

# STRATÉGIES POUR LA GESTION DES EAUX DE PROCESS / EAUX USÉES À TRAVERS UNE APPROCHE REJET LIQUIDE MINIMAL (MLD) ET REJET LIQUIDE NUL (ZLD). UNE ÉTUDE DE CAS DANS UNE USINE CHIMIQUE DANS UN ENVIRONNEMENT SEMI-DÉSERTIQUE

Mission effectuée en  
Juin 2022

Mission effectuée par une équipe franco-allemande pour l'ONUDI (Organisation des Nations unies pour le développement industriel -Vienne).

Le site objet de la présente étude est un exemple mais d'autres sites ont été étudiés

*Le nom du site est masqué*

Jean-Louis Roubaty  
Michel Christmann

28/06/2023

approche MLD/ZLD dans l'industrie: REUSE 2.0 ?

# LE CONTEXTE EN QUELQUES MOTS



# Le contexte de la mission

## ONUUDI (UNIDO)

- L'Organisation des Nations unies pour le développement industriel (ONUUDI) est une agence spécialisée de l'ONU dont la mission est d'aider au développement industriel de ses pays membres ainsi que de conseiller et accompagner les pays en voie de développement dans l'élaboration de politiques industrielles, la création de nouvelles industries ou l'amélioration d'industries existantes.
- L'ONUUDI est créée à Vienne (Autriche) en 1961 et devient une agence spécialisée de l'ONU en 1985.

**Selon Wikipedia**

## Association ECTI

Environ 2000 p (anciens cadres dirigeants dans l'industrie: EDF, Total, HP, Orange, Veolia, Airbus, Dassault, Thales..), la finance et audit et le marketing comme l'université. Ecti avait associé son équivalent allemand (disposant aussi de plusieurs milliers d'experts) pour de nombreuses missions internationales

La mission était pilotée par:

- **Jean-Louis Roubaty** (ancien professeur en ingénierie de l'environnement à Denis-Diderot) et Adjunct Professor à Victoria University Melbourne après 29 années dans l'industrie essentiellement comme cadre dirigeant (R&D, direction technique direction générale avec pilotage de plus de 200 projets majeurs en France et à l'international (eau, air, déchets)
- **Michel Christmann** ancien cadre dirigeant chez Atochem-Arkema . Il a ainsi dirigé plusieurs grands sites européens dans la chimie (Chlore-Soude..)

# Objectifs fixés avec l'ONUDI et le pays concerné

- Réduire de manière significative la consommation nette d'eau de sites industriels majeurs
- En partant si possible des BREFs **si le secteur industriel en est doté**, aller au-delà de l'approche classique REUSE avec comme objectifs
  - Faire un benchmarking avec les meilleurs sites similaires en Europe
  - Proposer une stratégie permettant de:
    - Réduire drastiquement la consommation d'eau
    - Réduire la consommation énergétique du site
    - Réduire les pertes de matière première
    - sans impacter la rentabilité du site dans le contexte d'un marché concurrentiel entre le site étudié et ses concurrents locaux et régionaux
    - Débloquer des financements locaux et internationaux
- Missions souvent menées en association avec des experts allemands (ingénierie, R&D, direction de sites industriels majeurs)
- La mission qui est abordée s'est faite avec le support de la Royal Scientific Society RSS de Jordanie
- Le site traité ici est un exemple et il y en a eu de nombreux autres, y compris en Jordanie, en Afrique sub-saharienne...) comme dans d'autres pays ayant sollicité de l'aide de l'ONUDI
- Le cas étudié est à regarder sous l'angle méthodologique

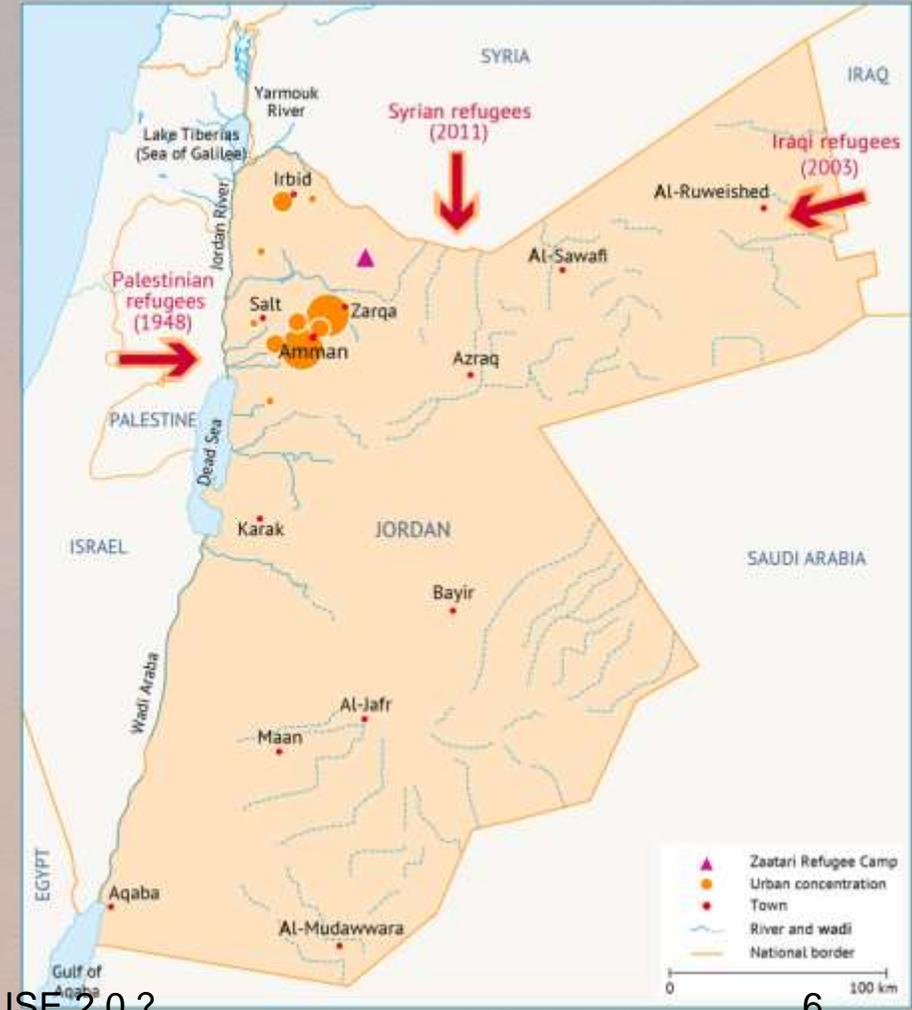
# La Jordanie



# Une croissance démographique incroyable et des ressources limitées

- Le pays est passé de 400000 à > 10 millions d'habitants depuis 1948 et il a eu à gérer 3 gros déplacements de réfugiés
- L'eau de surface dépend du bon vouloir et d'accords internationaux avec les voisins
- L'eau souterraine est de + en + rare et de plus en plus compliquée à récupérer

Forages à plus de 400 m et plus de 600 m sur le site



# L'eau en Jordanie

- En tant que deuxième pays le plus sec au monde selon les dernières données des Nations Unies (ONU), le Royaume hachémite de Jordanie est confronté à une crise de l'eau qui s'aggrave. La population jordanienne est parmi les plus privées d'eau au monde. Comme l'a dit l'UNICEF, "les ressources en eau renouvelables annuelles de la Jordanie sont inférieures à 100 m<sup>3</sup> par personne, bien en dessous du seuil de 500 m<sup>3</sup> par personne qui définit une grave pénurie d'eau".
- Au niveau international, une disponibilité en eau inférieure à 1 000 m<sup>3</sup> par personne et par an est définie comme une pénurie d'eau, tandis qu'une disponibilité inférieure à 500 m<sup>3</sup> est considérée comme une pénurie absolue.
- Le manque de ressources en eau de la Jordanie a un impact sur la croissance économique du pays, avec des implications potentielles pour la santé publique ainsi que pour la stabilité politique et la sécurité nationale.

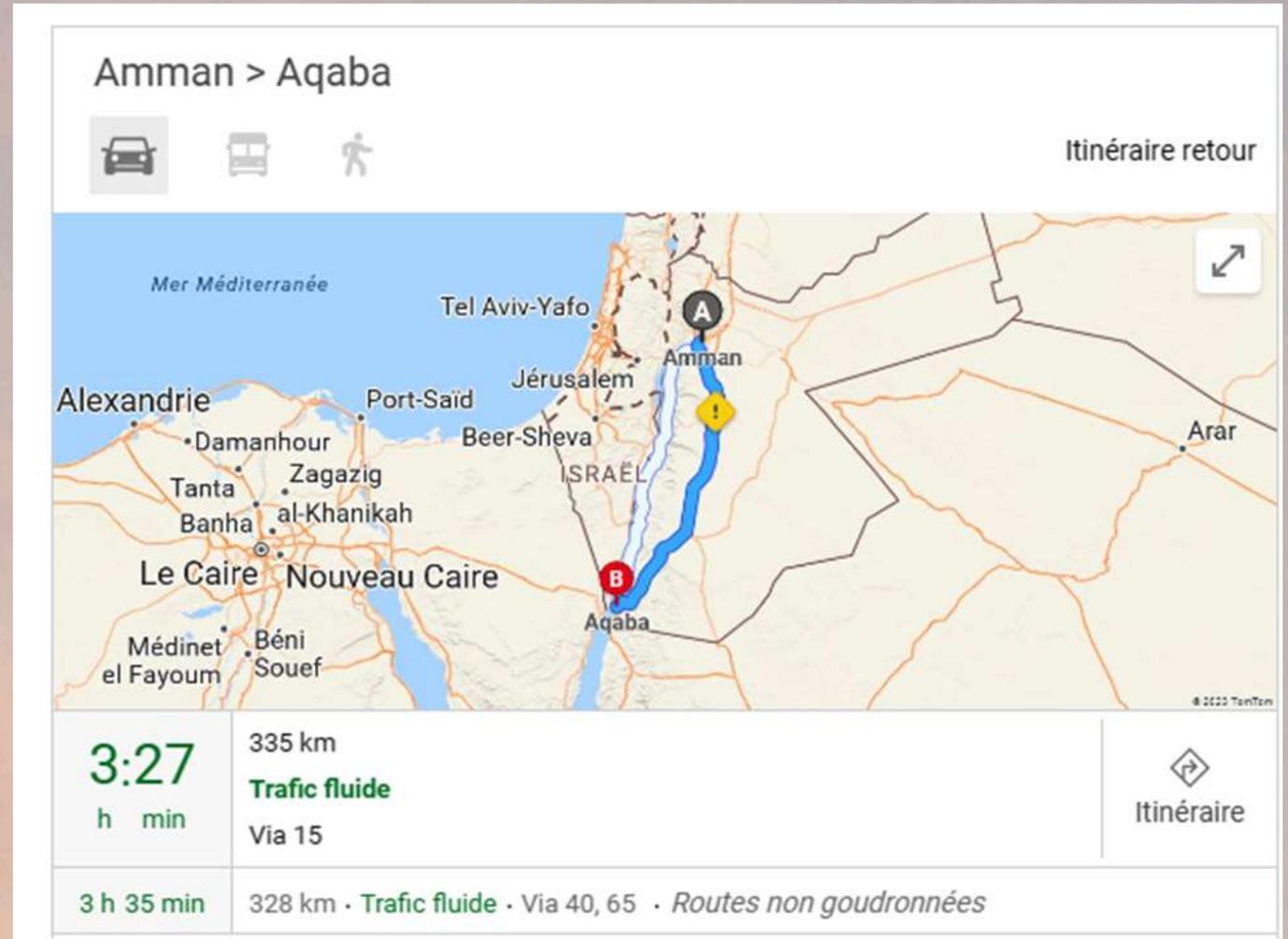
# Trouver de l'eau?



- Comme ceci a été dit plus haut: le manque d'eau en Jordanie pour vivre produire dans un pays en stress hydrique est inimaginable et faire venir l'eau d'où?
  - Israël et l'usine de dessalement d'Ashkelon? Nouvelle usine?
  - Al-Jubayl ou Damman/Dharan en Arabie Saoudite? la distance est énorme
  - Aqaba en Jordanie ?
- L'usine serait en France, assimilable à un site Seveso
  - située en zone semi-désertique
  - des besoins en eau pour l'énergie, pour purifier les matières premières pour le process et fournir des produits liquides (javel..)
  - Eau provenant de forages et souvent
    - de mauvaise qualité ou
    - Si quantité insuffisante → eau potable du réseau public dans un pays qui manque d'eau avec arbitrage avec les collectivités locales
    - Forages de plus en plus complexes à réaliser et à maintenir en état avec des eaux de + en + saumâtres (à 400 puis 600 m)

# Dessaler l'eau à Aqaba peu réaliste

- Distance de près de 350 km pour Amman
- Golfe d'Aqaba très fermé
- Que faire des saumures (Il suffit de voir l'évolution de la salinité au niveau de Al-Jubayl, Damman, Doha et du golfe persique) et les problèmes rencontrés y compris avec les antitartres pour une valorisation des saumures



# LE SITE

# Le site



- Site chimique situé à une 40aine de kilomètres d'Amman dans les environs de Zarqa en Jordanie ( pour info 700000 habitants à Zarqa) dans une zone quasi désertique
- Zarqa est la ville la plus industrielle de Jordanie: cuir, textile, pétrochimie, chimie, pharmacie...
- Le site est un acteur majeur au Moyen Orient dans certains métiers majeurs de la chimie (chlore-soude) principalement
  - Chlore
  - Eau de javel
  - Soude caustique
  - HCl
- Matière première le sel (en provenance de Arab Potash qui produit de la potasse et fournit du sel à partir de la Mer Morte.

*Pour les curieux, l'eau de la Mer Morte et alimentant Arab Potash est pompée, évaporée au niveau de la péninsule de Lisan sur la Mer Morte. La carnallite formée est ensuite purifiée*

# Quelques vues du site



# Cellules d'électrolyse



# Stockage de chlore avant expédition

Il y a aussi  
du vrac en  
citerne



28/06/2023

approche MLD/ZLD dans l'industrie: REUSE 2.0 ?

14



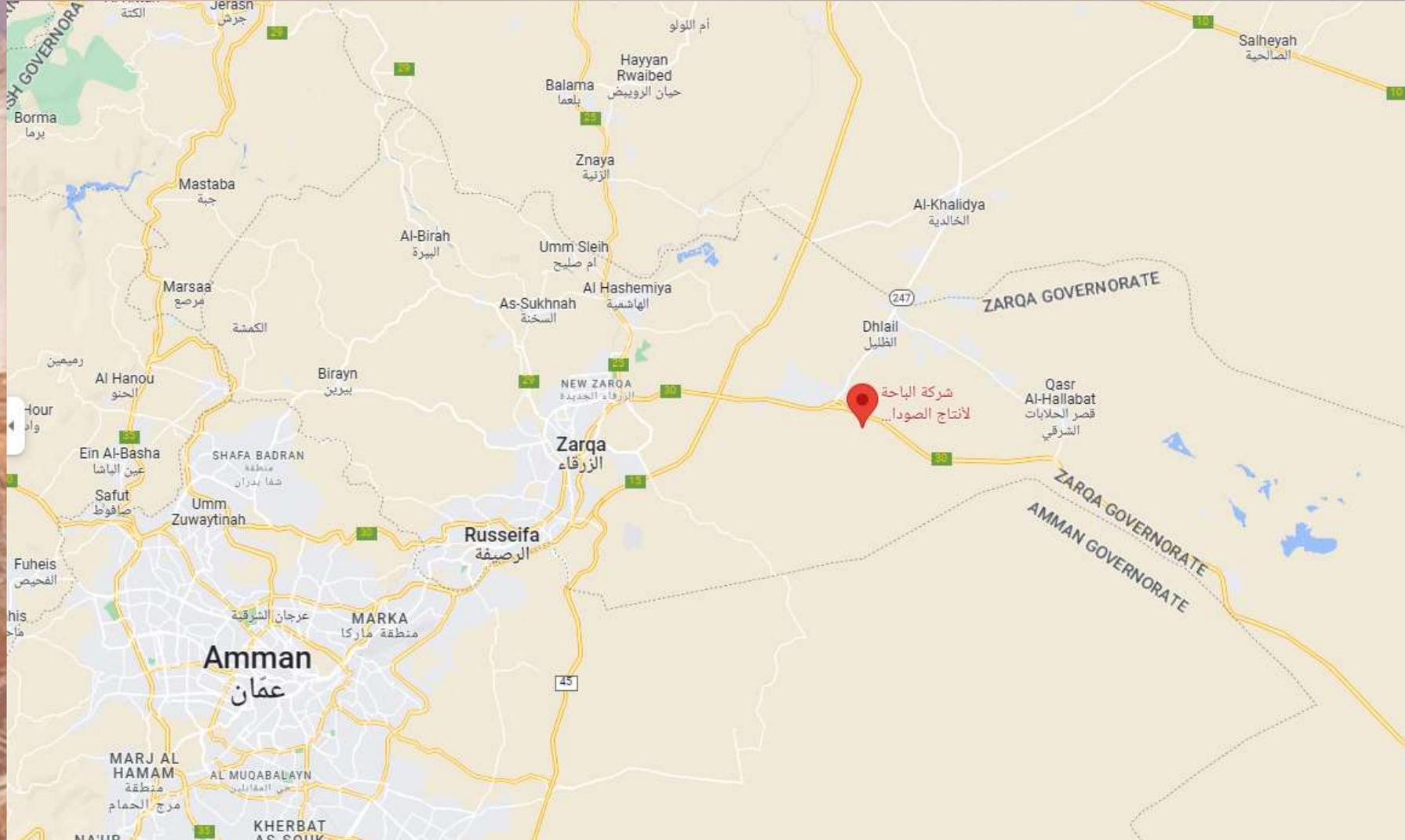
28/06/2023

approche MLD/ZLD dans l'industrie: REUSE 2.0 ?

# Lagune



# L'une des plus grosses usines au moyen orient en chlore/soude



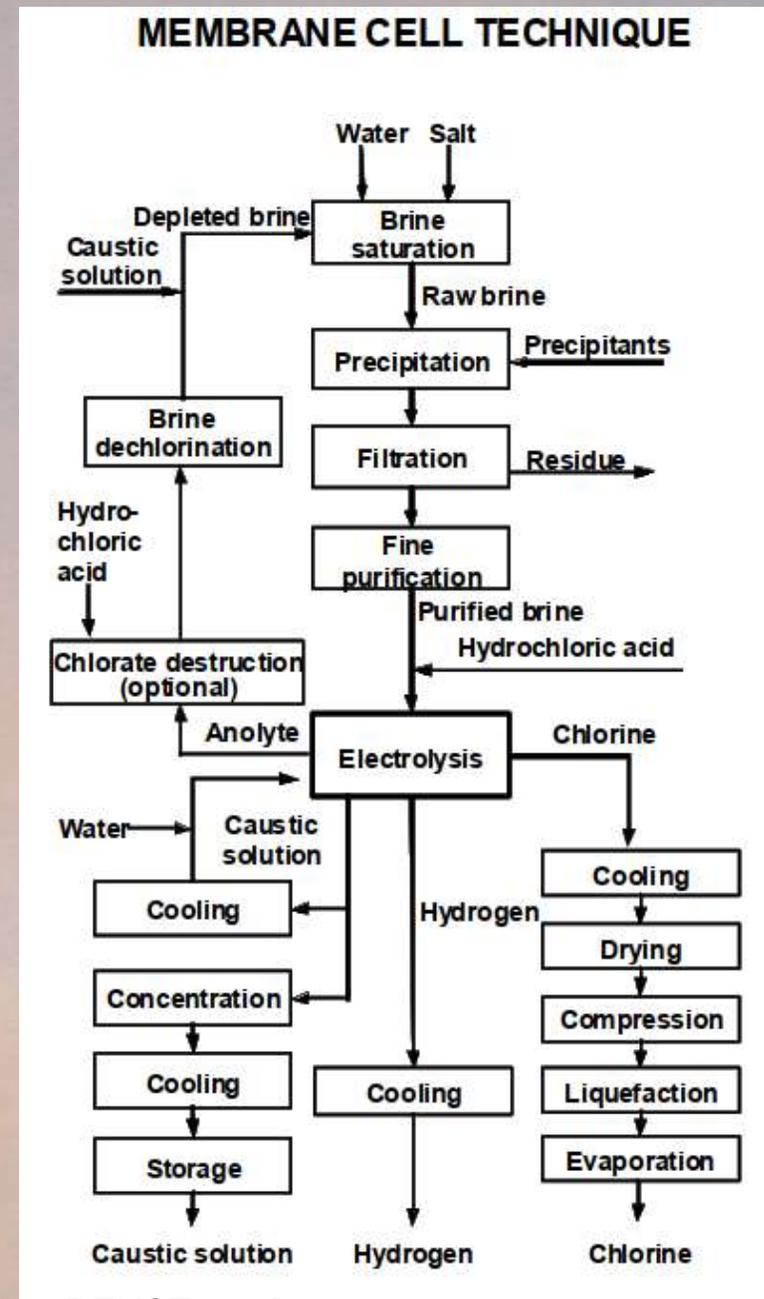
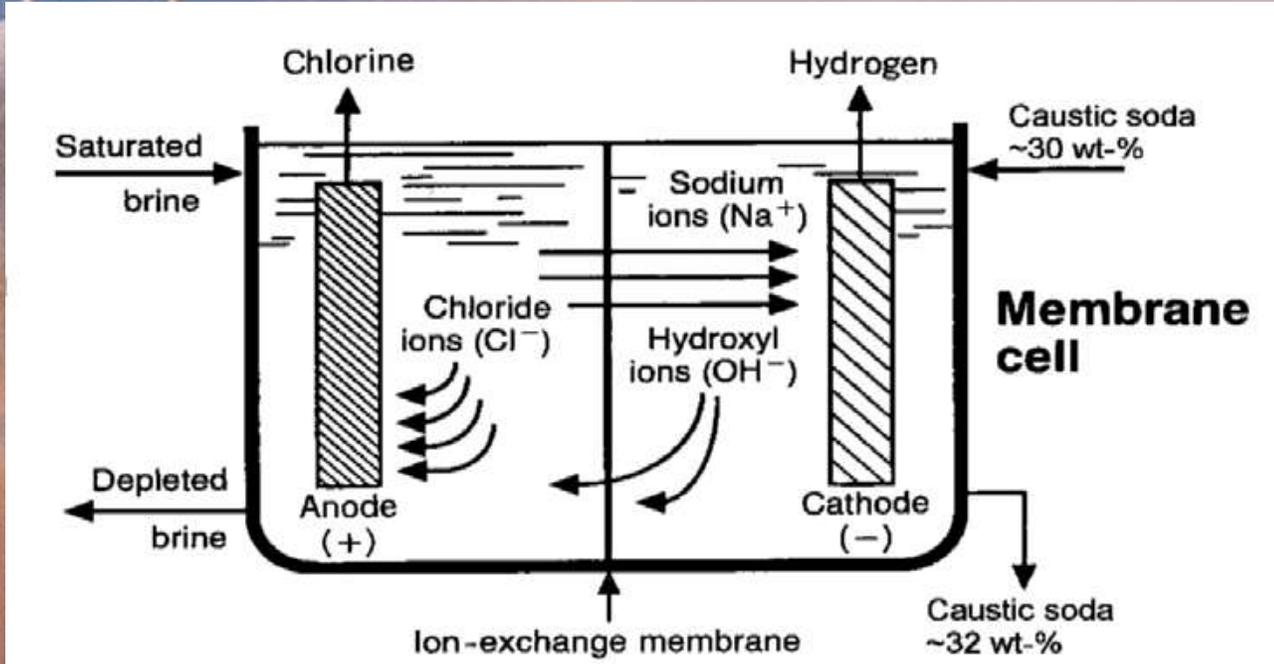
# Environnement autour du site

L'aridité peut s'apprécier avec cette vue satellite



# Principe du procédé

Source BREF



Pour les curieux allez sur le site Eurochlor

<https://www.eurochlor.org/about-chlor-alkali/how-are-chlorine-and-caustic-soda-made/membrane-cell-process/>

Pour les très curieux la membrane est en Nafion (Le Nafion est le nom de marque d'un fluoropolymère copolymère à base de tétrafluoroéthylène sulfonaté) et que l'on retrouve aussi dans les piles à combustible et les cellules d'électrolyse destinées à produire de l'hydrogène avec les membranes échangeuses de protons (PEM)

# Impuretés à éliminer de la saumure

Impurity	Source	Typical upper limit of brine specification	Effects	Mechanism
$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	Salt	20 ppb	Ca: CE Mg: V	Ca: Precipitation with various anions near the cathode side of the membrane, precipitation with silica and iodine in the membrane Mg: Fine precipitation with $\text{OH}^-$ near the anode side of the membrane, precipitation with silica in the membrane
$\text{Sr}^{2+}$	Salt	0.1–4 ppm	CE, V	Precipitation with hydroxide on the cathode side of the membrane, precipitation with silica and iodine in the membrane
$\text{Ba}^{2+}$	Salt	0.05–0.5 ppm	CE, V	Very fine precipitation with iodine in the membrane, precipitation with silica in the membrane
$\text{Al}^{3+}$	Salt	0.1 ppm	CE, V	Precipitation with silica in the membrane, precipitation of calcium/strontium aluminosilicates near the cathode side of the membrane
$\text{Fe}^{3+}$	Salt, pipework, tank material, anti-caking agent	0.05–0.1 ppm <sup>(1)</sup>	V	Deposition on the cathode, precipitation with hydroxide on the anode side of the membrane or in the membrane (depending on pH of the brine)
$\text{Hg}^{2+}$	Parallel operation of mercury cell plant	0.2 ppm heavy metals	V	Deposition on the cathode
$\text{Ni}^{2+}$	Salt, pipework, tank material, cathode	0.2 ppm heavy metals	V	Deposition on the cathode, absorption in the membrane
$\text{ClO}_3^-$	Process side reactions	10 g/l (as $\text{NaClO}_3$ )	O	Chlorination of the ion-exchange resin
I (e.g. $\text{H}_2\text{IO}_6^{3-}$ )	Salt	0.1–0.2 ppm	CE, V	Very fine precipitation with calcium, strontium or barium in the membrane, precipitation with sodium on the cathode side of the membrane
F <sup>-</sup>	Salt	0.5 ppm	V	Destruction of the anode coating
$\text{SO}_4^{2-}$	Salt, dechlorination with $\text{NaHSO}_3$	< 4–8 g/l (as $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )	CE	Precipitation with sodium near the cathode side of the membrane, anode coating with barium
$\text{SiO}_2$ (e.g. $\text{SiO}_3^{2-}$ )	Salt	10 ppm	CE	Silica itself is harmless, but in the presence of magnesium, calcium, strontium, barium or aluminium, silicates can be formed (see above)
Suspended solids	Salt	0.5–1 ppm	V	Precipitation on the anode side of the membrane
Total organic carbon	Salt	1–10 ppm	V	Increased foaming, overplating

<sup>(1)</sup> Higher iron concentrations could be permissible in cases of non-acidified feed brine.

NB: CE = current efficiency decreases; O = other effects; V = cell voltage increases.

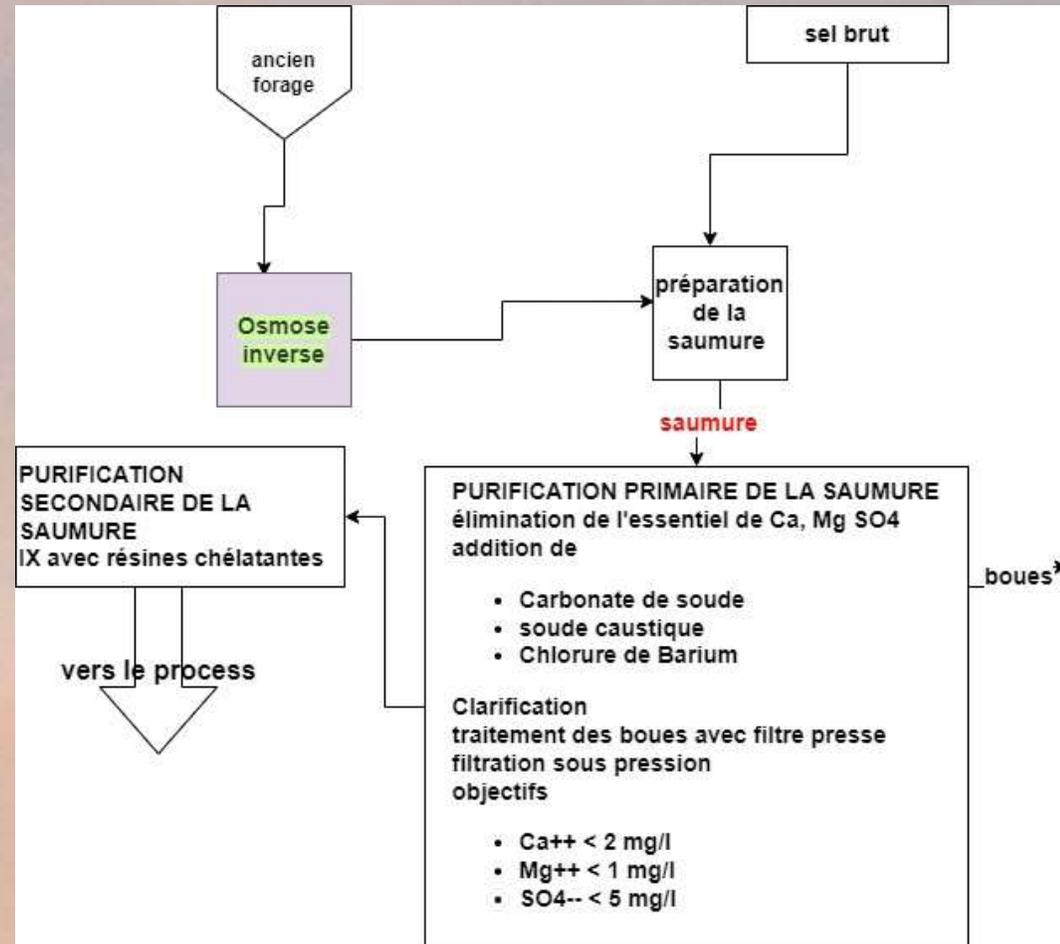
Source: [ 1, Ullmann's 2006 ], [ 23, BASF 2010 ], [ 72, Nishio 2011 ], [ 136, Asahi Kasei 2008 ], [ 146, Arkema 2009 ]

source BREF

# Principe simplifié du site (origine)

Gros revamping suite à un manque d'eau quasi-permanent:

- Deuxième forage
- Remise à niveau du procédé de purification des saumures avec
  - Arrêt de chlorure de barium
  - Installation d'une NF pour bloquer les sulfates après précipitation du Ca et Mg et décantation/ filtration et supprimer  $BaCl_2$



# MLD VS ZLD STRATÉGIE EMPLOYÉE SUR LE SITE

# MLD/ZLD ?

- “To improve the reuse of water and reduce the discharge of industrial wastewater, a zero liquid discharge (ZLD) or a minimal liquid discharge (MLD) treatment system is often used.
- ZLD and MLD are ambitious wastewater management strategies that enable the plant or facility to recover most of its wastewater for reuse.”
- Pendant longtemps, le ZLD a été proposé comme un moyen écologique d'aider l'industrie à répondre aux exigences de rejet de plus en plus strictes et à recycler ses flux d'eaux usées. Cependant, les processus ZLD sont
  - techniquement complexe
  - Souvent très cher
  - pas nécessairement respectueux de l'environnement en raison des matériaux et de l'énergie supplémentaires qu'ils nécessitent
- La parfaite connaissance du procédé utilisé permet d'associer à une optimisation de la consommation, une bonne adéquation entre des eaux disponibles et des besoins spécifiques et éviter de la sur qualité ce que l'on constate malheureusement trop souvent et qui freine les projets de reuse. Un bon exemple est l'eau de dissolution de la matière première comme l'eau de chaudière ou l'eau de refroidissement

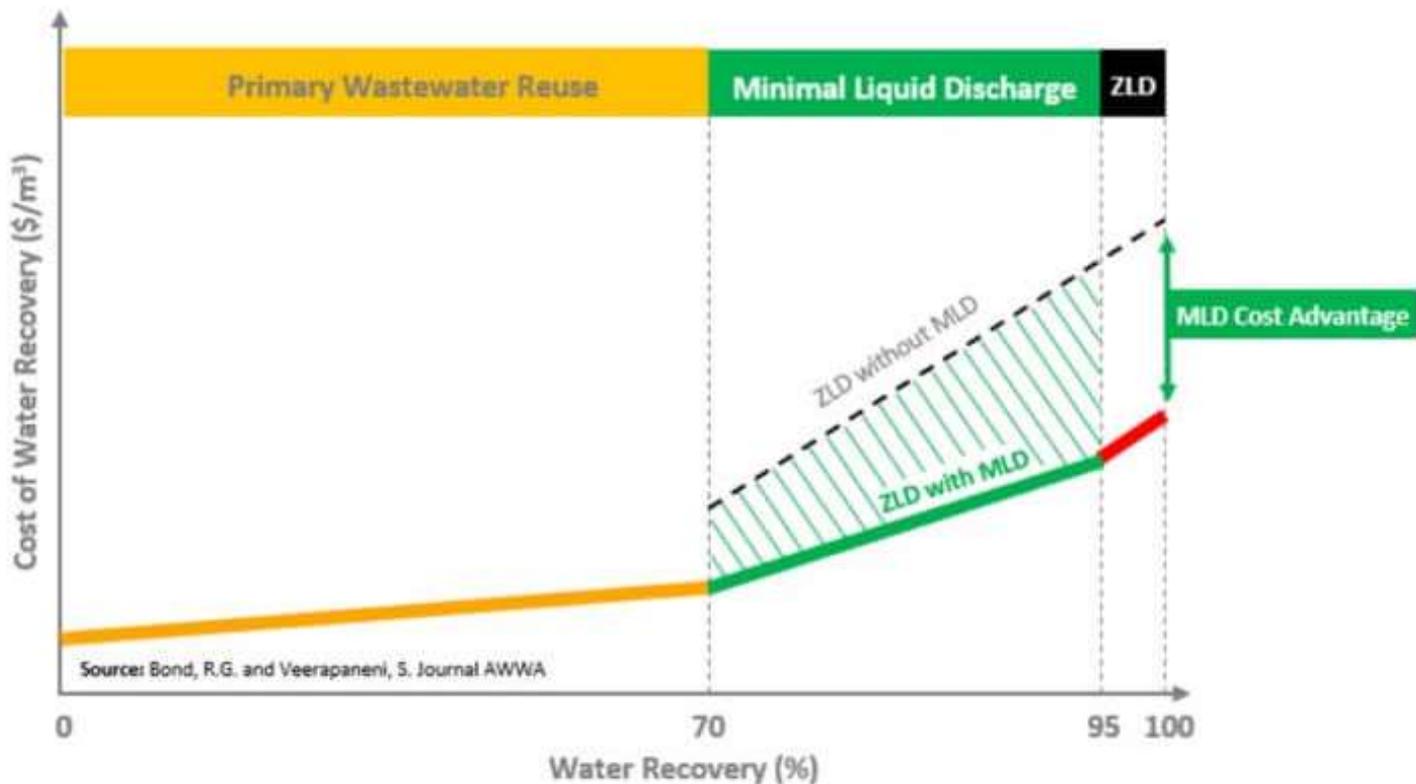
C'est la définition d'un collègue australien et qui permet de faire le lien avec le groupe de travail Reuse.

L'erreur est de ne se focaliser que sur le traitement des ERI

# Toujours se rappeler que les dernières gouttes récupérées coutent très cher

- Sources

- Bond, R.G. & Veerapaneni, S., 2007. Zero Liquid Discharge for Inland Desalination. Awwa RF and AWWA, Denver.
- Zeroing in on ZLD Technologies for Inland Desalination
- Rick Bond, Srinivas (Vasu) Veerapaneni Awwa Journal Volume 100, Issue 9 September 2008 Pages 76-89l



# Notre approche

- Tout optimiser pour réduire le + possible la consommation d'eau
  - → passer en revue les procédés et parfaitement connaître les specs de l'eau matière première. Le procédé est complexe et il y avait un expert du procédé
  - → connaître les flux pour l'eau
- Notre ligne directrice
  - Aller vers un site fonctionnant en ZLD (zero liquid discharge) ou à la rigueur MLD en modifiant les flux de circulation des diverses eaux vers les points d'usage (avec ou sans traitement local)
  - Se rappeler qu'il fait très chaud ce qui ouvre la porte à des techniques comme la distillation membranaire
- Le site est moderne avec OI de la totalité de l'eau entrante + NF + plusieurs unités d'IX pour certains usages de l'eau
- *Pb: le patron de l'ingénierie/procédé était présent*

# Bien connaître toutes les spécifications des diverses eaux sur le site

- Éviter la sur qualité de l'eau pour un usage donné.
- Bien connaître les diverses eaux disponibles ou susceptibles d'être produites si l'on change certains points du procédé
- Quelques exemples
  - Eau de dilution de la soude caustique
  - Eau pour l'eau de javel (faire 1 ou plusieurs qualités) par exemple
  - chaudière BP < 10 b
  - Qualité de l'eau d'alimentation et impuretés acceptables
    - Évolution de la purge de la chaudière en fonction de l'eau 'alimentation
    - Devenir des pourfes dechaudière
  - Tour aéroréfrigérante
    - Matériaux du circuit de refroidissement (échangeurs, , packing de la TAR et support packing?)
    - Entraînement vésiculaire (c'est de l'eau perdue directement et performances du séparateur de gouttes)

en Reuse , l'approche traditionnelle est souvent dépassée

Il a fallu par exemple dans notre cas:

> identifier les exigences minimales de qualité de l'eau pour chaque usage. Il y en avait plus de 10)

> identifier les pertes d'eau imputables au procédé (par exemple purges de condensats, entrainement vésiculaire TAR)

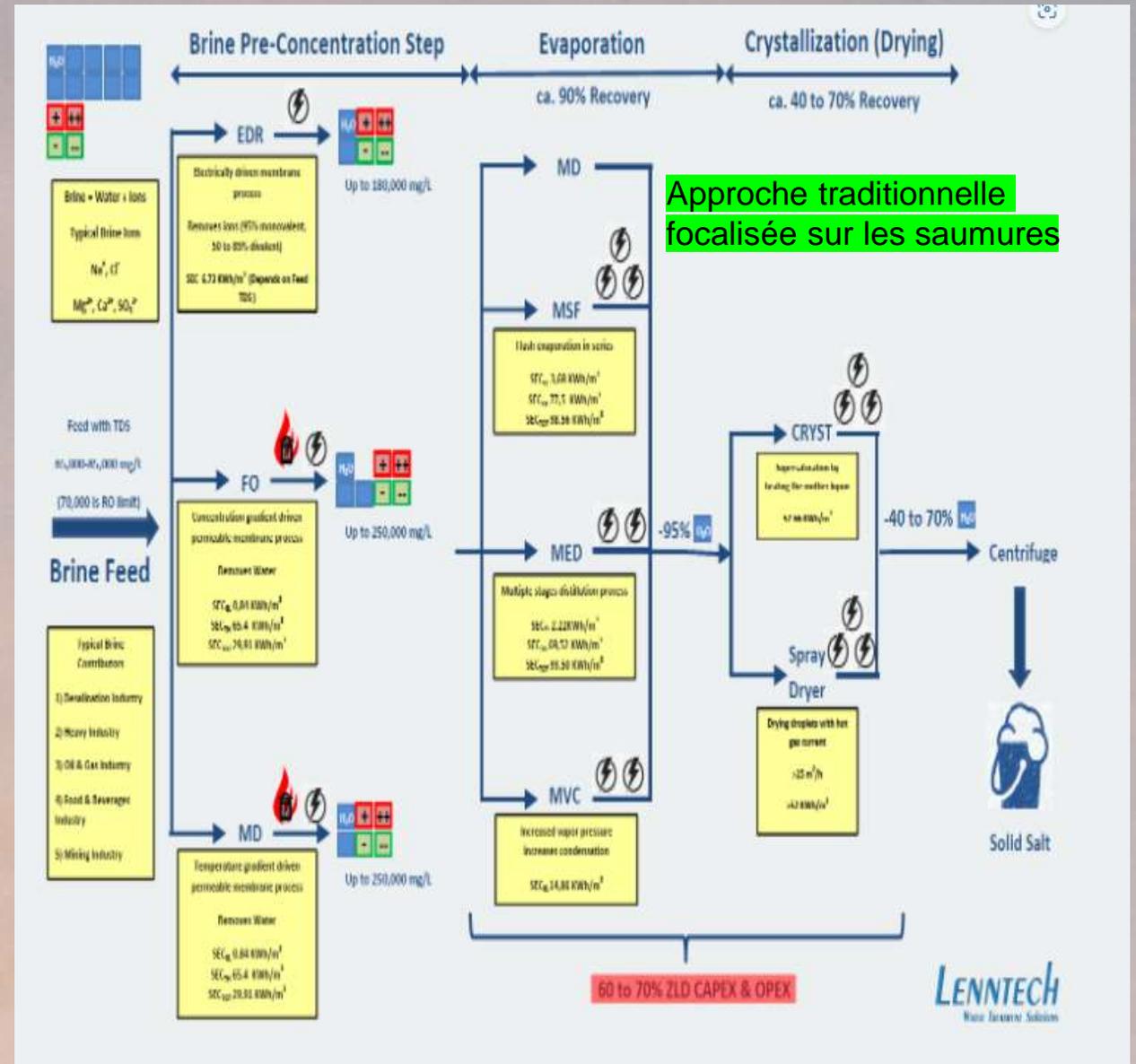
> rechercher les eaux compatibles avec certains procédés.

> Faut-il de l'eau osmosée pour ajuster le titre de la soude caustique?

> Quelle quantité de Ca ou de sulfate est acceptable dans le l'eau de javel?

> J'utilise un antitartre/anticorrosion dans un process comme la chaudière ou la TAR, quel en sera l'impact après si je veux réutiliser l'eau avec/sans traitement spécifique?

> Quelle approche proposer pour les futures ERI et qui sorte des approches traditionnelles (on a une saumure dans notre cas



Approche traditionnelle focalisée sur les saumures

# Un exemple de perte d'eau qui dépend des performances du séparateur de gouttes sur la TAR

Plastic material	Polypropylene (PP) UV resistant
Max. temperature (°C)	From -20°C to 70°C continuously 80°C brief Hogere temperatuurbestendigheid beschikbaar op aanvraag
Max. air speed (m/s)	4
Weight (kg/m <sup>2</sup> )	12
Separation efficiency (%)	≥ 99,999* According to test method CTI ATC-140 and Eurovent standard OM-14-20019

- Selon le séparateur de gouttes et son éventuelle détérioration on peut perdre jusqu'à 1 % de l'eau et beaucoup moins avec un séparateur performant (0,001%)
- Si le débit recirculé est de 500 m<sup>3</sup>/h ou peut perdre 5 m<sup>3</sup>/h d'eau en permanence et cette eau ne peut être recyclée.

C'est de l'eau qui disparaît et qui fausse toutes les politiques de re-use ou ZLD/MLD.

C'est aussi un risque sanitaire majeur avec la dispersion de légionelles et l'inhalation des toxiques contenus dans l'eau des aérosols (polluants, biocides et autres produits de traitement..)

Que faire: au minimum changer les séparateurs tous les 4-5 ans ou mieux mesurer les performances et l'EV de la TAR selon le protocole CTI-ATC-140 ou selon Eurovent OM-14-20019 (NF E38-424) et périodiquement identifier les éventuelles défaillances avec certaines techniques rapides de terrain (sensitive paper par exemple..).

# Les usages de l'eau sur le site

- L'eau est principalement ajoutée au procédé pour :
  - la préparation de la saumure ;
  - la préparation de certains réactifs utilisés pour la purification de la saumure ;
  - la dilution de la soude produite dans le circuit soude, dans le cas de la technique des cellules membranaires ;
  - le refroidissement direct du chlore ;
  - la dilution de la soude si nécessaire (par exemple pour l'unité d'absorption de chlore).
  - L'eau qui est consommée quitte le processus soit via les produits (hydrogène et solution caustique) soit en tant qu'eaux usées

Lors de l'électrolyse, l'eau est aussi consommée pour la synthèse d'hydrogène et de soude en quantité stœchiométrique soit environ  $0,51 \text{ m}^3/\text{t Cl}_2$  produit

L'eau peut également être utilisée

- Pour le refroidissement indirect avec le circuit de refroidissement
- La thermique (chaudière BP..)

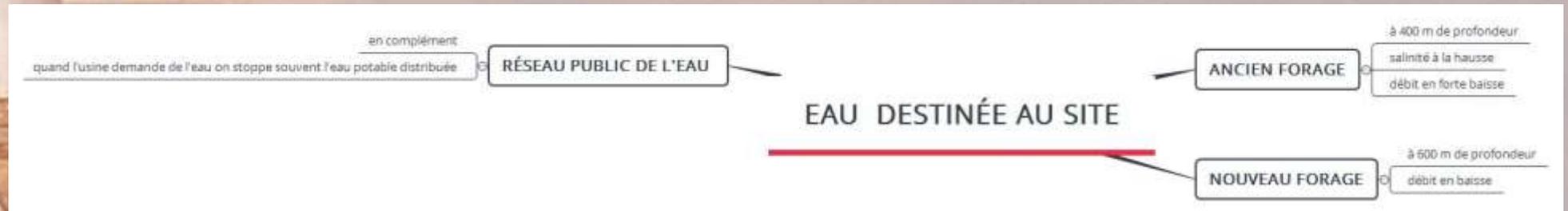
Sans oublier le réseau incendie et l'eau utilisée en cas d'incident chlore avec les rideaux d'eau isolant certains secteurs avant l'arrêt en urgence du site

# Les usages de l'eau sur le site

- Dissolution du sel (mineral)
- Tours aéroréfrigérantes
- Chaudière (production de vapeur saturée: pas de surchauffe)
- Unité javel et unité soude caustique
- Réseau incendie
- Réseau sécurité (fuites chlore) avec rideau d'eau
- Eau potable et autres usages sanitaires

# Origine de l'eau du site

En priorité nouveau forage avec en appoint l'ancien forage et l'eau publique distribuée



# Principaux rejets

SRS: Sulfate  
removal System  
avec la NF

No.	Waste water WW Source in Plant	Unit	Generated Waste water as MT of NaOH 100 % wt and 200 MTD of NaOCL 12%wt	WW Liter/Day For Production 83 MTPD NaOH 100%wt as average
1	Well Water treatment unit (RO) - total Reject	liter/MT NaOH 100%	1730.26	143611.58
2	Cooling water - total Reject	liter/MT NaOH 100%	481.81	39990.23
3	SRS Reject	liter/MT NaOH 100%	144.5	11993.5
4	Washing and Flushing and Pump coolant seal	liter/MT NaOH 100%	72.3	6000.9
5	Demeniral Water Regeneration	liter/MT NaOH 100%	30.9	2564.7
6	Brine Ion./Exch. Reg.	liter/MT NaOH 100%	25	2075
<b>Total quantity of Generated Waste Water WW (Liter per Day) :</b>				<b>206235.91</b>

# Eau en provenance du réseau public

	Unit	Public water
P-Alkalinity	mg/l	0
M-Alkalinity	mg/l	82
Conductivity	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1642
Calcium (Ca)	mg/l	51.6
Magnesium (Mg)	mg/l	16.84
Total Hardness	mg/l	193.05
Sulfate ( $\text{SO}_4^{-2}$ )	mg/l	44
Silica ( $\text{SiO}_2$ )	mg/l	17.81
Chloride	mg/l	362.79
Free Chlorine	mg/l	0.35
Total iron ( $\text{Fe}^{+3}/\text{Fe}^{+2}$ )	mg/l	0.066
pH	SU	7.83
TSS	mg/l	9.8
TDS	mg/l	1094.56
$\text{Na}^+$	mg/l	*
$\text{Sr}^{+2}$	mg/l	*
$\text{K}^+$	mg/l	*
$\text{NO}_3^-$	mg/l	*

# Quelques analyses dont les 2 forages

	Unit	Old Well	New Well	RO reject	Cooling tower
<b>Alkalinity</b>	mg/l	407,00	244,00	1490,00	45,00
<b>Ca<sup>+2</sup></b>	mg/l	215,00	106,00	728,00	94,80
<b>Hca</b>	as CaCO <sub>3</sub>	537,50	265,00	1820,00	237,00
<b>Mg<sup>+2</sup></b>	mg/l	179,00	81,30	531,00	21,90
<b>HMg</b>	as CaCO <sub>3</sub>	745,83	338,75	2212,50	91,25
<b>Total Hardness</b>	as CaCO <sub>3</sub>	1283,33	603,75	4032,50	328,25
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b>	mg/l	537,00	222,00	1696,00	154,00
<b>Si</b>	mg/l	14.4	7.54	12.41	49.85
<b>Cl<sup>-</sup></b>	mg/l	11.8	527,00	3560,00	844,00
	as NaCl				
<b>Na<sup>+</sup></b>	mg/l	587.5	196,00	1651,00	477.9
<b>Sr<sup>+2</sup></b>	mg/l	3.2	1.4	10.2	0.6
<b>K<sup>+</sup></b>	mg/l	15.7	6.34	46.9	16.5
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	mg/l	1.04	< 1.0	6.53	9.42
<b>Fe</b>	mg/l	7.9	0.15	< 0.10	1.06
<b>pH</b>	SU	7.45 (7.02)*	7.34 (6.82)*	7.92 (7.52)*	7.43 (6.11)*
<b>TSS</b>	mg/l	68.0	2.80	12.0	8.5

\*: onsite measurement

In red: calculated

28/06/2023

approche MLD/ZLD dans l'industrie: REUSE 2.0 ?

34

# Nous avons fait de nombreuses simulations

- Pour vérifier la compatibilité de l'eau pour certains usages et les traitements nécessaires pour une adaptation à tel ou tel usage (procédé physique ou chimique)
- Valider l'impact de l'arrêt de l'OI en se contentant de la NF

# Simulation du comportement de l'eau du vieux forage

## SYSTEM IDENTIFICATION

Jordan  
old well  
  
Sample ID#: 6  
ID: 0  
Report Date: 07-07-2022  
Sample Date: 07-07-2022  
#: 1537

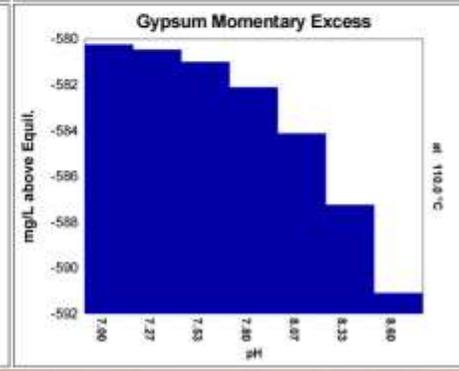
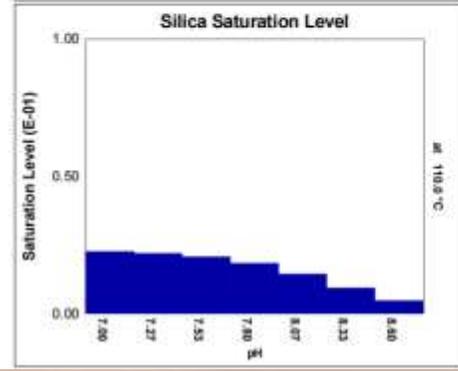
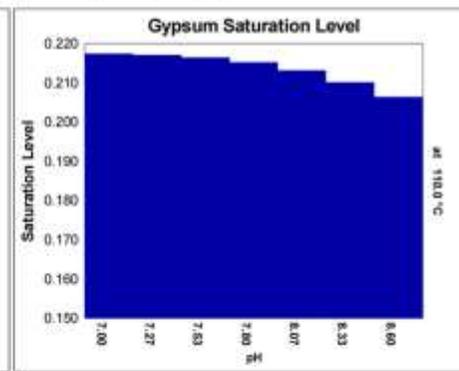
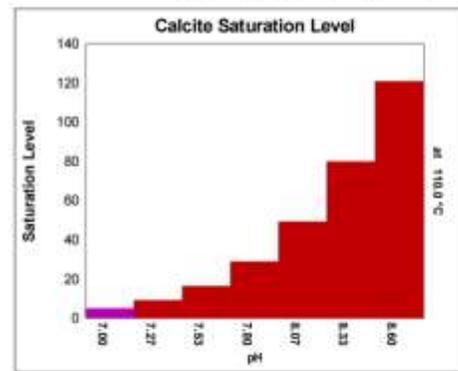
## WATER CHEMISTRY

CATIONS		ANIONS	
Calcium(as Ca)	225.00	Chloride(as Cl)	1147
Magnesium(as Mg)	179.00	Sulfate(as SO <sub>4</sub> )	537.00
Sodium(as Na)	557.50	Acidity(as CaCO <sub>3</sub> )	0.00
Potassium(K)	15.70	"H" Alkalinity(as CaCO <sub>3</sub> )	467.00
Lithium	0.00	"T" Alkalinity(as CaCO <sub>3</sub> )	0.00
Iron(as Fe)	7.90	Oxalic acid(as C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	0.00
Aluminum(as Al)	0.00	Silica(as SiO <sub>2</sub> )	14.40
Aluminum(as Al)	0.00	Phosphate(as PO <sub>4</sub> )	0.00
Manganese(as Mn)	0.00	Pyrophosphate(as PO <sub>4</sub> )	0.00
Zinc(as Zn)	0.00	H <sub>2</sub> S (as H <sub>2</sub> S)	0.00
Lead(as Pb)	0.00	Cyanide(as CN)	0.00
<b>PARAMETERS</b>		Fluoride(as F)	0.00
Temperature(°C)	25.00	Nitrate(as NO <sub>3</sub> )	1.04
Sample pH	7.02	Boron(as B)	0.00

## SCALE AND CORROSION POTENTIAL

pH	Calcite CaCO <sub>3</sub>				Max Cu	Max Pb	Max PO <sub>4</sub>	Max Zn	Max Py/Dy	
	Langlier	Lansme	CCPP	Ratio						
7.00	4.98	915.09	1.15	5.30	245.98	0.132	0.117	43.43	0.344	27.06
7.27	9.08	990	1.43	5.23	360.96	0.0999	0.141	26.82	0.163	27.09
7.53	16.35	7547	1.69	5.17	174.13	0.0779	0.0630	19.41	0.0869	27.23
7.80	28.85	6494	1.97	4.91	39.23	0.0208	0.0285	14.05	0.0513	27.54
8.07	49.23	11378	2.25	4.68	225.87	-0.0116	0.0114	11.79	0.0326	28.08
8.33	76.85	19004	2.54	4.33	245.21	0.00644	0.00334	10.64	0.0212	28.87
8.60	120.72	29810	2.85	3.93	300.76	0.00346	< 0.003	10.05	0.0134	29.79
	vSAT	mg/L	L.S.L	Ratio	mg/L	mg/L	ug/L	mg/L	mg/L	mg/L

mg/L scale is the quantity of precipitate (or dissolutes) required to instantaneously bring the water to equilibrium.

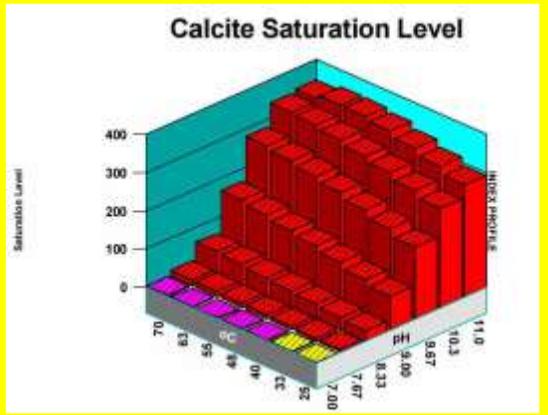
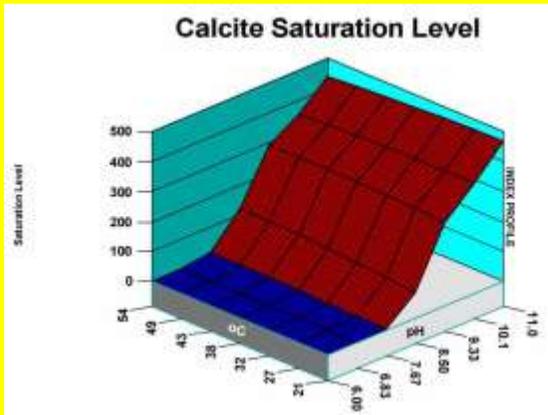
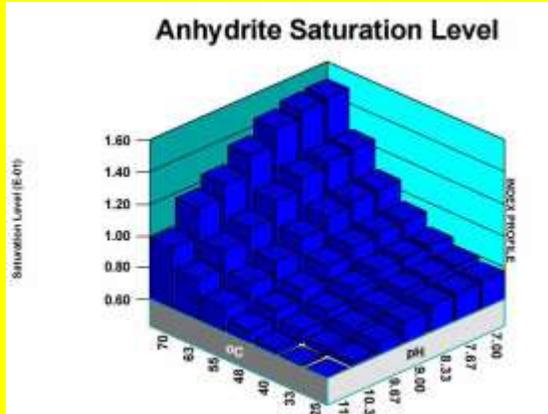
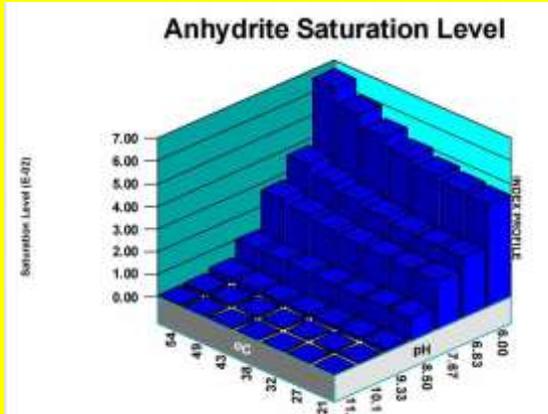




# Simulation avec les eaux des 2 forages

28/06/2023

approche

calcite	
	
Old well calcite saturation	New well calcite saturation
Anhydrite	
	
Old well anhydrite saturation	New well anhydrite saturation

# Nouveau forage

28/06/2023

ap

### SYSTEM IDENTIFICATION

Artes  
 new well  
  
 Sample ID#: 0  
 ID: 0  
 Report Date: 07-07-2022  
 Sample Date: 07-07-2022  
 at 18.02

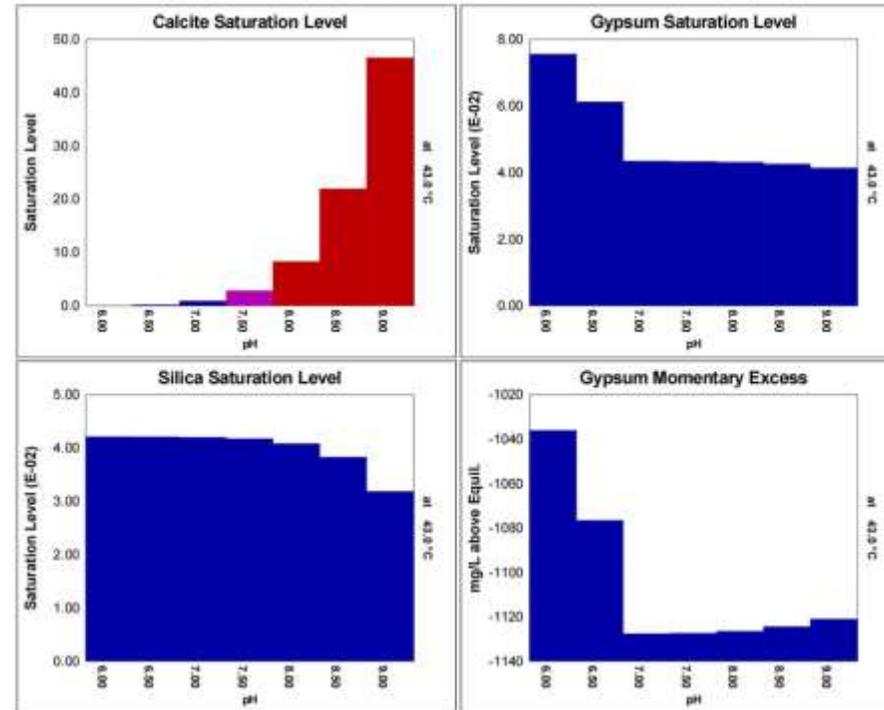
### WATER CHEMISTRY

CATIONS		ANIONS	
Calcium(as Ca)	136.00	Chloride(as Cl)	527.00
Magnesium(as Mg)	81.30	Sulfate(as SO <sub>4</sub> )	222.00
Sodium(as Na)	280.98	Acidity(as CaCO <sub>3</sub> )	0.00
Potassium(as K)	6.34	"H" Alkalinity(as CaCO <sub>3</sub> )	244.00
Lithium	0.00	"M" Alkalinity(as CaCO <sub>3</sub> )	0.00
Iron(as Fe)	0.00	Uric acid(as C <sub>5</sub> H <sub>3</sub> N <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	0.00
Ammonia(as NH <sub>3</sub> )	0.00	Silicic(as SiO <sub>2</sub> )	7.54
Aluminum(as Al)	0.00	Phosphate(as PO <sub>4</sub> )	0.00
Manganese(as Mn)	0.00	Pyrophosphate(as PO <sub>4</sub> )	0.00
Zinc(as Zn)	0.00	H <sub>2</sub> S (as H <sub>2</sub> S)	0.00
Lead(as Pb)	0.00	Cyanide(as CN)	0.00
PARAMETERS		Fluoride(as F)	0.00
Temperature(°C)	25.00	Nitrate(as NO <sub>3</sub> )	0.00
Sample pH	6.82	Boron(as B)	0.00

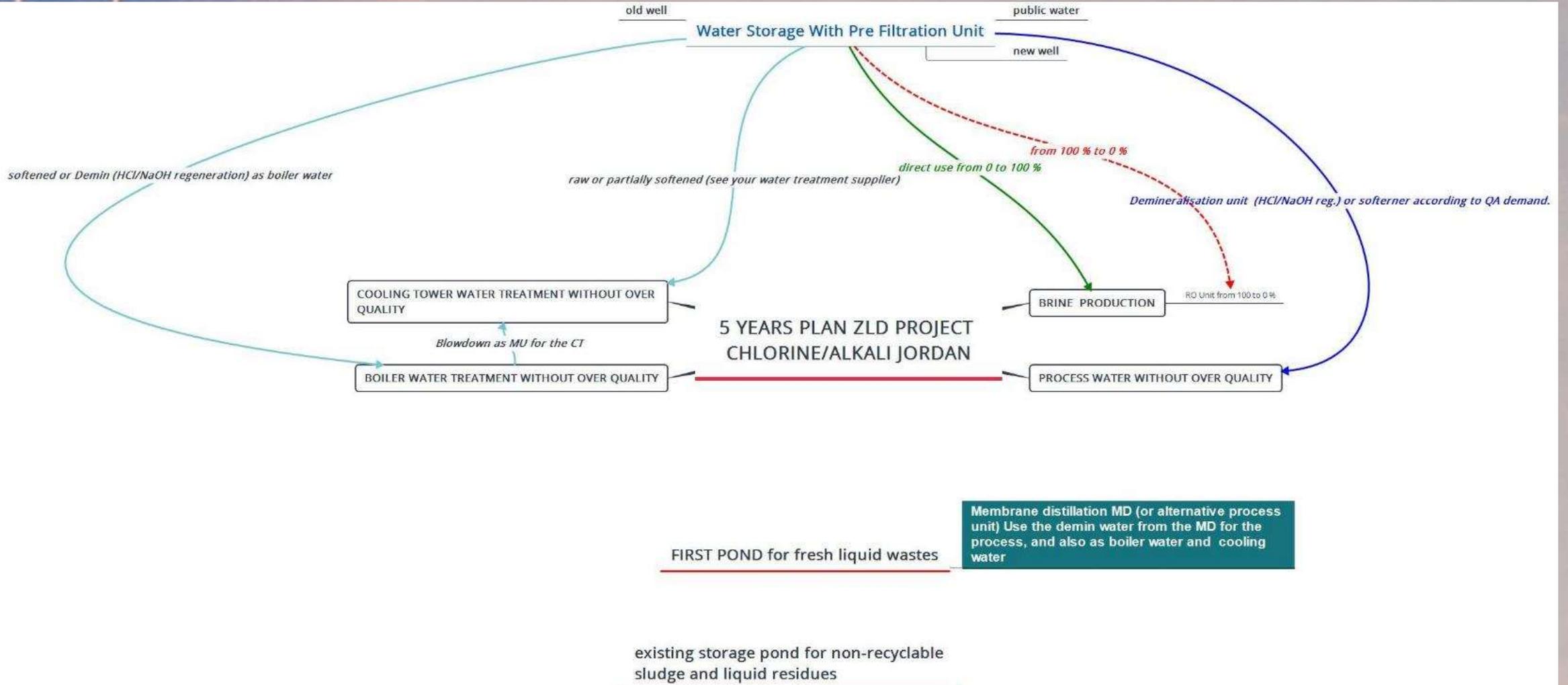
### SCALE AND CORROSION POTENTIAL

pH	Calcite				Max Cu	Max Pb	Max PO <sub>4</sub>	Max Zn	Max P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
	CaCO <sub>3</sub>	Langbein	Langens	COFP					
6.00	0.0215	-907.90	-1.52	17.83	46.62	300.64	1499	199.12	14.72
6.50	0.168	-426.64	-6.62	7.42	6.71	37.95	229.54	31.73	13.26
7.00	0.901	-50.10	0.0688	4.00	0.925	3.78	49.69	6.03	12.75
7.50	2.79	905.15	0.567	4.00	34.31	1.14	14.92	4.31	12.63
8.00	6.17	3710	1.07	4.00	52.86	0.362	5.99	2.43	12.63
8.50	21.95	10913	1.57	3.46	77.41	0.119	0.6672	3.35	1.08
9.00	46.52	24710	2.08	1.91	121.71	0.0257	0.00762	2.46	0.454
	eSAT	mg/L	L.S.I.	Ratio	mg/L	mg/L	ug/L	mg/L	mg/L

mg/L scale is the quantity of precipitation (or dissolution) required to instantaneously bring the water to equilibrium



# Stratégie proposée



# Résumé des propositions

- Approche à horizon 2 ans MLD et 5 ans ZLD (rejet uniquement de boues pâteuses de carbonate de calcium et de magnésium (valorisation à étudier))
- Avec à horizon 2 ans
  - Réduction de 90 % de l'eau transitant l'usine (avec arrêt OI, récupération de la quasi-totalité du NaCl que l'on retrouve dans la lagune, optimisation des flux dont la chaufferie avec remplacement de l'IX par adoucisseur,
  - recyclage et valorisation des effluents sodés qui ne se retrouveront pas dans la lagune
- Si besoin essais pilote avec probablement distillation membranaire sur certains effluents par la RSS avec Khalifa University (Center For Membranes And Advanced Water Technology à Abu Dhabi) avec retour en tête des effluents concentrés.

# ET LE TOURISME...

# La mer morte à 1 h en voiture de notre hôtel

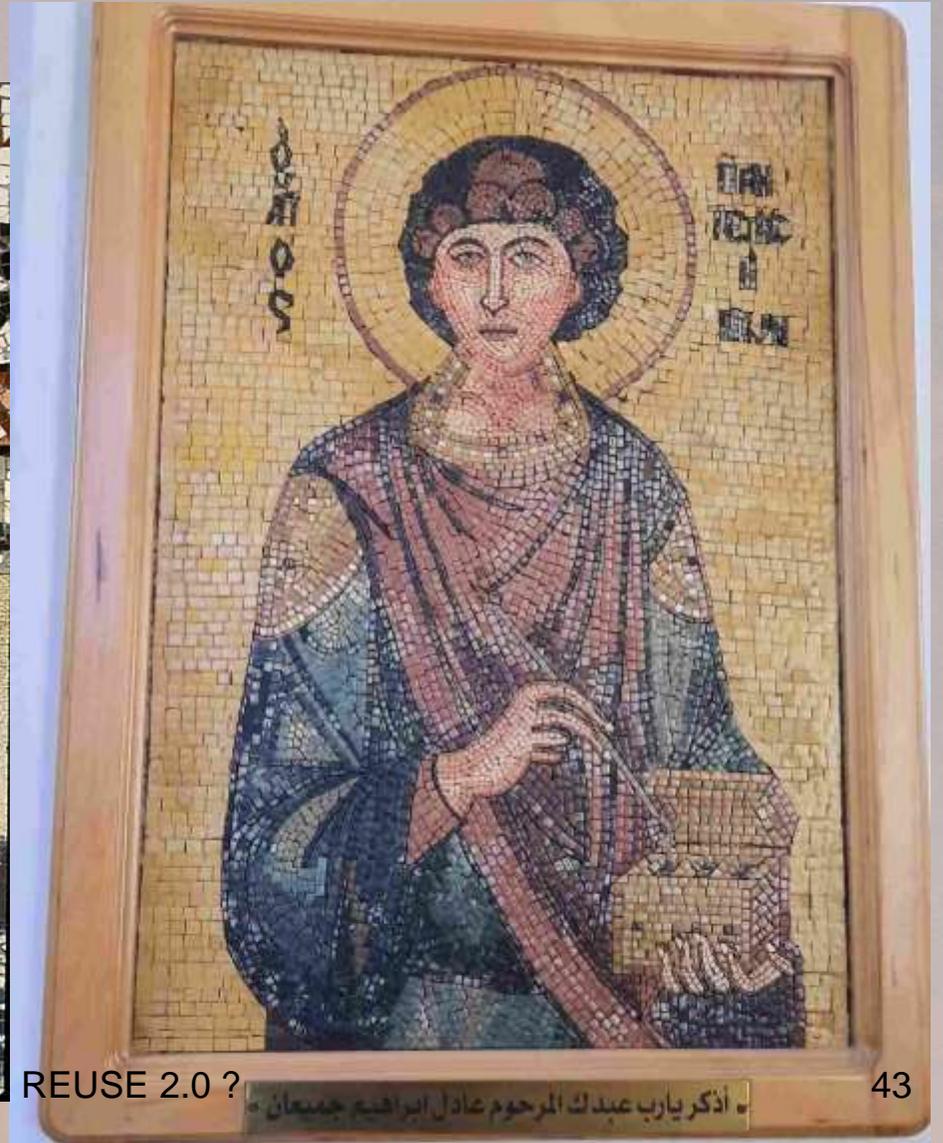


28/06/2023



approche MLD/ZLD dans l'industrie: REUSE 2.0 ?

# Madaba et ses mosaïques



REUSE 2.0 ?

أذكر يارب عبدك المرحوم عادل إبراهيم جملعان



Dommage.  
Je ne suis pas allé à  
Petra

**MERCI POUR VOTRE PATIENCE  
AVEZ-VOUS DES QUESTIONS?**

**NE PAS OUBLIER QUE CERTAINES INFORMATIONS SONT CONFIDENTIELLES ET  
QUE JE NE POURRAI PAS RÉPONDRE À TOUTES VOS QUESTIONS**