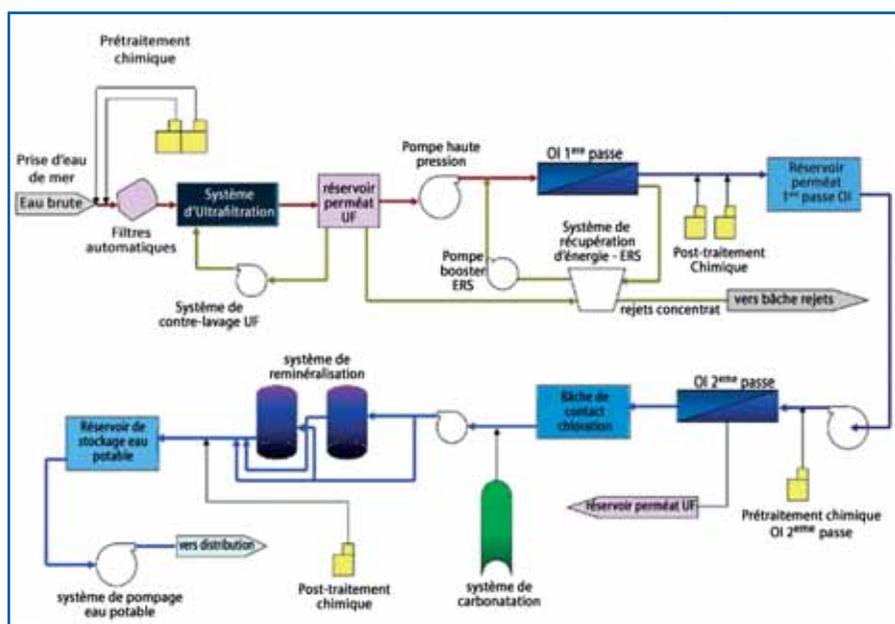


Figure 1 : Palm Jumeirah/schéma filière de traitement.

basse pression, telles que l'ultrafiltration (UF) fournissent un prétraitement optimal pour les installations de dessalement à base d'OI. L'UF permet l'élimination des matières en suspension (MES) ainsi qu'une réduction substantielle de l'activité micro-biologique. Le colmatage des espaceurs des membranes spirales d'OI est complètement éliminé et la fréquence de nettoyage de ces membranes est fortement réduite. L'UF était réputée être plus coûteuse en termes d'investissement ainsi que de coût d'exploitation. Or, la préférence pour l'UF par rapport au prétraitement conventionnel est généralement basée sur le fait que la différence de coût est relativement faible et a été compensée par des « avantages non quantifiables » (encombrement réduit, fonctionnement fiable, gestion opérationnelle automatisée, moins dépendant de l'expérience des opérateurs). Une des principales différences entre l'UF et le prétraitement conventionnel est que le prétraitement conventionnel s'appuie fortement sur l'utilisation de coagulants (inorganiques), en combinaison avec des polymères organiques. Ceci est nécessaire afin de permettre l'agglomération des particules en suspension et donc de créer des particules plus importantes qui pourront flotter (quand un système FAD est employé) ou sédimenter (quand des clarificateurs sont utilisés) ou être retenues sur des filtres de multimédias [1]. Un avantage des forts dosages en coagulant est que la matière organique dissoute est capturée dans les floccs ainsi créés et est donc éliminée dans les systèmes conventionnels de prétraitement. Les systèmes basés sur l'UF n'emploient par contre que très peu, voire

aucun coagulant. Donc, le taux d'élimination de la matière organique dissoute sera inférieur par comparaison aux systèmes conventionnels de prétraitement.

Les matières organiques dissoutes favoriseront la contamination biologique (bio-fouling) dans la bache d'alimentation de l'étage d'OI et à l'intérieur des membranes d'OI. Les installations de dessalement qui emploient un prétraitement sur base de l'UF seront donc plus sensibles à l'encrassement biologique que celles qui emploient un prétraitement conventionnel.

Cet article décrit les expériences opérationnelles et les principes de conception qui réduisent au minimum l'apparition de l'encrassement biologique dans les installations de dessalement faisant usage de la technologie d'OI avec prétraitement par UF.

Première génération de procédé d'ultrafiltration

Initialement, les installations membranaires basse pression ont été conçues pour remplacer les filtres multimédia, sans modifier le process classique: prétraitement et osmose inverse sont découplés au moyen d'un réservoir tampon intermédiaire. Plusieurs usines ont été construites sur la base de ce concept. On peut citer: Palm Jumeirah (UAE) [2], Walvisbay (Namibie) [3] et Qingdao (Chine) [4]. La figure 1 illustre la configuration de l'usine de Palm Jumeirah, où le système d'ultrafiltration est situé entre la filtration préliminaire et le réservoir de perméat. Le réservoir de perméat sert aux besoins de nettoyage par contre-lavage de l'installation UF et à l'alimentation pour l'étage d'OI 1^{ère} passe.

Bien que non testé sur ce site, il est fort probable qu'un prétraitement conventionnel aurait été inefficace pour éliminer les grandes quantités de limon fin, causée par des opérations de dragage à proximité de la prise d'eau de mer et les niveaux élevés d'efflorescence algale (red tide event).

Aucune analyse n'a été faite au niveau des éventuels paramètres organiques. Néanmoins, la fréquence des N.E.P. (Nettoyage En Place) de l'OI était très faible, aucun nettoyage n'a été nécessaire pour les 18 premiers mois de fonctionnement. Par conséquent, on peut en conclure que l'eau de mer contenait une quantité relativement faible de matières organiques. Nappa et coll. [7] a montré que les cellules d'algues vont relarguer des matières organiques lors de stress par pressurisation, par chloration ou par cisaillement. Un fonctionnement à basse pression, sans chloration continue et avec une vitesse faible des pompes d'alimentation, réduira donc au minimum les relargages des matières organiques, ce qui minimise le risque d'encrassement du système OI en aval, et ceci sans devoir compter sur l'utilisation d'une forte dose de coagulant.

Amélioration des principes de conception

L'UF se caractérise par un fonctionnement discontinu, avec une capacité fluctuante qui est fonction de la fréquence des contre-lavages et des nettoyages chimiques. L'OI quant à elle nécessite un débit constant d'alimentation. Historiquement, la solution à cette disparité de modes de fonctionnement consiste à installer un réservoir tampon entre l'UF et l'OI. Ce réservoir tampon est également utilisé pour stocker le volume d'eau requis pour le nettoyage par contre-lavage des unités UF. L'installation d'un réservoir tampon permet le découplage de l'UF et de l'OI et facilite aussi la mise en service et l'exploitation.

Il induit cependant un certain nombre d'inconvénients:

- Augmentation de l'emprise et des charges au sol.
- Rupture de pression, donc une pompe (booster) doit être installée pour atteindre la hauteur manométrique à l'aspiration (NPSHr - Net Positive Suction Head requis) de la pompe à haute pression. Les pompes centrifuges multicellulaires peuvent avoir

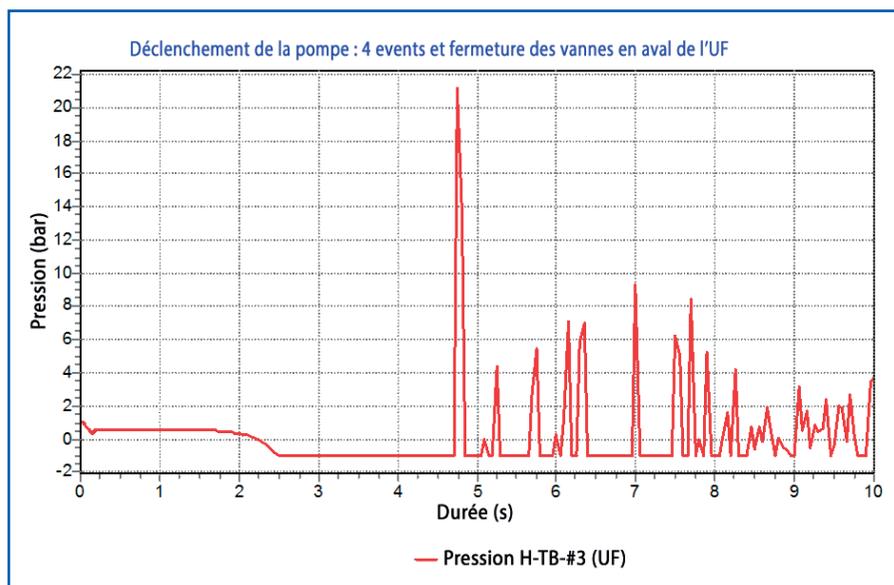


Figure 2 : Évolution de la pression au fil du temps après le déclenchement de la pompe.

une NPSHr aussi élevée que 20 à 25 mCE [8].

- L'eau stagnante est sujette à la contamination microbologique.
- Le risque d'entrée de particules solide indésirables nécessite l'utilisation de filtres à cartouche en amont de l'OI.

La solution la plus logique pour remédier à ces inconvénients consiste à éliminer le réservoir tampon du principe de conception de la filière et de coupler directement l'étage d'UF avec l'alimentation de la pompe de haute pression de l'étage d'OI. Le réservoir d'eau ultrafiltrée et la pompe de gavage ne sont plus nécessaires. Un réservoir séparé sera par contre toujours nécessaire pour permettre le contre-lavage de l'UF, mais il sera beaucoup plus petit et pourra être alimenté avec de la saumure de l'OI au lieu de perméat UF. L'utilisation d'une eau stagnante à l'alimentation de l'OI est complètement éliminée et le système peut être conçu comme un système entièrement fermé. En raison de la petite taille du réservoir de contre-lavage, le taux de renouvellement en perméat est élevé, réduisant ainsi le temps de rétention et le potentiel de croissance microbologique dans le système de contre-lavage de l'UF.

Cette amélioration du principe de conception permet des économies en termes de coûts d'investissement. Ceux-ci sont très spécifiques au site (coût du terrain, coût du génie civil, etc.) et sont donc difficiles à quantifier en termes généraux.

Toutefois, la réduction des coûts d'exploitation peut être quantifiée :

- Consommation énergétique réduite par :
 - l'élimination des filtres à cartouche : réduction de la perte de charge de 0,5 bar environ.

- l'élimination du réservoir tampon permet un gain lié au repompage d'environ 5 mCE soit une réduction de 0,5 bar.
- Une réduction de la marge de dimensionnement pour l'encrassement des pompes d'alimentation haute pression de l'OI réduira la pression requise d'environ 1 bar.

La réduction globale de pression peut donc atteindre jusqu'à 2 bar. Cela se traduit par une réduction de 4 % des coûts énergétiques, environ 3-6 USD par 1000 m³.

- L'élimination des filtres à cartouche dans le circuit d'alimentation de l'OI réduit les coûts d'exploitation (remplacement) de 1-2 USD par 1000 m³.
- La fréquence de N.E.P. de l'étage d'OI peut être réduite d'une fois tous les 3-6 mois à une fois par an ou même moins. Cela donne une réduction de 1 - 2 USD par 1000 m³.
- Réduction globale des coûts de fonctionnement peut varier de 5 - 10 USD par 1000 m³.

L'élimination du réservoir tampon, des filtres à cartouche et de la pompe de gavage crée plusieurs défis qui doivent être solutionnés afin d'assurer le bon fonctionnement :

- Pression élevée : La hauteur manométrique de la pompe d'alimentation de l'UF doit être définie sur base de la perte de charge au travers de l'installation l'UF plus la NPSHr pour les pompes haute pression de l'OI. Sur la base d'une perte de charge de 1 bar au niveau de l'installation UF (PTM - Pression TransMembranaire en mode filtration plus les pertes de charge en ligne) et 20 - 25 m NPSHr [8], la pression de la pompe d'alimentation de l'UF doit être de

3 à 3,5 bar (g).

- L'installation UF doit être conçue pour résister à la pression maximale du système. Il s'agit généralement de la pression à débit nul de la pompe d'alimentation. Celle-ci peut être plus jusqu'à 3 bar plus élevée que la pression de refoulement au point de fonctionnement [9].
- Lors de situations transitoires (p. ex. le contre-lavage de l'installation UF) certaines unités UF ne produiront pas de perméat. Les autres unités d'UF en exploitation fonctionneront donc à des flux plus élevés [10].

- Les membranes d'ultrafiltration sont généralement nettoyées avec des solutions chlorées tout en sachant que les membranes d'OI situées en aval sont très sensibles aux oxydants. Un mauvais rinçage de la solution de nettoyage UF peut avoir des effets désastreux sur l'OI [10].

- Le risque de fonctionnement à sec des pompes haute pression doit être complètement éliminé.

- Lors du démarrage de l'usine UF, le perméat doit être acheminé via un bypass de façon à contourner le système d'OI.

- Des coups de bélier peuvent se produire pendant le fonctionnement normal, ainsi qu'en raison de matériel et/ou logiciel défectueux. La figure 2 montre une évolution typique de la pression au fil du temps après un déclenchement (arrêt) de la pompe dans un système d'UF avant la mise en place de précautions spécifiques.

Deuxième génération du procédé d'ultrafiltration

Des technologies avancées sont utilisées pour relever ces défis de conception. Au cours des dernières années, des progrès ont été réalisés dans le processus de conception et le fonctionnement afin de permettre un couplage direct en systèmes UF et OI.

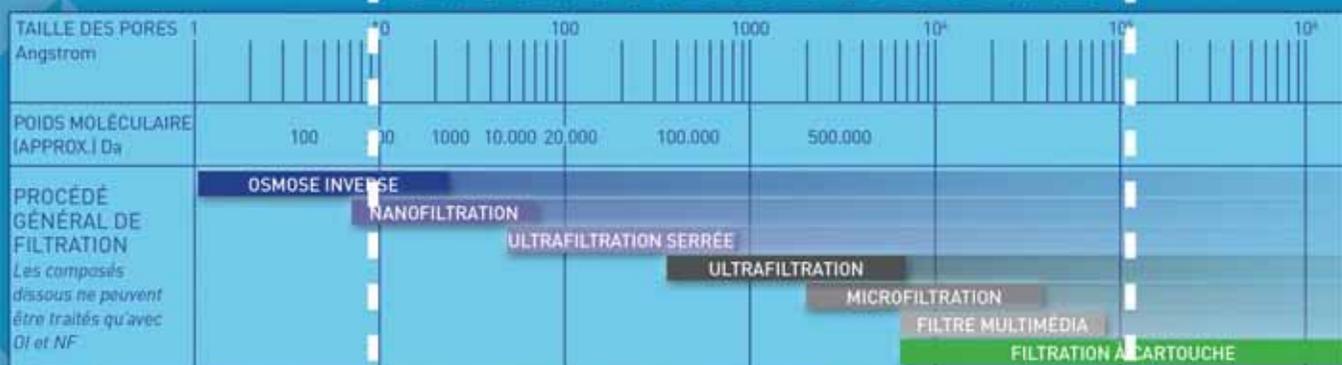
Ceux-ci incluent :

- Des écarts faibles par rapport au flux de filtration recommandés sont acceptables. Des logiciels de simulation de flux permettent de visualiser la durée et le pourcentage de ces écarts par rapport au flux nominal de dimensionnement et peuvent être utilisés pour confirmer la conception du processus.
- Des analyses de profil hydraulique permettent d'évaluer tous les modes de fon-

X-FLOW

MEMBRANE FILTRATION PURE & SIMPLE

Le développement de technologies membranaires de pointe est notre métier. Nous aidons les fabricants de matériel, les bureaux d'études, les maîtres d'œuvre et les assembleurs industriels à dépasser leurs attentes avec des membranes qui créent la différence, même pour les eaux et les conditions les plus difficiles.



- Sels
- Acides humiques
- Dureté
- Couleur
- Perturbateurs endocriniens
- Sucre
- Colorant synthétique
- Pesticide
- Herbicide
- Virus
- Silice colloïdale
- Bio-polymères
- Pigment de peinture
- Bactéries
- Teinture indigo bleu
- Cryptosporidium
- Cellules de levure
- Algues

QUEL QUE SOIT VOTRE DÉFI, PENTAIR PROPOSE DES MEMBRANES ADAPTÉES POUR VOTRE SOLUTION



TROUVER LES BONNES MEMBRANES
POUR VOTRE SOLUTION SUR
X-FLOW.PENTAIR.COM

XFLOW.PENTAIR.COM

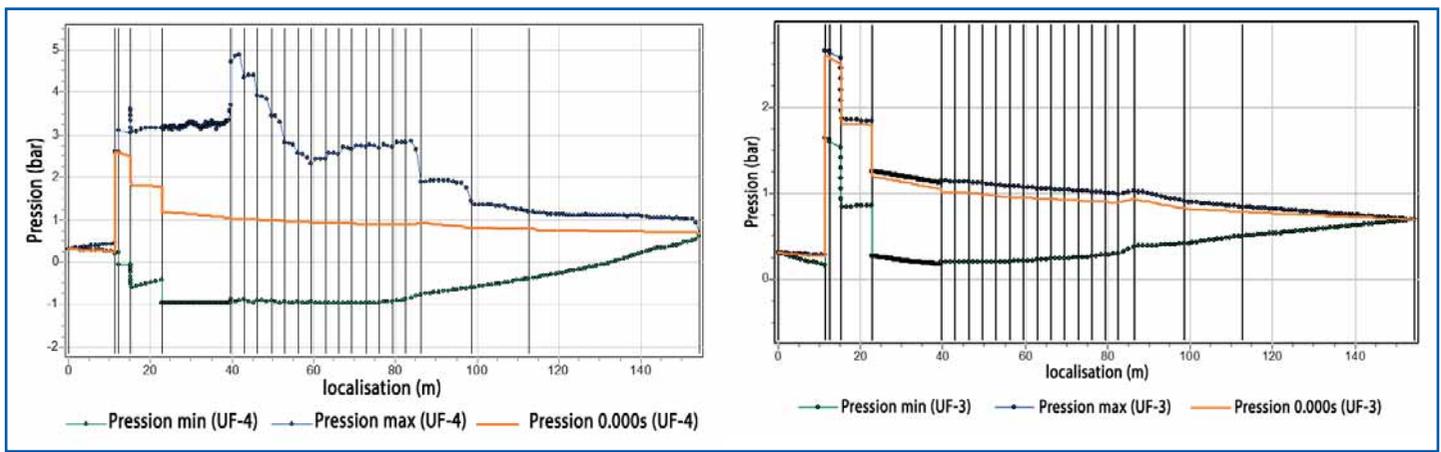


Figure 3 : Analyse du profil hydraulique avant et après les mesures d'atténuation.

tionnement et fourniront des recommandations sur la pression maximale du système et les modifications qui s'imposent pour réduire ou même éliminer les coups de bélier. La figure 3 montre les résultats d'une telle analyse. Le graphique de gauche illustre les pressions max. et min. tout au long du fil de l'eau sur base du concept initial. Le graphique de droite montre l'effet des actions d'atténuation sur le profil des pressions max. et min. La pression maximale est réduite de +/- 5 bar à 2,5 bar, la pression minimale est passée de -1 bar (vide) à + 0,25 bar (cavitation est éliminée).

- L'utilisation de tubes de pression pour l'intégration des membranes d'UF basée sur les mêmes concepts et matériaux de fabrication que ceux utilisés pour l'OI permet une exploitation en toute sécurité des installations UF sous pression.

- Un fonctionnement entièrement automatisé grâce à des automates programmables (PLC) et systèmes de supervision (SCADA) permet la mise en place de boucles de contrôle avancées maître/esclave, où le débit d'alimentation requis par l'étage d'OI est fourni avec précision par l'étage UF.

Plusieurs usines ont été construites ou sont en cours de construction qui emploient ce concept d'intégration UF/OI sans rupture de charge. On peut citer: Thames Gateway - 185 000 m³/j (UK) [11,12], Shuwaikh - 350 000 m³/j (Koweït) [13], Candelaria - 66 000 m³/j (Chili) [14], Barka 110 000 m³/j (Oman), Ashdod - 930 000 m³/j (Israël) [15], Jubail II - 24 000 m³/j et Jubail IV - 260 000 m³/j (site de Jubail), Sadara - 430 000 m³/j (Arabie saoudite), Ras Al Kaima - 170 000 m³/j et Al Zahwra - 115 000 m³/j (Emirats Arabes Unis).

Candel et coll. [15] ont calculé que ce type de concept permet une réduction des coûts énergétiques de 0,7 cents USD par m³. En combinaison avec une réduction

des coûts de consommation de réactifs, ceci compense amplement les coûts additionnels d'ingénierie, d'analyse de profil hydraulique et des mesures d'atténuation de risque. Cette réduction des coûts rend le prétraitement UF concurrentiel par rapport à un prétraitement conventionnel. Le prétraitement sur base de la technologie UF est devenu la technologie de choix pour le prétraitement de l'OI, tant du point de vue technique que commercial.

La figure 4 ci-dessous présente un schéma typique pour un système UF/OI intégré en ligne. Les pompes d'alimentation UF sont munies de variateurs de fréquence afin de maintenir une pression constante pour les pompes à haute pression de l'OI. Le réservoir de contre-lavage de l'UF, installé en mode bypass par rapport au circuit principal, peut être rempli soit avec de la saumure OI ou avec du perméat UF. Cela permet un fonctionnement flexible. Des débitmètres et des transmetteurs de pression dans les collecteurs principaux et dans les lignes individuelles sont utilisés pour contrôler, surveiller et protéger tous les sous-ensembles du système.

L'usine de Shuwaikh utilise, sans doute,

l'une des eaux de mer les plus difficiles dans le monde comme source d'eau brute pour la production d'eau potable. L'eau de mer est riche en matières organiques, matières en suspension et en matières dissoutes. La prise d'eau est située dans les installations portuaires de Koweït city. Cet emplacement souffre de l'agitation des limons fins dûs au trafic maritime, des poussées d'efflorescence algales (red tide event), de déversements de produits pétroliers. La décision a été prise d'installer un système de flottation à air dissous (FAD) comme prétraitement au système UF. Le système FAD supprimera complètement les huiles libres, réduira les huiles émulsionnées et les efflorescences algales. Depuis le démarrage en octobre 2011, l'usine produit continuellement l'eau potable. Elle a été sujette à un bloom algal dans la période du 7 au 10 mai 2012 [16, 17]. Pendant cet événement, la turbidité de l'eau de mer est passée à environ 31 NTU alors qu'en temps normal elle varie entre 4 à 6 NTU. Le fonctionnement du système FAD a été modifié pour faire face à cette hausse de la turbidité, à savoir: le dosage de coagulant est passé de 1,4 à 1,7 ppm (en

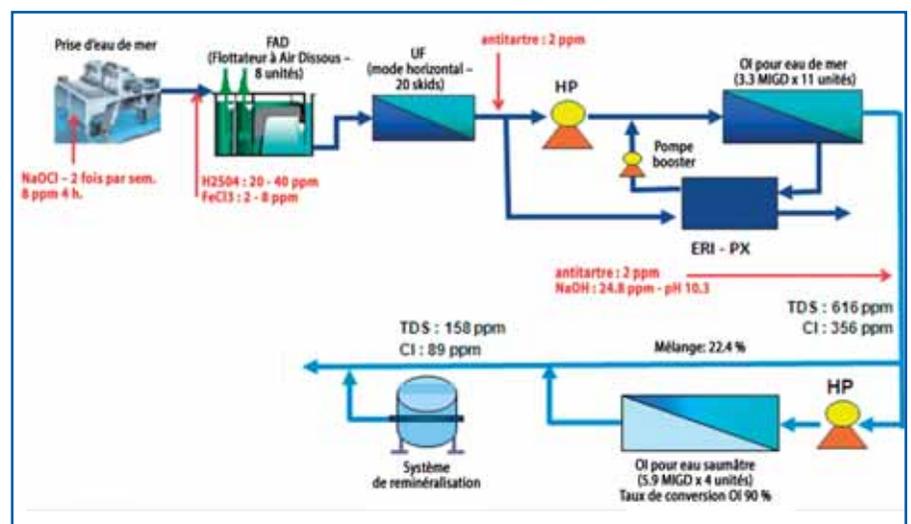


Figure 4 : Diagramme schématique de Shuwaikh RO.

tant que Fe) à 3,4 ppm (en tant que Fe). L'effet de cette modification a permis de maintenir une qualité d'eau stable en sortie du FAD à environ 3 NTU. La qualité du perméat UF est restée stable tout au long de l'événement avec un niveau SDI entre 1,2 - 1,8 (SDI15).

Bien que la turbidité en sortie du FAD n'ait pas changé pendant l'événement, on a observé que le fonctionnement du système UF devait être adapté. La fréquence des contre-lavages chimiques a été augmentée et un NEP (Nettoyage En Place) a été exécuté sur le système de l'UF. La cause présumée de ce besoin accru de nettoyage chimique est la hausse de matière colloïdale de petite taille et de matières organiques qui ne sont pas efficacement éliminées par le système FAD. Le système FAD pourrait même être (partiellement) responsable de l'augmentation du niveau des matières organiques dissoutes. En effet, un système FAD peut stresser les matières algales en raison d'une augmentation de la pression dans la ligne de recirculation; une pression de 6 à 7 bar étant nécessaire pour dissoudre l'air dans la conduite de recirculation. En outre, l'eau en provenance du FAD peut contenir du fer résiduel lié au processus de coagulation en amont.

Améliorations complémentaires: 3^{ème} génération de procédé d'ultrafiltration

Les améliorations de conception ci-dessus traitent des inconvénients du réservoir tampon intermédiaire. Cependant, cette amélioration de conception nécessitera toujours un volume tampon, ceci est nécessaire pour les nettoyages par contre-lavage du système UF. Si ce réservoir tampon est contaminé, par exemple: en raison de l'infiltration de débris/particules, ces dernières se retrouveront côté perméat au niveau des membranes UF. Lorsqu'une unité UF repart en mode filtration après un contre-lavage, cette contamination pourrait se retrouver sur l'étage d'OI et potentiellement augmenter le risque d'encrassement. Les autres inconvénients inhérents à l'utilisation d'un réservoir tampon de perméat sont les suivants:

- Empreinte et les charges au sol.
- Les exigences pour les équipements d'être dédoublé - mode service et secours (standby) que ce soit au niveau du réservoir

perméat, des pompes de contre-lavage, des instruments et autres équipements accessoires.

- Besoins en pièces de rechange pour les équipements repris ci-avant.

Des projets spécifiques, comme l'opération sur des plates-formes fixes ou flottantes (offshore) dans des endroits éloignés exacerbent ces inconvénients.

Pentair a donc amélioré les principes de conception en visant à éliminer le réservoir tampon de perméat et la pompe de contre-lavage, c'est-à-dire une installation totalement en ligne. Ceci est possible du fait que le perméat UF perméat est disponible à une pression élevée suffisante que pour surmonter la pression de lavage à contre-courant des membranes UF. La pression de contre-lavage typique nécessaire est 3 bar. La conception de systèmes UF où les membranes UF sont intégrées sous tubes de pression permet d'accepter cette pression tout en ayant une marge importante de sécurité dans le dimensionnement.

Une autre amélioration est la réduction de 50 % du débit de contre-lavage des unités UF individuelles au moyen d'un changement du cycle des fonctionnalités pour le système de contre-lavage des unités UF. Quand une unité UF requiert un lavage à contre-courant, les autres unités UF fourniront l'augmentation de capacité correspondante. Cette augmentation est égale à la somme des besoins de l'étage OI et du contre-lavage pour l'unité UF. Cela permet le fonctionnement en continu du système OI pendant le contre-lavage d'une seule unité d'UF. Lorsque l'unité de l'UF a achevé son cycle de contre-lavage, elle repart en mode filtration et la prochaine unité UF peut basculer en mode contre-lavage. Le système de contrôle permettra de faire défiler les cycles de contre-lavage pour toutes les unités de l'installation UF. C'est ce que l'on appelle un contre-lavage séquentiel (en cascade) du train (ensemble d'unités UF).

L'élimination complète de tous les réservoirs permet une conception sécuritaire du processus encore plus attractive. Toutes les étapes des modes de processus individuels doivent être simulées. Une brève diminution de capacité de production de perméat UF pourrait immédiatement affecter les pompes haute pression et une surcapacité brève peut provoquer des coups

de bélier qui pourraient endommager les conduites, les membranes d'ultrafiltration et des instruments sensibles. Les bonnes pratiques d'ingénierie impliquent que le choix des flux de filtration pour les membranes d'UF doit être conservateur. Ceci implique que même si une unité est à l'arrêt pour entretien mécanique conjointement au contre-lavage d'autres unités UF, le flux maximum de filtration n'excède pas le flux maximum recommandé en fonction des paramètres de l'eau à traiter. Cela signifie qu'en fonctionnement normal le flux de filtration effectif est très conservateur et offre une grande marge de sécurité.

Un système de prétraitement UF + OI totalement en ligne offre plusieurs avantages qui justifient la hausse du coût de l'ingénierie de tels systèmes:

- La meilleure qualité d'eau possible pour les membranes d'OI. Toute eau stagnante est éliminée.
- Une réduction significative de l'encombrement et des charges au sol de par l'élimination des réservoirs.
- Une conception du système robuste. Les installations UF avec de multiples unités UF en parallèle et/ou en train offrent intrinsèquement un niveau important de redondance.
- L'élimination des pompes de contre-lavage permet de réduire les coûts d'investissement et le coût des pièces de rechange y afférentes.

Les avantages en termes de coûts du concept intégré en ligne par comparaison avec celui avec un réservoir dédié uniquement au nettoyage par contre-lavage de l'UF sont difficiles à quantifier. Une véritable évaluation économique nécessiterait un test pluriannuel côte à côte des différentes configurations.

La réduction des coûts la plus importante est obtenue par une augmentation relative des temps de fonctionnement effectifs de l'installation OI et une plus longue durée de vie des membranes OI. La réduction des coûts liés à l'encombrement et les charges au sol sont très spécifiques au site. Au cours de la durée de vie totale d'une usine de dessalement, cette réduction de coût est estimée à environ 1-2 USD par 1000 m³ d'eau potable.

Conclusion

Les avantages du couplage direct UF et OI

ne sont pas contestés. Ce couplage fournit de nombreux avantages pour réduire les coûts d'investissement et d'exploitation tout en assurant une meilleure qualité d'eau d'alimentation de l'OI. Les coûts d'exploitation peuvent être réduits jusqu'à 10 USD par 1 000 m³ d'eau potable. Des dimensionnements avancés permettent de s'assurer que tous les défis du couplage UF et OI sont correctement traités. Le couplage direct devient la norme dans la conception d'usines de dessalement de grande taille.

Le couplage direct UF et OI permet de contourner l'un des inconvénients de l'UF: un taux inférieur de l'élimination des matières organiques par rapport aux systèmes conventionnels de prétraitement. L'élimination du réservoir tampon réduira au

minimum le temps de rétention et le risque d'encrassement biologique.

Cela présente plusieurs avantages dans l'installation, ainsi que dans le fonctionnement:

- Si l'encrassement biologique peut être réduit sans la nécessité d'éliminer les matières organiques, la nécessité d'un prétraitement amont (par exemple: un FAD en amont de l'UF) peut être minimisée. Une élimination du système FAD réduit la superficie de l'usine de dessalement.
- L'usine de dessalement qui en résulte se compose d'un système intégré de membranes: deux systèmes de membranes sous pression UF et OI qui peuvent être installés à l'intérieur d'un bâtiment en permettant une intégration architecturale dans de zones géographiques sensibles.

• Avec un temps de rétention réduit, l'usine de dessalement est plus facile à contrôler. Cela facilite un fonctionnement complètement automatisé, avec une réponse rapide à des variations brutales et/ou ponctuelles de la qualité de l'eau brute. Mais aussi avec une réponse immédiate à une hausse ou diminution de la capacité aval de l'usine de dessalement.

• La consommation globale d'énergie est réduite parce que le débit de recyclage FAD sous pression et les compresseurs à air ne sont plus nécessaires.

• Les cellules d'algues subiront un stress mécanique moindre, donc la libération de composés organiques des cellules algales stressées est réduite. Cela réduira le potentiel d'encrassement biologique de l'OI. ■

Références bibliographiques

[1] Irwin, K; (2006), Technical Paper "Pretreatment for Seawater Reverse Osmosis, Three Years Operation of the 27.6 MIGD (125 530 m³/day) Seawater Desalination Plant, Point Lisas, Trinidad and Tobago".

[2] Ingham, R.A.; Mansour, L.; Qadan, T.; Hani Al Hindi, M. and Attawneh, O. (2009), "R.O. Pretreatment Design and Performance under Challenging Conditions in the Arabian Gulf", IDA World Congress, Atlantis, The Palm (Dubai), 7-12 November 2009

[3] Pryor, M.; Blanco, B.; Galtes, J. (2009), "Desalination and Energy Efficiency for a Uranium Mine in Namibia", IDA World Congress, Atlantis, The Palm (Dubai), 7-12 November 2009

[4] Knops, F.; Salas, J.; Wang, D. (2011), "Waste Water Reuse and Seawater Desalination in China: Two Case Studies", IDA World Congress, Perth (Australia), 4-9 September 2011

[5] Gulamhusein, A.; Al Sheikh Khalila, A.; Fatah, I.; Boda, R.; Rybar, S. (2008), "IMS SWRO Kindasa - Two years of operational experience", EuroMed 2008, Dead Sea (Jordan), 9 - 13 November 2008

[6] Hashim, A.; Arai, T.; Tada, K.; Iwahori, H.; Tada, N.; Ishihara, S.; Takata, M. (2009), "Spiral-

wound UF-Membrane Pre-treatment Achievements for SWRO Application in the Arabian Gulf Region", IDA World Congress, Atlantis, The Palm (Dubai), 7-12 November 2009

[7] Nappa, L.; Resosudarmo, A.; Chen, V.; Le-Clech, P. (2013), "UF Pretreatment during Marine Algal Blooms: the Effects of Physical and Chemical Stress", IDA World Congress, Tianjin (China), 20-25 October 2013

[8] KSB (2001), "Multitec High-pressure Pumps in ring-section design, Booklet with Performance Curves", Document number 1777.460/2-90 G3

[9] KSB (2004), "KWPK Non-clogging Impeller Centrifugal Pumps, Performance Curves", Document number 2361.460/3-90 G2

[10] Guibert, D.; Laverty, P. (2013), "Ultrafiltration Pretreatment for Reverse Osmosis Plants: Design perspectives and Considerations", IDA World Congress, Tianjin (China), 20-25 October 2013

[11] Moore, B.; Malfeito, J.; Zorillo, J. (2009), "An Overview of the 150 000 m³/day Beckton Desalination Plant in London", IDA World Congress, Atlantis, The Palm (Dubai), 7-12 November 2009

[12] Pearce, G; (2013), "Potential Advantages of Direct Coupled UF Designs for Bio-fouling Control

in Pre-treatment of SWRO Systems", IDA World Congress, Tianjin (China), 20-25 October 2013

[13] Knops, F.; Dekker, R.; Kolkman, R. (2009), "Ten Years of Ultrafiltration as Pretreatment to SWRO in the Arabian Gulf", IDA World Congress, Atlantis, The Palm (Dubai), 7-12 November 2009

[14] Knops, F.; Kahne, E.; Garcia de la Mata, M.; Mendoza Fajardo, C. (2012), "Seawater Desalination of the Chilean Coast for Water Supply to the Mining Industry", Water in Mining, Santiago (Chile), 6-8 June 2012

[15] Candel, R.; Anahory, D.; Soto, C.; Perez, A.; Priel, M.; Martinez, D.; Glueckstern, P.; Sahar, E. (2013), "Innovative Design for Ashdod Desalination Plant (384 000 m³/day). A Case Study", IDA World Congress, Tianjin (China), 20-25 October 2013

[16] Im, J.; Park, K.; Yim, W. (2012), "Doosan as Pioneer in Supplying and Operating Large-scale RO Desalination Plant at Shuwaikh on Coast of Kuwait", IWA World Water Congress & Exhibition, Busan (South Korea), 16 - 21 September 2012

[17] Ahn, W.; Lim, S. (2012), "Large-scale Application of UF Pretreatment for SWRO", IWA World Water Congress & Exhibition, Busan (South Korea), 16 - 21 September 2012.

Retrouvez toute l'actualité de l'eau sur le site



www.revue-ein.com