

# Air Liquide Normand'Hy et Axe Seine

## Audit de l'eau

### Justification des choix techniques vis à vis de la consommation en eau

Project name: <a href="#">Air Liquide Normand'Hy et Axe Seine</a>	Doc. Number: <a href="#">N/A</a>
Project code: <a href="#">SJF-21-01</a>	Revision: <a href="#">1</a>
Investing entity: <a href="#">ALFI</a>	Date: <a href="#">31/03/2025</a>
Owner project manager: <a href="#">L. HERCULANO</a> Water Expert manager: <a href="#">V. BADER</a>	Document Owner: <a href="#">V. BADER/V. FEITELSDIN</a>

Classification: • **INTERNAL**

Rev.	Date	Prepared by	Reviewed by	Approved by	Notes
<a href="#">0</a>	<a href="#">05/12/2022</a>	<a href="#">V. BADER</a>	<a href="#">P. POEZEVARA</a>	<a href="#">L. HERCULANO</a>	<a href="#">First issue</a>
<a href="#">1</a>	<a href="#">31/03/2025</a>	<a href="#">V. BADER</a>	<a href="#">P. POEZEVARA</a>	<a href="#">L. HERCULANO</a>	<a href="#">Second issue</a>

This document and the information contained herein is L'Air Liquide S.A. or one of its affiliates' property. The document is confidential business information and may furthermore contain confidential technical information. It is provided to certain employees of the Air Liquide group for their internal use exclusively in the course of their employment. Any reproduction or disclosure of all or part of this document to third parties is prohibited without the express written consent of an authorized representative within the Air Liquide group. If you have received this document by mistake, please immediately notify the sender and destroy the original message.

## Table des matières

Table des matières .....	2
Abbreviations .....	3
Préambule .....	4
1. Introduction.....	5
1.1 Principe de fonctionnement de l'usine .....	5
1.2 Principe de fonctionnement du centre de conditionnement.....	5
1.3 Bilan des prélèvements .....	6
1.4 Quantification des usages .....	6
2. Eau de procédé .....	9
2.1 Les résines échangeuses d'ions.....	9
2.2 L'osmose inverse par membranes.....	11
2.3 Bilan .....	12
3. Eau de refroidissement .....	13
3.1. Circuit fermé .....	13
3.2. Circuit semi-ouvert.....	14
3.3. Circuit semi-fermé / Adiabatique .....	14
3.4. Bilan .....	15
4. Optimisation des consommations en eau.....	18
5. Programme de surveillance .....	19
6. Actions pour faire face à la sécheresse.....	22
7. Conclusions .....	23
8. Annexe - ZLD (Zero Liquid Discharge) Option .....	24

## Abbreviations

AL	Air Liquide
CAPEX	CApital EXpenditure, total des dépenses d'investissement
EOR	End of Run - Fin de vie de l'installation
MOR	Middle of Run - Milieu de vie de l'installation
MTD	Meilleures Techniques Disponibles
OI	Osmose inverse
OPEX	OPerational EXpenditure, dépenses opérationnelles
PPA	Power Purchase Agreement - Contrat d'approvisionnement en énergie
REN	Energie RENouvelable
SOR	Start Of Run - Début de vie de l'installation
UF	Ultra-Filtration
ZLD	Zero Liquid Discharge - Zero Rejet Liquide

## Préambule

La société Air Liquide Normand'Hy, en cours d'implantation sur la commune de Saint-Jean-de-Folleville (76), projette de construire et d'exploiter une usine de production d'hydrogène renouvelable par électrolyse de l'eau de 200 MW. Aussi, un centre de conditionnement d'hydrogène gazeux sera implémenté sur la parcelle de Normand'Hy afin de décarboner la mobilité lourde.

L'établissement de Saint-Jean-de-Folleville est classé à autorisation au titre de la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) pour les rubriques 3420-a - Production d'hydrogène en quantité industrielle et 4715 - Hydrogène. Il s'agit donc d'un établissement relevant de la directive IED avec pour rubrique principale la rubrique 3420-a - Production d'hydrogène. Le site est également classé à autorisation au titre de la Loi sur l'Eau.

Le projet a fait l'objet d'une demande d'autorisation environnementale en 2020-2021 et d'un arrêté d'autorisation environnementale en date du 10.01.2022 : *Arrêté d'autorisation environnementale du 10 janvier 2022 relatif à l'exploitation d'une usine de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau située à Saint-Jean-de-Folleville et exploitée par H2V Normandy* ainsi que d'une autorisation environnementale complémentaire en date du 25.09.2024.

Conformément à la prescription de l'article 3.1.2 de l'annexe 1 de l'Arrêté Préfectoral du site, le présent document constitue le rapport de l'audit sur l'optimisation de la gestion des flux d'eau de l'usine.

Ce rapport comprend le diagnostic et la synthèse des analyses permettant de couvrir les trois objectifs suivants :

- Gérer de manière optimale les consommations d'eau par rapport aux besoins et aux meilleures techniques disponibles ;
- Disposer d'indicateurs ou d'outils de suivi pertinents et suffisants pour garantir la maîtrise des consommations ;
- Recenser les actions ou dispositions temporaires envisageables pour faire face aux différents niveaux réglementés de sécheresse.

Le diagnostic a été réalisé par une équipe Air Liquide dédiée au sujet :

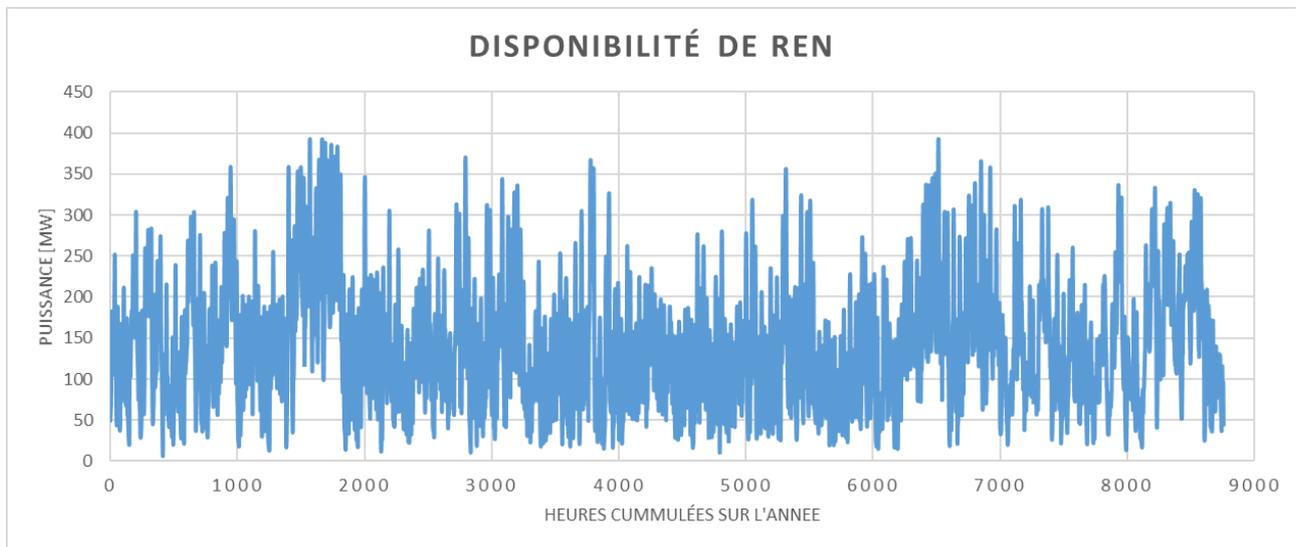
- Liliane HERCULANO - Chef de Projet AL Normand'Hy et Axe Seine
- Clémence Busson - Chef de Projet Axe Seine
- Virginie BADER - Experte métier confirmée "Eau"
- Virginie FEITELSDIN - Experte métier confirmée "Production d'Hydrogène"
- Pauline POEZEVARA - Responsable Evaluation des risques et environnement

## 1. Introduction

### 1.1 Principe de fonctionnement de l'usine

La production d'hydrogène renouvelable par l'électrolyse de l'eau dans le cadre du projet Air Liquide Normand'hy est conditionnée par la disponibilité de l'énergie renouvelable (éolienne et photovoltaïque) qui sera vendue à Air Liquide par un fournisseur d'énergie. Air Liquide a l'obligation d'acheter toute la puissance mise à sa disposition par le fournisseur (même si AL pour une quelconque raison ne peut pas la consommer).

La disponibilité approximative d'énergie renouvelable sur une année entière est présentée sur la courbe ci-après. L'usine d'électrolyse fonctionnera de façon intermittente pour s'adapter aux quantités d'énergie renouvelable disponibles.



Par conséquent, la consommation en eau, qui avec l'énergie constitue la matière première pour la production de l'hydrogène renouvelable, suit les mêmes variations, imposées par la disponibilité d'énergie.

### 1.2 Principe de fonctionnement du centre de conditionnement

Afin de distribuer l'hydrogène à ces clients, Air Liquide France Industrie souhaite déployer un centre de conditionnement de capacité de 8 tonnes par jour permettant de conditionner cet hydrogène renouvelable dans des semi-remorques.

Ce centre de conditionnement d'hydrogène appelé « Centre de conditionnement Axe Seine », comprendra 9 postes de conditionnement des semi-remorques d'hydrogène gazeux à une pression comprise entre 200 et 300 bars.

Destiné à accompagner la montée en puissance notamment de la mobilité hydrogène en France, porté par de grands acteurs et clients d'Air Liquide, tels que les projets de taxis parisien ou de stations poids-lourds,

l'ambition de ce centre de conditionnement est de démarrer de manière concomitante avec l'infrastructure de production d'hydrogène d'Air Liquide courant 2026.

### 1.3 Bilan des prélèvements

Le site de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau Normand'hy basé à Port-Jérôme utilisera de l'eau industrielle pour trois usages :

- **Eau de procédé / ligne de purification** : cette eau sera prétraitée pour être une eau déminéralisée afin d'être électrolysée pour former de l'hydrogène. Afin d'atteindre la qualité requise, plusieurs étapes de prétraitement sont nécessaires. Remarque : des lavages / rétro lavages sont effectués régulièrement sur différents éléments du procédé.
- **Eau de refroidissement** : pour refroidir les électrolyseurs, les machines tournantes dont les compresseurs de dihydrogène ainsi que quelques usages process (purification...).
- **Eau exercice incendie.**

A noter que le centre de conditionnement n'induit pas de prélèvement d'eau industrielle de la Norville pour son procédé car les circuits de refroidissement sont fermés.

Le seul usage prévu est celui lié à l'eau exercice incendie.

Autre usage :

- **Eau potable** - Réseau Caux Vallée de Seine : pour usage de la base vie et des douche de sécurité/rince-oeils de sécurité. La consommation d'eau potable est prévue pour l'usine d'électrolyse Normand'Hy et le centre de conditionnement Axe Seine.

### 1.4 Quantification des usages

Les hypothèses de calcul des consommations en eau de procédé et en eau de refroidissement sont présentées ci-après :

- Concernant les eaux de procédé :
  - La consommation en eau vers les électrolyseurs est basée sur un bilan stoechiométrique consistant en une molécule d'eau produit une molécule de dihydrogène. Par conséquent, le débit d'eau vers les électrolyseurs correspond à la capacité installée d'électrolyse.
  - Un rétro-calcul a été fait afin d'évaluer la consommation en eau d'appoint suite à passage par 2 (deux) passes d'osmose inverse.
- Concernant l'eau de refroidissement :
  - La base du calcul est le besoin en refroidissement en MWh issu du procédé (trains d'électrolyse et utilités, compresseurs, etc..). Ce besoin définit la puissance de la tour de refroidissement, et en particulier un débit d'évaporation.
  - Compte tenu de l'expérience d'Air Liquide sur le site de Sandouville avec l'eau de Norville, Air Liquide prévoit d'opérer les tours à 3,5 de facteur de concentration, avec une régulation acide, le facteur limitant étant l'équilibre calco-carbonique. Un rétro-calcul a été mené pour définir le débit d'appoint.
  - Précision sur les besoins en eau de refroidissement des électrolyseurs :

●

- La consommation en eau de refroidissement est proportionnelle à la charge des électrolyseurs donc directement proportionnelle à l'énergie renouvelable disponible et consommée.
- Les calculs ont été faits sur le cycle de vie complet des électrolyseurs (SOR, MOR et EOR) en considérant un vieillissement identique sur tous les électrolyseurs. Cette approche est conservatrice. En effet, afin de faciliter la maintenance de l'usine, une optimisation des opérations sera réalisée de façon à échelonner ce vieillissement sur les différents électrolyseurs. Cela permettra d'avoir un remplacement phasé des électrolyseurs, et évitera d'atteindre le pic de consommation d'eau de refroidissement simultané sur tous les électrolyseurs. A noter qu'en EOR, un électrolyseur consomme +20% d'eau de refroidissement.
- La température ambiante impacte également le besoin en eau de refroidissement : les conditions estivales ont été considérées pour calculer les besoins en eau de refroidissement.

En synthèse, voici le schéma de procédés des circuits d'eau de procédés et de refroidissement :

Pour 100 MW:

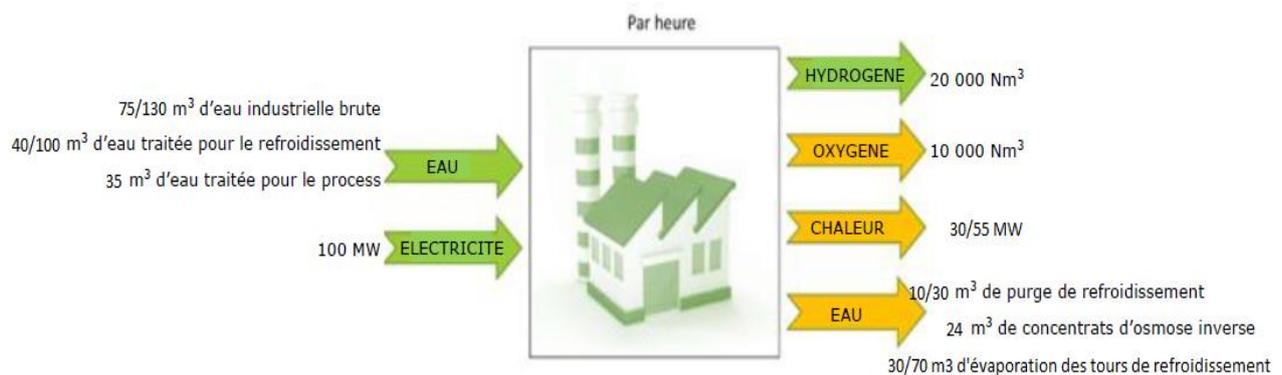


Tableau de synthèse - Consommations d'eau

Origine	Usage	Prélèvements	Consommations / rejets
Réseau d'eau industrielle de Norville  149-265 m <sup>3</sup> /h	Eau de procédé / ligne de purification (dont lavages ; rétro lavages)	65 m <sup>3</sup> /h	Consommation électrolyseurs : 41 m <sup>3</sup> /h Rejets purification : 24 m <sup>3</sup> /h
	Eau de refroidissement (dont rétro-lavages des filtres)	De 84 à 200 m <sup>3</sup> /h (basé sur un facteur de concentration de 3,5)	Evaporation : 60 à 143 m <sup>3</sup> /h Rejets de purges : de 24 à 57 m <sup>3</sup> /h
	Eau exercice incendie	A préciser	
Réseau d'eau potable Caux Vallée de Seine	Eau potable	0,35 m <sup>3</sup> /h	-

- Concernant les eaux usées industrielles, elles comprennent :
  - Eaux usées de l'unité de purification de l'eau : rétrolavage des unités d'ultrafiltration, concentrats d'osmose inverse et de déminéralisation (flux continu)
  - Purges des tours aéroréfrigérantes (flux continu)
  - Rejet d'eau déminéralisée depuis les électrolyseurs (flux intermittent)
  - Purges de rétro nettoyage des filtres en dérivation des tours aéroréfrigérantes (flux intermittent)
  - Rejet d'eau depuis l'unité d'air comprimé (flux intermittent)
  - Périodiquement, flux de lavage des unités d'osmose inverse (CIP)

Elles nécessitent potentiellement un traitement afin de respecter les valeurs limites d'émission et les meilleures techniques disponibles.

L'unité de traitement des eaux usées consiste en les étapes suivantes :

- Les EUI issues de l'unité de purification de l'eau, des électrolyseurs et de l'unité d'air comprimé sont envoyées directement dans la cuve des eaux traitées dans laquelle une correction pH pourra être apportée, si besoin
- Les EUI issues des purges des tours aéroréfrigérantes sont envoyées dans une cuve tampon en amont de filtres à charbons actifs afin d'être envoyées sur ces derniers (si besoin pour élimination des AOX et des DCO) et enfin d'être acheminées vers la cuve des eaux traitées
- Les EUI issues des rétro lavages des filtres des tours aéroréfrigérantes sont envoyées dans une fosse tampon (réduction des MES) ; puis vers la cuve des eaux traitées
-

- Les EUI issues des unités d'osmose inverse (CIP) sont envoyées dans une cuve tampon dédiée pour neutralisation et envoi vers les filtres à charbons actifs dans un second temps et enfin vers la cuve des eaux traitées

Les EUI sont acheminées vers l'unité de traitement des eaux usées puis vers le creux porteur vers la Seine.

Concernant le centre de conditionnement:

Il n'y a pas de rejet d'EUI en continu par le Centre de conditionnement car les échangeurs prévus sur le réseau d'eau de refroidissement des compresseurs fonctionnent en une boucle fermée (2 circuits d'eau avec 1 circuit pour trois compresseurs)

L'eau dans ces circuits en boucle fermée aura une teneur à 40% en MPG (Mono Propylène glycol). Le volume de MPG contenu dans ces circuits sera de 4000 kg. Il n'y aura pas de stockage complémentaire de MPG sur le site.

En cas de maintenance exceptionnelle, ce volume pourra être purgé dans des contenants intermédiaires pour être acheminés et traités en tant que déchets et éliminés via une filière de traitement dédiée.

Par conséquent, les eaux usées industrielles de l'établissement ne sont pas modifiées par l'ajout du projet Axe Seine.

## 2. Eau de procédé

Il existe trois techniques principales pour épurer l'eau :

- la déminéralisation sur résines échangeuses d'ions
- l'osmose inverse par membranes.
- la distillation : cette technique n'est employée aujourd'hui que pour des usages pharmaceutiques (ou des unités de dessalement au moyen Orient). Elle a été écartée.

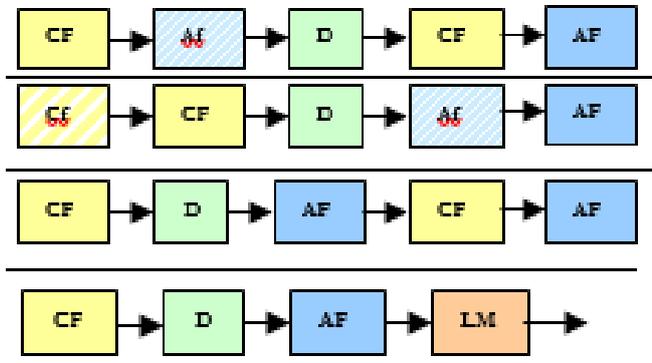
### 2.1 Les résines échangeuses d'ions

Les échangeurs d'ions sont des substances granulaires insolubles, comportant dans leur structure moléculaire des radicaux acides ou basiques susceptibles de permuter, sans modification apparente de leur aspect physique, et sans altération ou solubilisation, les ions positifs ou négatifs, « fixés » sur ces radicaux, contre des ions de même signe se trouvant en solution dans le liquide à leur contact. **Cette permutation appelée échange d'ions** permet de modifier la composition ionique du liquide objet du traitement, sans modification du nombre total de charges existant dans ce liquide avant l'échange.

Lorsque les résines sont dites **saturées** (et qu'elles ne retiennent plus les ions qui devraient être arrêtés), une **régénération** est effectuée par percolation d'une solution concentrée d'ions, soit dans le même sens que la saturation (régénération à co-courant), soit en sens contraire (régénération à contre-courant).

Il existe différents chaînages possibles, avec les résines cationiques faibles, résines cationiques fortes, résines anioniques faibles, résines anioniques fortes, lit mélangés...

Exemples de chaînage :



Légende



La configuration dépend de la qualité d'eau initiale, de la qualité finale souhaitée, de la taille de l'installation, etc...

Dans la pratique, on utilise de l'**hydroxyde de sodium (soude-NaOH)** et de l'**acide chlorhydrique HCl (ou sulfurique H2SO4)** pour régénérer les résines. Les quantités de solutions par type de résines sont données dans le tableau suivant en gramme de produit (pur) par litre de résines :

	g produit / L résine	Co-courant	Contre-courant
<b>Cation fort</b>	H2SO4	100 à 200	50 à 80
	HCl	80 à 150	40 à 60
<b>Cation faible</b>	110 % de la capacité utilisée		
<b>Anion faible</b>	125-130% de la capacité utilisée		
<b>Anion fort type 1</b>	NaOH	100 à 150	60 à 90
<b>Anion fort type 2</b>	NaOH	80 à 120	40 à 60

Source : Suez Handbook

Les volumes de produits chimiques rejetés dépendent du volume de résines, lui-même dépendant du débit que l'on souhaite traiter entre deux régénérations.

Les résines échangeuses d'ions sont donc un procédé efficace pour produire de l'eau déminéralisée, mais :

- Des **réactifs chimiques** (typiquement acide et soude) sont nécessaires pour les régénérations, en quantités non négligeables. Ces réactifs se retrouvent en partie dans les **rejets** (éluats) et sont rarement dans des plages de pH acceptables en l'état par le milieu naturel ou le réseau d'assainissement. Il est alors obligatoire de procéder à la **neutralisation** de ces rejets.

D'autre part, ces réactifs souvent volatils (HCl) et **corrosifs** entraînent être implantés sur des sites particuliers, plus ou moins éloignés du lieu d'exploitation.

Enfin, les quantités importantes de ces produits chimiques nécessitent la mise en place de mesure de **sécurité**, d'autant plus qu'ils sont incompatibles (réaction acide /base).

- **Seuls les composés ioniques par définition sont éliminés** : les composés organiques ou micro organismes (bactéries...) ne sont pas éliminés.

## 2.2 L'osmose inverse par membranes

Les phénomènes d'osmose et d'osmose inverse sont connus depuis une centaine d'années. Il a fallu, toutefois, attendre les années 60 pour voir, avec le développement des membranes synthétiques, la concrétisation industrielle de ces principes. Depuis les années 70, les procédés de séparation par membranes ont connu un développement considérable par

- le nombre de membranes développées puis mises sur le marché,
- leurs performances et donc leur potentiel d'applications industrielles aussi bien dans le traitement des eaux que celui d'autres fluides.

Les unités d'osmose inverse (OI) sont devenues extrêmement courantes désormais. Une **membrane d'OI idéale ne permet que le passage de l'eau rejetant tous les solutés**, à l'exception de quelques molécules organiques très voisines de l'eau. Ceci implique que par définition, de l'eau "pure" est produite (le perméat) et qu'un flux contenant les solutés est rejeté (concentrat). Le **taux de conversion** (débit de perméat / débit d'entrée) est typiquement de l'ordre de **75 %** sur une eau industrielle. Il est limité par les indices de saturation des différents minéraux. Dans le cas de Normand'hy, l'élément limitant est la précipitation du carbonate de calcium; La saturation sera décalée par l'emploi d'un réactif antitartre en entrée des membranes et l'ajout d'acide en entrée afin de déplacer l'équilibre calco-carbonique.

Les membranes d'osmose inverse ne laissant quasiment passer que de l'eau, elles arrêtent également les molécules organiques et les bactéries. Le point est très important pour les électrolyseurs, qui nécessitent une eau ultra-pure, ne contenant pas de composés organiques ni de microorganismes.

## 2.3 Bilan

Tableau de synthèse - Technologies de purification de l'eau

	Résines échangeuse d'ions	Osmose inverse
<b>Quantité de produits chimiques utilisée</b>	++++ Acide / soude concentrés pour les régénération	+ Antitartre, Acide pour pH environ 7 - 7,5 en entrée osmose
<b>Rejets</b>	Bassin nécessaire pour tamponner et neutraliser	Conforme à l'arrêté d'Autorisation Environnementale du 10.01.2022
<b>Sécurité</b>	Risque chimique acide / soude en quantité importante	Produits chimiques que lors des nettoyages (typiquement 3 fois par an)
<b>Quantité d'eau consommée</b>	Débit entrée = Débit sortie Eau additionnelle seulement pour les régénérations	25 % de concentrat, recyclage partiel
<b>Performances : qualité d'eau d'un point de vue séparation ionique (conductivité)</b>	++++ avec un lit mélangé en fin de chaîne.	++ Une phase de polissage sera nécessaire
<b>Performances : qualité d'eau - matières organique</b>	Pas d'effet -> Nécessite une étape supplémentaire : charbon actif...	Très bonnes
<b>Performances : qualité d'eau - microbiologie</b>	Pas d'effet, voire effet négatif ("nids à bactéries") -> Biocide nécessaire / UV	Très bonnes

Sur la base des éléments ci-dessus, **Air Liquide a retenu l'option d'une ultrafiltration, de deux passes d'osmose inverse, suivi d'un polissage**. Cette option présente un moindre impact en termes de produits dangereux utilisés et présente les performances suffisantes pour atteindre le niveau de pureté requis pour les électrolyseurs.

### 3. Eau de refroidissement

Plusieurs options ont été envisagées par les équipes projets pour le système de refroidissement :

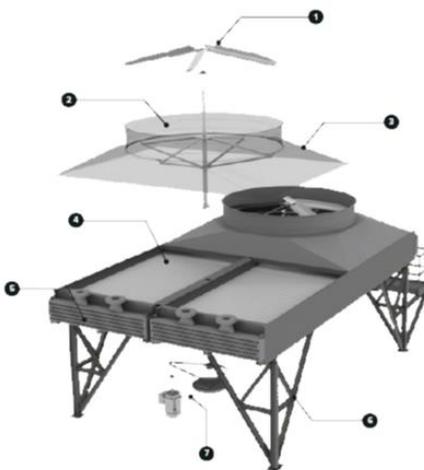
- Circuit semi-ouvert (avec tours de refroidissement aéroréfrigérante)
- Circuit fermé (refroidissement avec de l'air)
- Circuit semi-fermé / Adiabatique

Pour chaque option, les critères suivants ont été considérés :

- Coût d'investissement
- Coût d'opération et de maintenance, incluant les coûts énergétiques
- Performances thermiques
- Consommations d'eau
- Consommation de produits chimiques / impact environnemental
- Tailles des installations / surfaces requises
- Références aux MTDs

#### 3.1. Circuit fermé

L'option de refroidissement par circuit fermé a été étudiée. Dans cette configuration, les machines sont refroidies par l'eau du circuit, qui est elle-même refroidie par des aéroréfrigérants secs (ventilateurs refroidissants des tubes ailetés).



Si ce système a le grand avantage de ne pas consommer d'eau (uniquement eau au remplissage du circuit), d'un point de vue thermique, leur performance est limitée : on ne peut pas atteindre une température d'eau de refroidissement plus basse que celle de l'air ambiant. Ceci peut poser problème en été lors d'épisodes très chauds / de canicule.

Le principe de refroidissement est basé uniquement sur la chaleur sensible. Ce sont donc des designs très gourmands en énergie, et donc en coût d'opération.

Par ailleurs, pour ces capacités de refroidissement importantes, cela demande une surface de terrain étendue.

Source : Kelvion

### 3.2. Circuit semi-ouvert

Dans un circuit semi-ouvert (tour aéroréfrigérante), la majeure partie du refroidissement est basée sur le principe de l'évaporation de l'eau. La chaleur latente d'évaporation de l'eau (enthalpie) est très importante, en comparaison avec la chaleur sensible, et de ce fait ces systèmes sont les plus performants : c'est à dire qu'ils permettent d'atteindre des températures plus basses (plus faible que celle de l'air ambiant en été) et sont les moins consommateurs d'énergie.

L'eau évaporée est compensée par une eau d'appoint. Une purge continue est également effectuée afin de maîtriser la concentration de l'eau et les précipitations liées aux dépassements des seuils de saturation des composés chimiques (solubilité).

Sur les eaux de Normandie, le facteur limitant la concentration est le carbonate de calcium ("tartre"). Afin de réduire les prélèvements d'eau, il est possible de déplacer l'équilibre calco-carbonique en ajoutant de l'acide. Air Liquide a l'expérience de tour aéroréfrigérante en Normandie, alimentée par l'eau de la Norville, qu'il est possible d'opérer à un facteur de concentration de 3,5 avec ajout d'acide sulfurique.

Les circuits semi-ouverts sont des systèmes compacts, efficaces, mais consommateurs d'eau par principe.

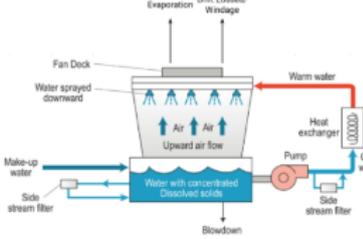
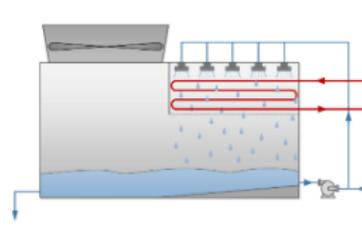
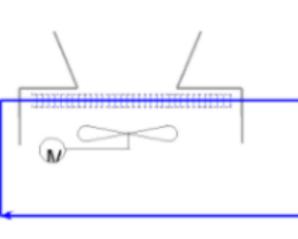
### 3.3. Circuit semi-fermé / Adiabatique

Une tour adiabatique fonctionne en hiver sur le même principe qu'un circuit fermé. Cependant, quand la température de l'air devient trop importante, on humidifie des médias : l'évaporation de l'eau sur ces médias va créer un air plus frais, permettant d'atteindre de meilleures performances thermiques.

L'eau ajoutée sur les médias est partiellement recirculée et non traitée. Ainsi, si les consommations d'eau sont nulles en hiver, en été, les consommations peuvent être ponctuellement plus élevées que sur celle d'une tour de refroidissement. Les consommations énergétiques sont plus élevées également, ainsi que le coût d'installation.

### 3.4. Bilan

Les différentes options étudiées sont résumées dans les tableaux suivants :

<b>Semi-Open System</b> Vendor: SCAM (Partial offer received)	<b>Semi-Closed System</b> Vendor: Alfa Laval (Updated offer to be received)	<b>Closed System (Air Cooler)</b> Vendor: Kelvion (Updated offer to be received)
		
<p><b>Advantages:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAPEX</li> <li>• Compact sizes</li> </ul> <p><b>Disadvantages:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Water consumption</li> <li>• Chemicals needed</li> </ul>	<p><b>Advantages:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAPEX (cheaper than closed system)</li> <li>• Compact sizes</li> </ul> <p><b>Disadvantages:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAPEX (more expensive than CW tower)</li> <li>• Water+Power consumption</li> </ul>	<p><b>Advantages:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No water &amp; chemicals</li> <li>• Modularity</li> </ul> <p><b>Disadvantages:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Higher CAPEX</li> <li>• Bigger sizes</li> <li>• Cooling difficulties if T dry bulb &gt;30 degree</li> </ul>

Sur la base des éléments ci-dessus, **Air Liquide a choisi l'option d'un circuit semi-ouvert**, qui est le moins consommateur d'énergie et le plus performant d'un point de vue thermique.

Les Meilleures Techniques Disponibles (MTDs) sur le sujet ont été étudiées (Document de référence sur les meilleures techniques disponibles Systèmes de refroidissement industriels Décembre 2001). Les tableaux de synthèse des options possibles sont copiés ci-après. L'option des circuits semi-ouvert est surlignée en jaune. Le tableau I présente une synthèse de choix possibles en fonction de la puissance des installations et des températures de process attendues. Le choix du circuit semi-ouvert (aéroréfrigérant en circuit ouvert, système direct), fait partie des MTD et est en cohérence avec les contraintes techniques applicables au projet. En termes d'impact environnemental (Tableau 3.1) et d'émission de CO<sub>2</sub> (Tableau 3.2), le choix effectué semble le plus cohérent.

**Tableau 1: Caractéristiques techniques et thermodynamiques des différents systèmes de refroidissement industriel (centrales électriques exclues)**

Système de refroidissement	Réfrigérant	Principal mode de réfrigération	Approche minimale (K) <sup>4)</sup>	Température finale minimale du fluide de procédé pouvant être atteinte <sup>3)</sup> (°C)	Puissance du procédé industriel (MW <sub>a</sub> )
Système ouvert à une passe - système direct	Eau	Conduction/Convection	3 – 5	18 – 20	<0,01 -> 2000
Système ouvert à une passe - système indirect	Eau	Conduction/Convection	6 – 10	21 – 25	<0,01 -> 1000
Aéroréfrigérant en circuit ouvert - système direct	Eau <sup>1)</sup> Air <sup>2)</sup>	Evaporation <sup>3)</sup>	6 – 10	27 – 31	< 0,1 -> 2000
Aéroréfrigérant en circuit ouvert - système indirect	Eau <sup>1)</sup> Air <sup>2)</sup>	Evaporation <sup>3)</sup>	9 – 15	30 – 36	< 0,1 -> 200
Aéroréfrigérant en circuit fermé humide	Eau <sup>1)</sup> Air <sup>2)</sup>	Evaporation + convection	7 – 14 <sup>7)</sup>	28 – 35	0,2 – 10
Aéroréfrigérant en circuit fermé sec	Air	Convection	10 – 15	40 – 45	< 0,1 – 100
Aéroréfrigérant en circuit ouvert humide sec	Eau <sup>1)</sup> Air <sup>2)</sup>	Evaporation + convection	7 – 14	28 – 35	0,15 - 2,5 <sup>6)</sup>
Aéroréfrigérant humide sec	Eau <sup>1)</sup> Air <sup>2)</sup>	Evaporation + convection	7 – 14	28 – 35	0,15 - 2,5 <sup>6)</sup>

Notes:

- 1) L'eau est le fluide de refroidissement secondaire et elle est en grande partie remise en circulation. En s'évaporant, l'eau transmet la chaleur à l'air.
- 2) L'air est le caloporteur qui transmet la chaleur dans le milieu ambiant.
- 3) L'évaporation constitue le principal mode de refroidissement. La chaleur est également transférée dans de moindres proportions par conduction/convection.
- 4) Approches concernant la température sèche ou humide. Les approches de l'échangeur de chaleur et de la tour de refroidissement doivent être additionnées.
- 5) Les températures finales dépendent du climat local (ces données sont valables pour des conditions climatiques moyennes prévalant en Europe de 30°/21°C pour les température sèche et humide et 15°C maximum pour la température de l'eau).
- 6) Capacité des petites unités. Des capacités plus élevées peuvent être obtenues en combinant plusieurs unités ou en installant des systèmes de refroidissement spéciaux.
- 7) En cas de système indirect ou de convection, l'approche augmente dans cet exemple de 3 à 5 K, ce qui a pour effet d'accroître la température de procédé.

Tableau 3.1 : Problèmes environnementaux des différents systèmes de refroidissement

[tm001, Bloemkolk, 1997]

Système de refroidissement	Consommation d'énergie (directe) (§ 3.2)	Besoins en eau (§ 3.3) <sup>(1)</sup>	Entraînement des poissons <sup>(2)</sup> (§ 3.3)	Émissions dans l'eau de surface.		Émissions dans l'air (directes) (§ 3.5)	Formation de panache (§ 3.5)	Bruit (§ 3.6)	Risque		Résidus (§ 3.8)
				Chaleur (§ 3.3)	Additifs (§ 3.4)				Fuite (§ 3.7)	Risque micro bio. (santé) (§ 3.7)	
Refroidissement à passage unique (circuit direct)	Faible	++	+	++	+ (biocides)	--	--	--	++	--/faible	+ <sup>(6)</sup>
Refroidissement à passage unique (circuit indirect)	Faible	++	+	++	+ (biocides)	--	--	--	Faible	--/faible	+ <sup>(6)</sup>
Tour de refroidissement ouverte par voie humide (circuit direct)	+	+	--	Faible	+ <sup>(3)</sup>	Faible (dans le panache)	+	+	+	+	--/faible
Tour de refroidissement ouverte par voie humide (circuit indirect)	+	+	--	Faible	+ <sup>(3)</sup>	Faible (dans le panache)	+	+	Faible	+	+
Tour de refroidissement ouverte par voie humide/sèche	+	Faible	--	Faible	Faible <sup>(3)</sup>		-- <sup>(5)</sup>	+	Faible	?	+
Tour de refroidissement par voie humide en circuit fermé	+	+	--	--	Faible	Faible <sup>(4)</sup> (dans le panache)	--	+	Faible	Faible	--/faible
Refroidissement par voie sèche en circuit fermé	++	--	--	--	--	/Faible	--	++	Faible	--	--
Refroidissement par voie humide/sèche en circuit fermé	+	Faible	--	--	Faible <sup>(3)</sup>	Faible	--	Faible	Faible	Faible	/faible

## 4. Optimisation des consommations en eau

Afin de minimiser les prélèvements en eau, les points de design suivants sont envisagés par Air Liquide :

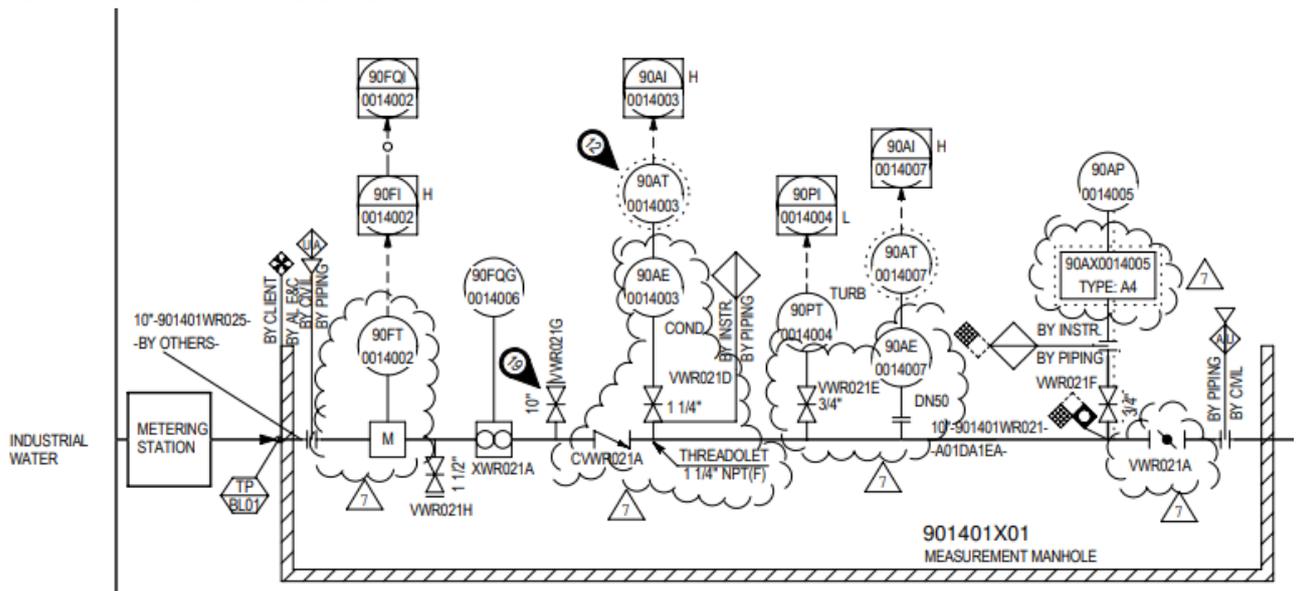
- **Eau de procédé**
  - Les procédés membranaires sont sensibles aux variations de la température de l'eau. En effet, la viscosité de l'eau augmente avec la baisse de température, réduisant le flux d'eau au travers les membranes. Il est donc envisagé de réchauffer l'eau de procédé via un échangeur de chaleur. Les calories du procédé seront transférées en partie à la chaîne de production d'eau "pure". Ceci réduira également le besoin de refroidissement de la tour.
  - Un traitement antitartre et éventuellement acidification sera mis en tête de la première passe d'osmose. L'objectif est d'optimiser le taux de conversion à 70-75%.
  - Les concentrats de la deuxième passe de l'osmoseur (10 % du débit d'entrée), seront recyclés en tête de la première passe. En effet, leur qualité est meilleure que l'eau d'entrée de la première passe.
  - Un recyclage des condensats de procédés (condensats des ballons inter-étages des compresseurs, de la torchère, de l'unité de purification de l'H<sub>2</sub> etc) vers la boucle d'eau de refroidissement semi-ouverte (bassin d'eau) est également à l'étude afin de limiter le prélèvement d'eau industrielle.
  - Il sera étudié la faisabilité du recyclage des concentrats de la première passe de l'osmoseur (25-30%) en rétrolavage des filtres.
  
- **Eau de refroidissement**
  - Une acidification de l'eau de refroidissement est prévue, afin de décaler l'équilibre calco-carbonique et d'optimiser le facteur de concentration de la tour à 3,5 (NB: certains autres facteurs peuvent s'avérer limitant, tels que les chlorures - géré par le choix de la métallurgie des matériaux, notamment lors des épisodes de grandes marées).

## 5. Programme de surveillance

Le programme de surveillance prévu actuellement est en ligne avec les prescriptions de notre autorisation environnementale.

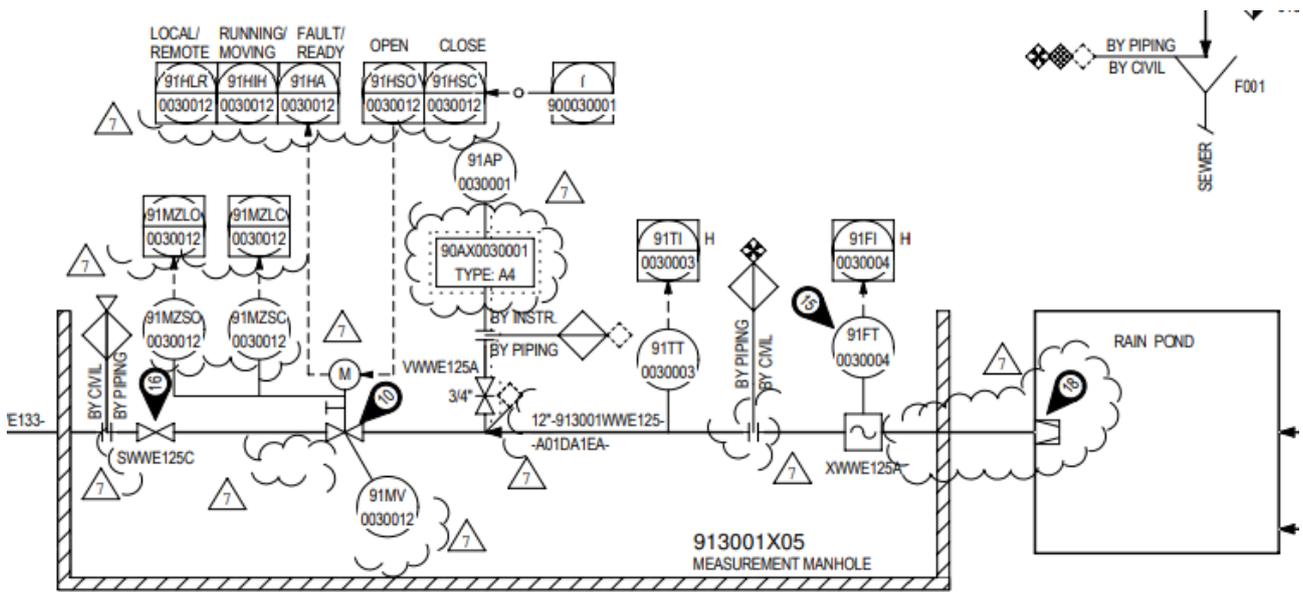
Connexion à l'eau industrielle:

- Un débitmètre (90FT0014002) ainsi qu'un totaliseur (90FQG0014002) sont installés sur la ligne d'alimentation de la future usine.



Concernant les analyses faites en sortie du bassin de collecte des eaux pluviales:

- Un débitmètre 91FT0030004
- Un transmetteur de température 91TT0030003
- Un analyseur: 91AP0030001 afin de réaliser les Prélèvement ponctuel sur un échantillon représentatif
- Une vanne est également prévue 91MV0030012 afin de sectionner le débit en cas d'incendie afin de retenir les eaux d'extinction

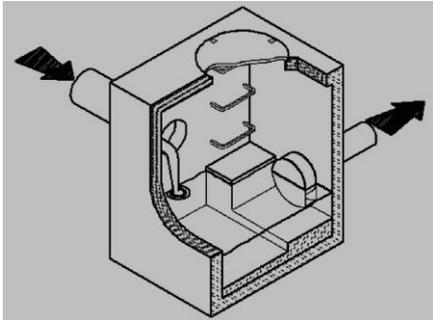


Concernant les analyses faites sur la ligne des eaux usées industrielles, les analyses sont faites en sortie de l'unité de traitement des eaux usées industrielles de la façon suivante:

- Débitmètre: 91FT0030506
- Un transmetteur de température: 91TT0030502
- Un analyseur de PH: 91AT0030504
- Un turbidimètre: 91AT0030503
- Un échantillonneur 24H.



A noter, le réducteur de débit mécanique limitant le débit des eaux pluviales et installé en sortie du bassin est le suivant (vortex vertical):



## 5.1 Rejets en eaux de procédés

Les concentrations et flux des rejets en eaux de procédés seront comme stipulés dans l'AP du 25-09-2024.

## 6. Actions pour faire face à la sécheresse

Concernant les eaux de procédé et de refroidissement, leurs consommations sont déjà optimisées par design, si bien qu'en cas de réglementation sécheresse imposant une réduction de la consommation d'eau (quel que soit le niveau d'alerte), la seule possibilité d'adaptation du site sera la diminution de la production d'hydrogène de l'usine.

A noter que par contrat, l'unité devra opérer en fonction de la disponibilité d'énergie renouvelable. Par conséquent, cette mesure de réduction impactera les performances financières du projet car les MW renouvelables ne seront pas utilisés bien que payés.

Aussi, la diminution de la production aura un impact sur la disponibilité des volumes en hydrogène renouvelable vers les Clients d'Air Liquide ayant pour conséquence une compensation avec des molécules d'hydrogène bleu et gris des usines de Port Jérôme et de Gonfreville. Cette mesure aura donc également un impact environnemental défavorable en termes d'émissions de CO<sub>2</sub>.

Remarque : en cas d'alerte sécheresse, Air Liquide pourra reporter ses exercices incendie.

En référence à l'[arrêté sécheresse du 30 juin 2023](#), il est indiqué :

“Ne sont pas soumis aux dispositions de l'article 2 :

1° Les installations nécessaires aux activités suivantes : [...]

2° Les exploitants des établissements ayant réduit leur prélèvement d'eau d'au moins 20 % depuis le 1er janvier 2018 ;

3° Les exploitants des établissements utilisant au moins 20 % d'eaux réutilisées par rapport à leur prélèvement d'eau, sous réserve du respect des exigences sanitaires et environnementales en vigueur ;

4° Les exploitants des établissements nouvellement autorisés ou enregistrés depuis le 1er janvier 2023.”

L'usine étant optimisée par conception et l'APC relatif au changement de technologie étant émis depuis le 25-09-2024 démontrant les recycles faits pour diminuer le prélèvement et l'usage des MTDs, Air Liquide comprend que Normand'Hy et Axe Seine ne seront pas soumis à l'arrêté sécheresse.

## 7. Conclusions

Les différentes études menées par Air Liquide conduisent aujourd'hui aux choix suivants :

- **Eau de procédé : ultrafiltration, deux passes d'osmose inverse, suivi d'un polissage.**
- **Eau de refroidissement : tours aéroréfrigérantes.**
- **Eau de rejet : bassin de décantation**

Ces options nous semblent aujourd'hui les meilleures options techniques, considérant les performances thermiques / techniques, les consommations en énergie, les coûts d'installation, la surface disponible et l'impact sur l'environnement. Par ailleurs, l'optimisation des consommations en eau est étudiée : optimisation des taux de conversion (osmose) / concentration (tour), possibilité de recyclage, optimisation des flux.

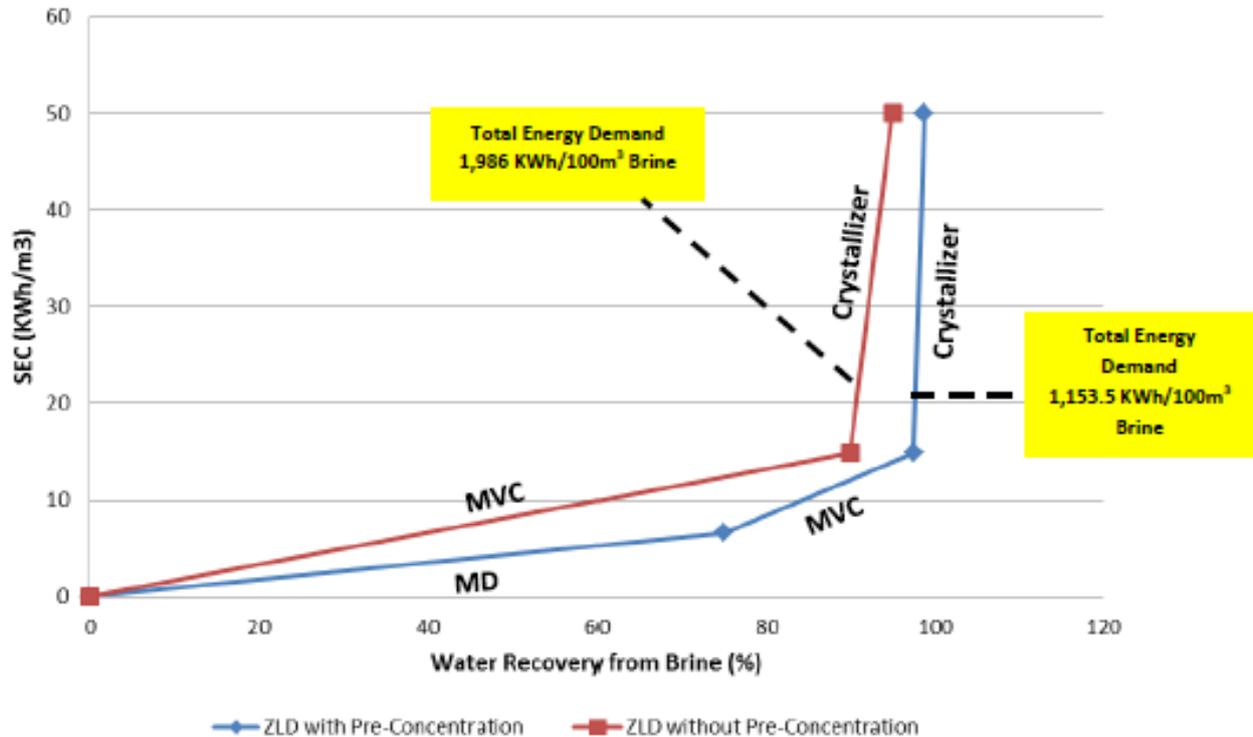
Le programme de surveillance prévu actuellement est en ligne avec les prescriptions de notre autorisation environnementale.

Concernant les dispositions en cas de pénurie sécheresse, la consommation d'eau étant déjà optimisée par design, la seule possibilité d'adaptation du site sera la diminution de la production d'hydrogène de l'usine, avec des impacts financiers et environnementaux défavorables.

-----

## 8. Annexe - ZLD (Zero Liquid Discharge) Option

Les unités sans rejet aqueux (ZLD - Zero Liquid discharge) sont des procédés extrêmement complexes. Plusieurs choix technologiques sont possibles. Le schéma ci-après résume les impacts sur les débits et sur les coûts énergétiques de chaque étape, d'un schéma technologique performant, applicable à des rejets de tours aéroréfrigérantes :



MD : Membrane distillation  
MVC : Mechanical vapor Compression  
SEC: Specific Energy Consumption

Source : Lenntech

L'ordre de grandeur de la consommation d'énergie est de **50 kWh/m<sup>3</sup>** pour un rendement total de 95%. **Le débit de purge varie de 24 à 57 m<sup>3</sup>/h, soit 1200 à 2850 kWh/m<sup>3</sup>, soit 2,85 MWh/m<sup>3</sup> pour le site de Normand'hy.**

Le coût de design n'est pas négligeable (10 % du CAPEX en moyenne), ainsi que l'investissement matériel très important, car les concentrats sont très corrosifs et requièrent des matériaux spécifiques. Ces procédés complexes, multi-étapes, nécessitent également une grande surface disponible. Dans le cas de Normand'hy, ce projet n'a pas fait l'objet d'une étude détaillée, car **l'ensemble de ces coûts d'investissement et les consommations énergétiques nécessaires auraient définitivement mis un terme au projet.**