



EUROSWAC

Spécification de conception pour les travaux de génie civil onshore et offshore nécessaires pour un système SWAC innovant

Réf. 216-T2.1-DMA-004

Réf. ENG-PHQ-21-288-RE-004

Ce document est traduit de l'anglais.

Dans la mesure du possible nous vous conseillons la lecture de la version originale.

Ce document a été rédigé par et est la propriété des partenaires EUROSWAC et d'Interreg France (Manche) Angleterre. Il ne peut être reproduit ou communiqué à des tiers sans l'accord préalable et écrit des partenaires EUROSWAC et d'Interreg France (Manche) Angleterre.

Ver.	Statut	Date	Auteur	Description	Vérificateur	Approbateur
00	A	27/03/2023	B. NOGUERRA	Approuvé	C. GAILLARD	F. GIRAUD

A = Émis pour commentaires - B = Émis pour approbation - C = Approuvé

Table des matières

1.	Introduction	4
2.	Abréviations et définitions.....	4
3.	Références / bibliographie.....	4
4.	Méthodologie.....	5
5.	Étude de cas sur la conception du système SWAC	7
5.1	Configuration 1 – Circuit ouvert usine-mer	7
5.2	Configuration 2 – Circuit ouvert usine-mer avec turbine	8
5.3	Configuration 3 – Circuit fermé avec eau douce	9
5.4	Station de pompage.....	10
5.4.1	Station de pompage sous-marine	10
5.4.2	Station de pompage dans un puits profond à terre.....	11
5.5	Station d'échange de chaleur.....	13
5.5.1	Configuration 1	15
5.5.2	Configuration 2	15
5.5.3	Configuration 3	16
5.6	Tracés des conduites.....	17
5.6.1	Tracé de la conduite souterraine	17
5.6.2	Tracé de la conduite sous-marine.....	17
5.6.3	Traversée de rivage par les conduites sous-marines	17
5.7	Installation client.....	17
5.7.1	Exemple d'outil d'assistance	18
5.8	Système de commande.....	21
5.9	Alimentation électrique	21
5.10	Conduite de captage et d'évacuation	21
5.10.1	Sélection des matériaux pour les conduites	22
5.10.2	Dimensionnement du diamètre/épaisseur de la paroi.....	23
5.10.3	Stabilité du pipeline	24
6.	Évaluation de l'efficacité du SWAC	25
7.	Éléments concernant les méthodes d'installation.....	26
7.1	Conduite souterraine	26
7.2	Conduite sous-marine.....	26
7.2.1	Relevé et préparation du sol.....	26
7.2.2	Préparation des sections de conduites.....	27
7.2.3	Immersion contrôlée.....	29

7.2.4	Fabrication et installation de bobines de raccordement.....	30
7.3	Travaux maritimes et sous-marins.....	30
8.	Permis	31
9.	Conditions environnementales.....	31
9.1	Température de l'eau de mer	31
9.2	Qualité de l'eau de mer.....	32
9.3	Courants.....	32
9.4	Profondeur d'eau	33
9.5	Vagues.....	33
10.	Évaluation économique	34
10.1	Efficacité énergétique	34
10.2	Analyse de coût.....	35
11.	Avantages et inconvénients des 3 solutions.....	36
11.1	Solution 1	37
11.2	Solution 2	37
11.3	Solution 3	37
12.	Planification de projet.....	38
13.	Test et mise en service du système	38
14.	Entretien et surveillance	39

1. Introduction

Les systèmes de climatisation à eau de mer (SWAC) exploitent les ressources en eau de plans d'eau environnants pour répondre aux besoins de chauffage ou de refroidissement via un système d'échangeur de chaleur.

Les systèmes SWAC sont des centrales terrestres composés de conduites de captage et d'évacuation qui traversent la côte et qui sont déployées au fond de la mer ou de l'océan. Le SWAC remplace ou améliore les refroidisseurs utilisés dans les systèmes de climatisation conventionnels visant à réduire considérablement la consommation d'électricité ainsi que les coûts de refroidissement.

Ce rapport décrit les principales étapes de la conception d'un système SWAC.

Ce rapport décrit les alternatives de conception SWAC et les critères d'évaluation à travers 3 études de cas génériques.

2. Abréviations et définitions

CA	Climatisation
AHT	Remorqueur de manutention d'ancre
FLIC	Coefficient de performance
HDD	Forage directionnel horizontal
PEHD	Polyéthylène de haute densité
ITT	Appel d'offres
LAT	Marée astronomique la plus basse
MSL	Niveau moyen de la mer
MWth	Mégawatt thermique
nm	Miles nautiques
OD	Diamètre extérieur
ROV	Véhicule télécommandé sous marin
PR	Période de renvoi
DTS	Rapport de dimension standard
SWAC	Climatisation à l'eau de mer
WT	Épaisseur du mur

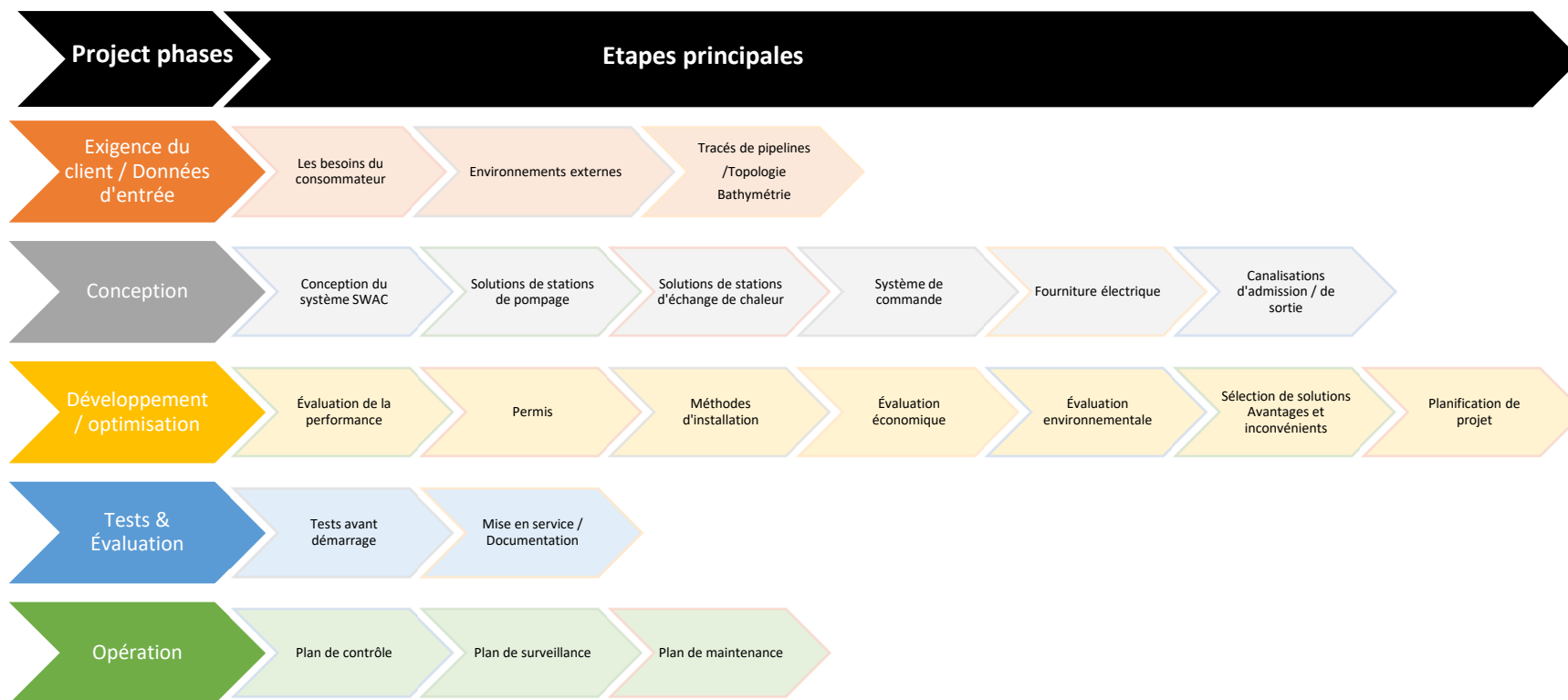
3. Références / bibliographie

Ref	Reference Document	Revision	Title
1.	ISBN 978-1-56700-251-5	4th Revised	Handbook of hydraulic resistance, I.E. Idelchick
2.	ISBN 2-212-01894-0	10/1995	Hydraulique générale / Armando Lecastre
3.	EN112201-1&2		Systèmes de canalisations en plastique pour l'alimentation en eau et pour les branchements et les collecteurs d'assainissement avec pression - Polyéthylène (PE)
4.	ISO 4427:E part 1 & 2		Systèmes de canalisations en plastique destinés à l'alimentation en eau et aux

			branchements et collecteurs d'assainissement sous pression
5.	ISO 12176-1		Tubes et raccords en matières plastiques – Appareillage pour l'assemblage par soudage des systèmes en polyéthylène Partie 1 : Soudage bout à bout
6.	EN 1610		Mise en œuvre et essai des branchements et canalisations d'assainissement
7.	EN - 641		Tuyaux pression en béton armé à âme en tôle, joints et pièces spéciales compris
8.	EN - 639		Prescriptions communes pour tuyaux pression en béton y compris joints et pièces spéciales.
9.	ISO 2531:2009		Tuyaux, raccords et accessoires en fonte ductile et leurs assemblages pour l'eau
10.	EN 545-2010		Tuyaux, raccords et accessoires en fonte ductile et leurs assemblages pour canalisations d'eau - Prescriptions et méthodes d'essai
11.	IMCA S 003	2015	International Marine Contractor's Association, Guidelines for the use of MBES echo-sounders for offshore survey
12.	DNV-RP-F109		On-bottom Stability of submarine pipeline Systems
13.	DNV-RP-C205	09/2021	Environmental conditions and environmental loads
14.	Eurocode 7, Part 2	EN 1997- 2	Geotechnical design – Ground investigation and Testing
15.	ASTM D2488	17	Standard Practice for Description and Identification of Soils
16.	ISO 1901-8		Industries du pétrole et du gaz naturel – Exigences spécifiques relatives aux structures en mer – Partie 8: Investigations des sols en mer
17.	Pipelife	2013	Technical catalogue for submarine installation of polyethylene pipe
18.	Simona	2020	Engineering Manual for Piping Systems
19.	Bonna TP		Le tuyau en béton armé à âme en tôle – Tuyau pression
20.	PAM – St Gobain	2015	Catalogue HydroClass

4. Méthodologie

L'organigramme suivant vise à présenter les étapes clés pour concevoir et spécifier un SWAC. Les étapes principales sont détaillées dans des sections dédiées.



5. Étude de cas sur la conception du système SWAC

L'architecture du système SWAC est affectée par plusieurs paramètres :

- Le site (emplacement à proximité de l'eau)
- L'installation client existante,
- La charge de refroidissement,
- La station de pompage,
- La station d'échange de chaleur,
- Le système de commande,
- L'alimentation électrique,
- Les tracés des conduites,
- Les conduites de caputage et d'évacuation,
- L'entretien et la réparation.

Différentes configurations sont possibles mais seuls trois exemples types sont abordés dans les sections suivantes.

5.1 Configuration 1 – Circuit ouvert usine-mer

Pour cette conception, l'eau de mer froide est directement amenée de la mer à l'échangeur de chaleur de l'installation du client à l'aide de pompes. Une fois que l'eau de mer a traversé l'échangeur de chaleur, elle retourne directement à la mer par une conduite d'évacuation dédiée.

Remarque : Pour éviter l'effet de vide dans le système SWAC en cas d'arrêt d'urgence, une soupape de surpression peut être installée dans l'installation du client.

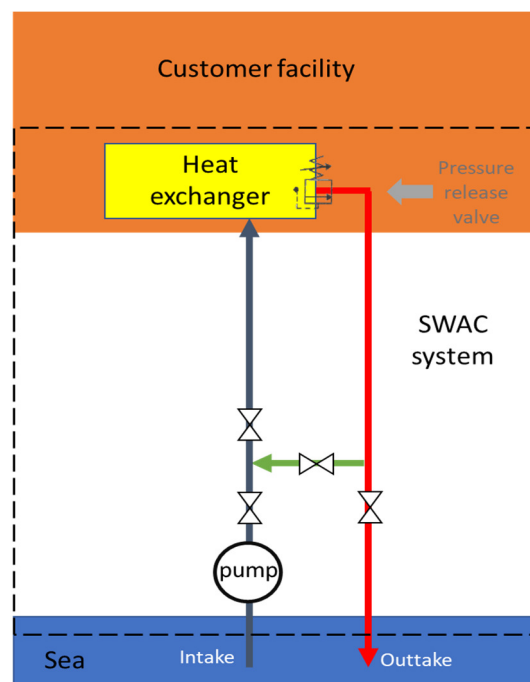


Figure 1 Conception SWAC - Configuration 1

5.2 Configuration 2 – Circuit ouvert usine-mer avec turbine

Cette solution est une variante de la configuration précédente qui implémente une turbine à eau en bout de conduite de rejet afin de récupérer l'énergie lorsque l'altitude de l'installation du client est élevée optimisant ainsi les besoins en électricité du système SWAC.

Nota : Afin d'assurer la chute de l'eau de mer dans la conduite de refoulement, d'éviter les risques de vide et de maximiser l'utilisation de la turbine, le fluide sortant de l'échangeur de chaleur de l'installation doit être à la pression atmosphérique.

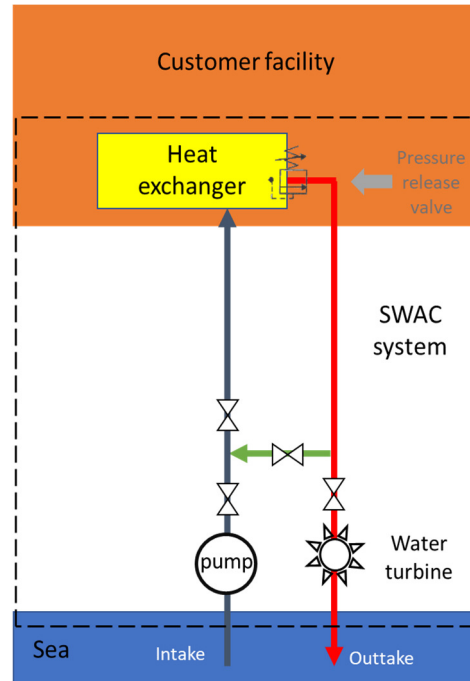


Figure 2 Conception SWAC - Configuration 2

5.3 Configuration 3 – Circuit fermé avec eau douce

Pour cette conception, le système SWAC est composé d'un circuit principal fermé contenant de l'eau douce, qui est refroidi par un second circuit ouvert d'eau de mer. Le même circuit de dérivation présenté dans les autres configurations est intégré dans cette conception, en cas de maintenance de la pompe à eau de mer ou de l'échangeur de chaleur entre les deux circuits.

Remarque : Pour cette solution, une augmentation importante de la pression est attendue dans la partie la plus basse de la boucle, à la fois dans la conduite descendante et montante (typiquement, cela peut atteindre environ 20 bars à l'extrémité de la conduite de retour en fonction de l'altitude de l'installation du client). Ce type de pression doit être pris en compte lors de la conception des conduites/laisons de type lyre à cet endroit.

De plus, les échangeurs de chaleur à plaques doivent être évités. L'échangeur tubulaire est préféré car il permet une pression différente entre les circuits.

Enfin, l'ajout d'adjuvant frigorigifique dans le circuit d'eau douce en boucle fermée pourrait être envisagé pour augmenter l'efficacité de ce dernier.

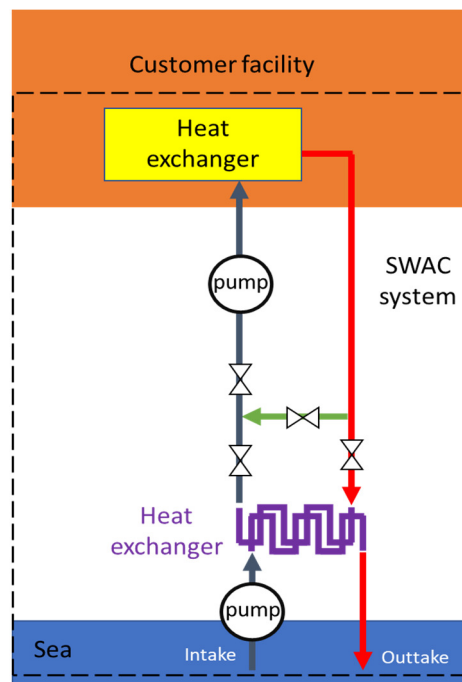


Figure 3 Conception SWAC - Configuration 3

5.4 Station de pompage

La station de pompage est utilisée pour déplacer l'eau de mer à travers le système, de la prise d'eau à la station d'échange de chaleur.

La station de pompage joue un rôle crucial dans le fonctionnement global du système SWAC, sa conception et son fonctionnement doivent être soigneusement étudiés. Les principales caractéristiques à prendre en compte concernant la station de pompage sont :

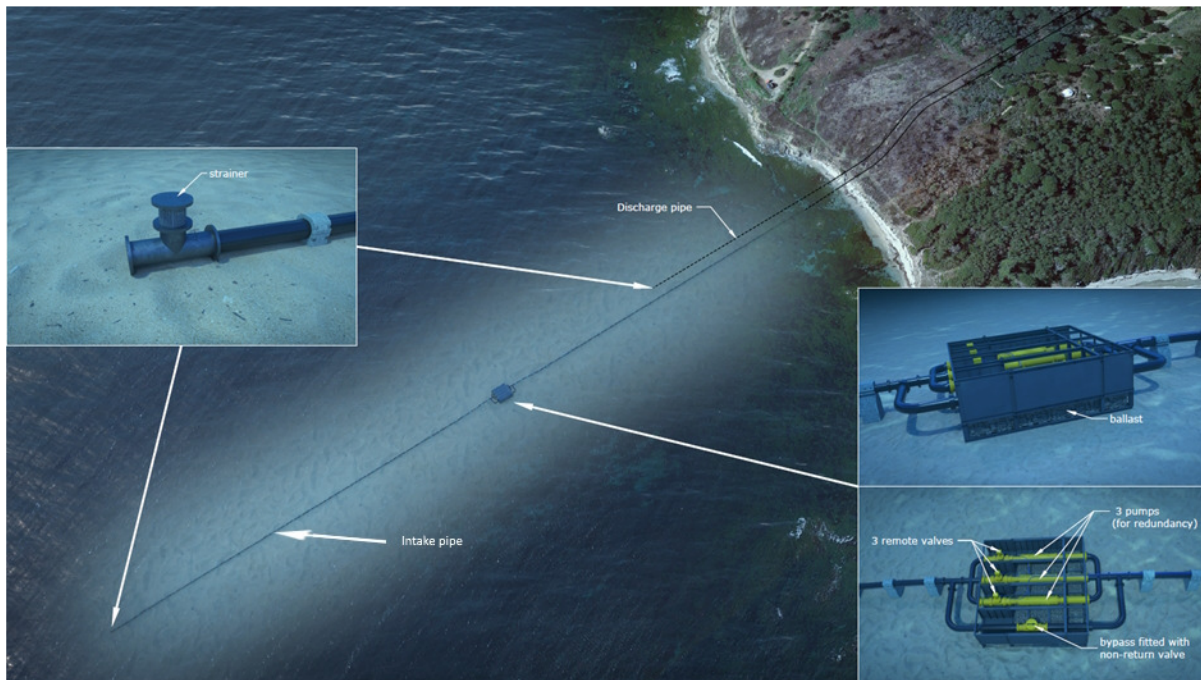
- **Type de pompes** : Le type de pompe utilisé dans la station dépendra des exigences de débit et de pression du système. Les types de pompes couramment utilisés dans les systèmes SWAC comprennent les pompes centrifuges et les pompes volumétriques.
- **Capacité des pompes** : la capacité de la ou des pompes de la station de pompage doit être adaptée aux exigences de débit du système. La capacité de la pompe doit tenir compte de facteurs tels que les pertes de charge de la conduite et les changements potentiels de la température de l'eau de mer. De plus, le système de pompe doit prendre en compte la redondance : généralement 3 pompes (2 pompes avec une capacité de débit de 50 % chacune avec 1 pompe de réserve complète avec une autre capacité de 50 %).
- **Source d'alimentation** : La station de pompage nécessitera une source d'alimentation pour faire fonctionner les pompes. Elle doit être conçue avec redondance pour assurer un fonctionnement fiable du système.
- **Systèmes de contrôle** : La station de pompage nécessitera des systèmes de contrôle pour surveiller et contrôler le débit et la pression de l'eau de mer. Les systèmes de contrôle devront être conçus pour répondre aux changements de température de l'eau de mer et d'autres variables du système.
- **Entretien** : La station de pompage nécessitera un entretien régulier pour assurer un fonctionnement fiable du système. L'entretien peut comprendre le nettoyage des crépines de prise d'eau de mer, l'inspection des conduites et des pompes et le remplacement des composants usés ou endommagés.
- **Emplacement** : Comme décrit dans la section 5.6.2, les pompes peuvent être installées au fond de la mer à l'intérieur d'une structure sous-marine, ou dans un puits profond, à terre. Les avantages et les inconvénients de ces 2 options sont discutés ci-dessous.

5.4.1 Station de pompage sous-marine

Voir ci-dessous une vue d'artiste de l'architecture SWAC représentant l'option de pompes sous-marines.

Principaux composants de cette architecture :

- Une crépine en bout de conduite d'arrivée d'eau pour filtrer l'eau entrante,
- Conduite de captage (longueur en fonction de la température requise, taille en fonction du volume d'eau de mer nécessaire),
- Structure de la station de pompage située dans les 500 premiers mètres du rivage à une profondeur d'eau appropriée,
- Conduite de décharge (retour du rivage) vers une zone turbulente pour rejeter l'eau de retour.



OPTION DE POMPE SOUS-MARINE – POSITIONNEMENT SOUS-MARIN		
CRITÈRE	AVANTAGES	LES INCONVÉNIENTS
INSTALLATION / FONCTIONNEMENT / MAINTENANCE	3 pompes installées pour la redondance.	Pompes sous-marines : maintenance et fiabilité
	Le système de pompe (avec son support) peut être rapidement déployé au fond de la mer.	Conduites sous-marines à installer en plusieurs sections. Pièces de raccordement (de type lyre) à considérer pour relier les sections sous-marines.
		Accès difficile pour l'inspection et l'entretien. Risque de corrosion durant le cycle de vie.
COÛT		Le système de pompe nécessite un minimum de 3 pompes, un by-pass, un système d'alimentation et de surveillance avec ombilical. Stabilité de la structure en eau peu profonde à évaluer (ballast, matelas, pieux battus...)

Table 1 Avantages et inconvénients de l'option pompe sous-marine

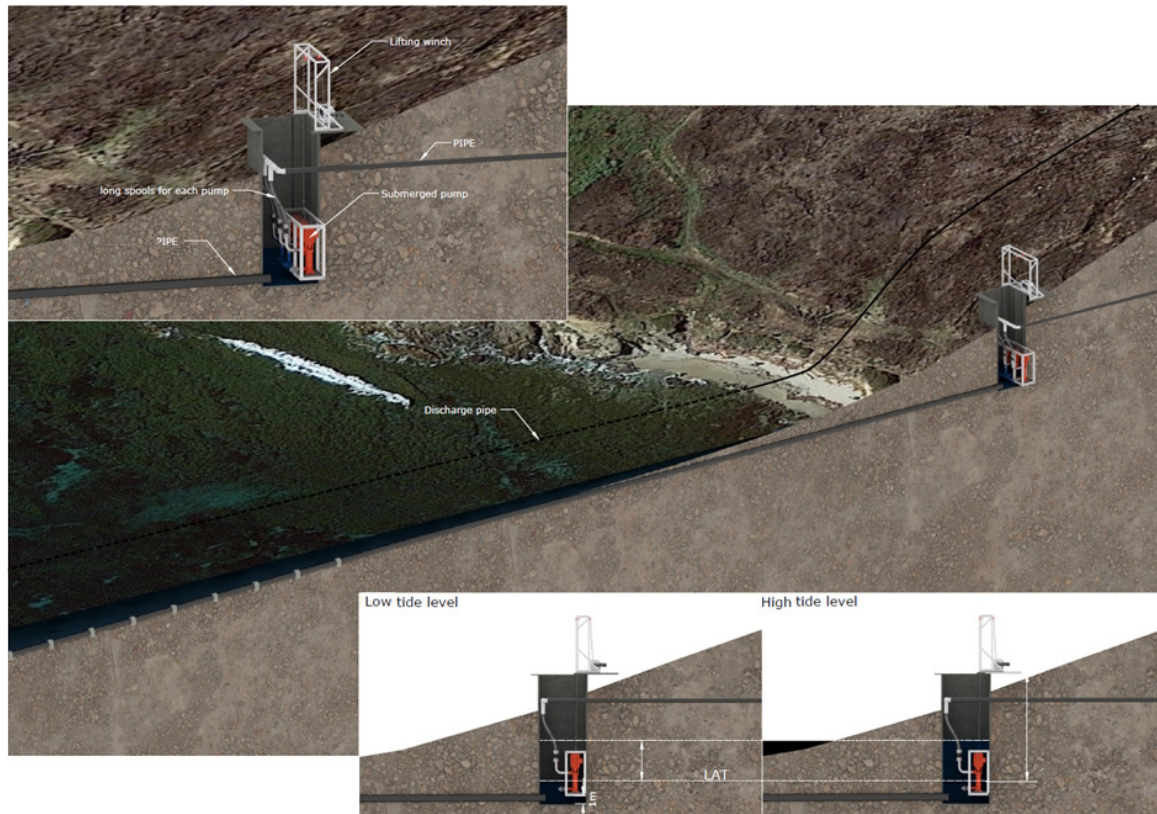
5.4.2 Station de pompage dans un puits profond à terre

Voir ci- dessous une vue d'artiste de l'architecture SWAC représentant l'option de puits profond à terre.

Principaux composants de cette architecture :



- Une crépine en bout de conduite d'arrivée d'eau pour filtrer l'eau entrante,
- Conduite d'admission (longueur en fonction de la température requise, taille en fonction du volume d'eau de mer nécessaire dans le puits profond),
- Puits profond (immense bassin) situé à terre alimenté naturellement par l'eau de mer,
- Système de pompage déployé dans le puits profond,
- Conduite de décharge (conduite de retour du rivage) vers une zone turbulente pour rejeter l'eau de retour.



OPTION DE POMPE À TERRE – SITUÉE DANS UN Puits PROFOND À TERRE		
CRITÈRE	AVANTAGES	LES INCONVÉNIENTS
MONTAGE / FONCTIONNEMENT	L'accès pour l'entretien de la station de pompage est plus facile, en utilisant un treuil pour soulever les pompes en haut du puits.	
	Pas d'opération de levage nécessitant de gros moyen de levage. Seuls les tronçons de canalisation doivent être installés.	Installation d'un système de pompage au fond d'un puits profond et étroit. Section de canalisation à insérer dans un tunnel de 200 m de long.
		D'énormes travaux d'excavation sont nécessaires pour creuser le puits profond et forer un tunnel de la fosse à la mer pour connecter le pipeline sous-marin.
COÛT		Coûts excessifs pour effectuer des travaux d'excavation

Table 2 Station de pompage située dans un puits à terre - avantages et inconvénients

5.5 Station d'échange de chaleur

L'échangeur de chaleur est la clé de voûte d'un système SWAC en fonctionnement afin de maximiser la surface d'échange, et donc son efficacité.

Les systèmes SWAC utilisent des échangeurs de chaleur pour transférer la chaleur entre l'eau de mer froide et le réfrigérant du système de climatisation. Il existe plusieurs types d'échangeurs de chaleur pouvant être utilisés dans un système SWAC :

1. **Échangeurs de chaleur à calandre et tube** : il s'agit du type d'échangeur de chaleur le plus couramment utilisé dans les systèmes SWAC. Il se compose d'une coque (récipient extérieur) et d'un faisceau de tubes (récipient intérieur) qui contient l'eau de mer. Le réfrigérant circule à travers les tubes et l'eau de mer circule autour des tubes, transférant la chaleur du réfrigérant à l'eau de mer.

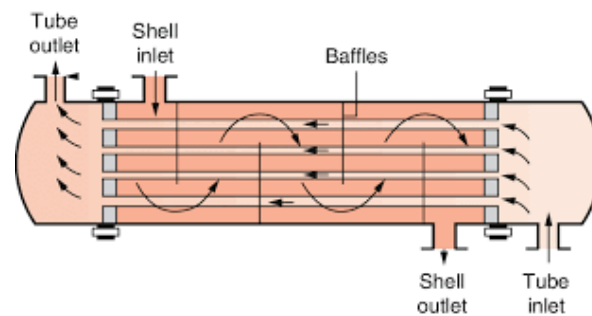


Figure 1 Principe de fonctionnement de l'échangeur de chaleur à coque et à tube.

2. **Échangeurs de chaleur à plaques** : Les échangeurs de chaleur à plaques consistent en une série de plaques minces avec de petits espaces entre elles. Le réfrigérant s'écoule à travers des plaques alternées et l'eau de mer s'écoule à travers les plaques restantes, transférant la chaleur entre elles.

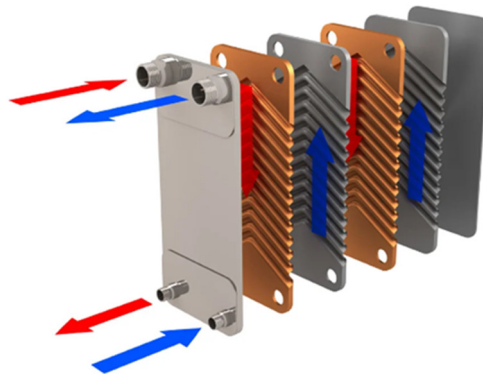


Figure 2 Principe de fonctionnement de l'échangeur de chaleur à plaques

3. **Échangeurs de chaleur à plaques et cadres** : Les échangeurs de chaleur à plaques et cadres sont similaires aux échangeurs de chaleur à plaques, mais ont également des cadres qui maintiennent les plaques ensemble et fournissent un support.

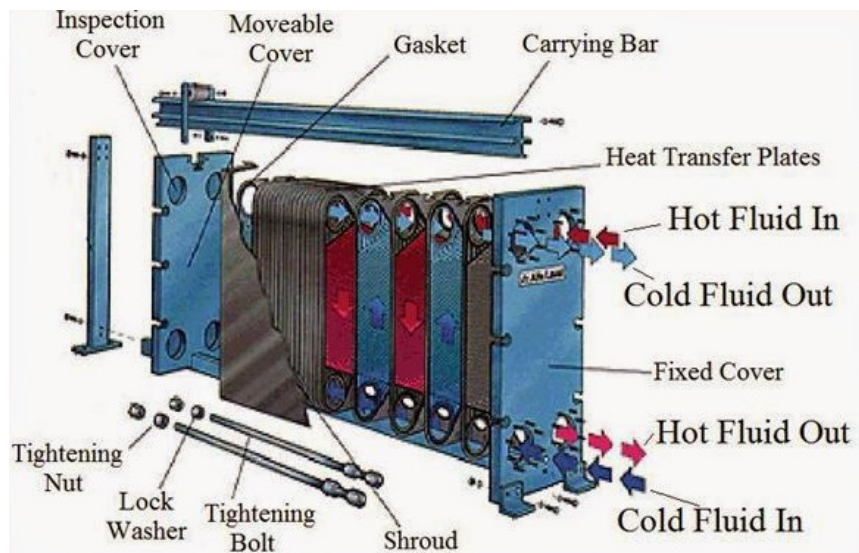


Figure 3 Principe de fonctionnement des échangeurs de chaleur à plaques et cadres

4. **Échangeurs de chaleur à double tube** : Les échangeurs de chaleur à double tube sont constitués de deux tubes, l'un dans l'autre. Le réfrigérant s'écoule à travers le tuyau intérieur et l'eau de mer s'écoule à travers le tuyau extérieur, transférant la chaleur entre eux.

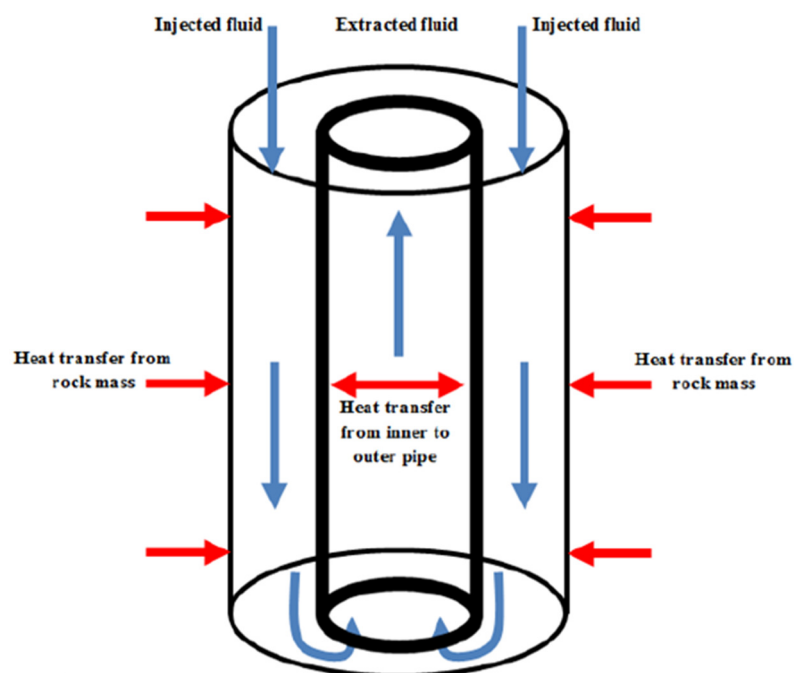


Figure 4 Principe de fonctionnement des échangeurs de chaleur à double tube

5. **Échangeurs de chaleur en spirale** : Les échangeurs de chaleur en spirale ont une conception en spirale qui permet une efficacité de transfert de chaleur élevée dans un petit espace. Le réfrigérant et l'eau de mer s'écoulent dans des directions opposées, créant un flux turbulent qui maximise le transfert de chaleur.

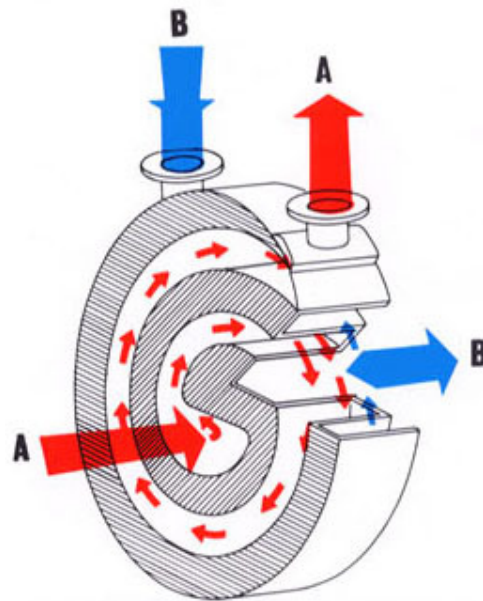


Figure 1 Principe de fonctionnement des échangeurs de chaleur en spirale

5.5.1 Configuration 1

En plus de l'échangeur de chaleur à plaques (illustré à Figure 2), le circuit de dérivation intégré dans la configuration 1 nécessite l'utilisation d'un échangeur de chaleur à serpentin. Les matériaux et les dimensions du serpentin sont à déterminer pour offrir une bonne capacité de refroidissement de l'eau de mer.

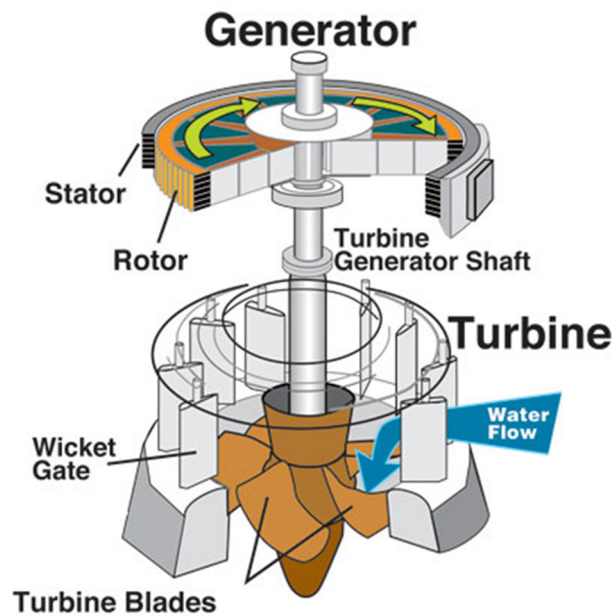


Figure 2 Exemple d'échangeur de chaleur à serpentin

Remarque : Les deux types d'échangeurs de chaleur présentés dans ce cas sont communs à toutes les configurations de conception SWAC.

5.5.2 Configuration 2

En plus de l'échangeur à plaques et de l'échangeur à serpentin communs à toutes les conceptions, la Configuration 2 intègre une turbine à eau en fin de circuit de retour. Cette turbine permet de récupérer une partie de l'énergie pour la restituer au système de pompage, en utilisant un convertisseur d'énergie si l'élévation de l'installation du client est suffisante.



5.5.3 Configuration 3

En plus de l'échangeur à plaques et de l'échangeur à serpentin, communs à toutes les conceptions, la configuration 3 nécessite un troisième échangeur de chaleur, pour que l'eau de mer en circuit ouvert refroidisse l'eau douce à l'intérieur du circuit fermé. En raison de la haute pression attendue à l'intérieur du circuit fermé à l'emplacement de l'échangeur de chaleur (selon l'élévation de l'installation du client), il est suggéré d'installer un échangeur de chaleur tubulaire (au lieu d'un échangeur à plaques).

Les échangeurs de chaleur tubulaires permettent de refroidir le fluide "côté tube" en fournissant un fluide refroidi dans l'entrée "côté coque", comme indiqué ci-dessous :

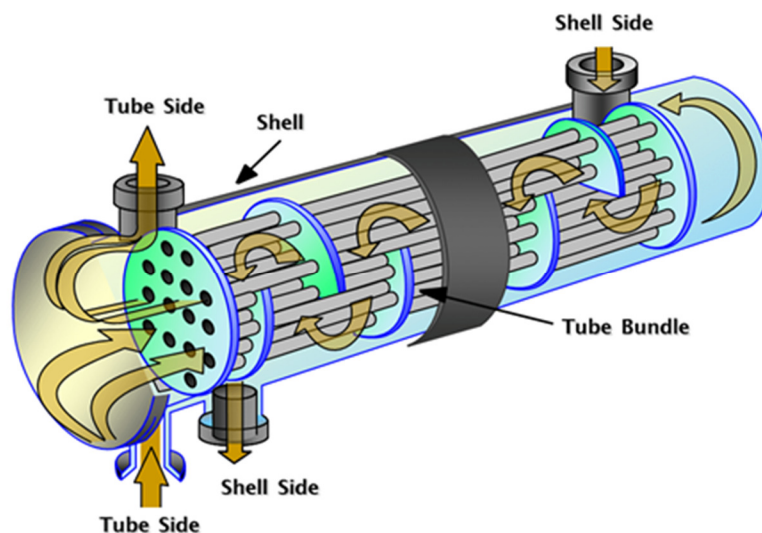


Figure 3 Principe de fonctionnement de l'échangeur de chaleur tubulaire

5.6 Tracés des conduites

5.6.1 Tracé de la conduite souterraine

Les tracés des conduites souterraines doivent être envisagés pour transporter l'eau de mer depuis le rivage, traversant la zone jusqu'à la station d'échange de chaleur, en fonction de l'emplacement de l'installation du client.

La canalisation souterraine sera soit installée sur des supports au sol, soit enfouie jusqu'à 1 m de profondeur, en fonction des règles environnementales en vigueur sur le site et des exigences d'isolation de la canalisation.

5.6.2 Tracé de la conduite sous-marine

Le tracé du pipeline sous-marin est commun à toutes les configurations SWAC étudiées. La longueur de la conduite sous-marine et la profondeur de la prise d'eau dépendront de la différence de température requise. La longueur de la conduite d'évacuation dépend de la température admissible du retour d'eau de mer dans l'environnement et de son analyse de dissipation de température en fonction des conditions de courants et de mer sur le site.

Le tracé de la conduite sous marine doit minimiser autant que possible l'impact sur la vie marine.

5.6.3 Traversée de rivage par les conduites sous-marines

L'installation de pipelines à travers le rivage est un processus complexe et difficile. Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour installer des conduites sous-marines dans une zone de franchissement du rivage, notamment :

- Creusement de tranchées : il s'agit de creuser une tranchée dans le fond marin, de poser la conduite dans la tranchée, puis de remblayer la tranchée. La tranchée est souvent utilisée pour les installations en eau peu profonde.
- Forage directionnel horizontal (HDD) : Il s'agit de forer un tunnel sous le fond marin et de tirer le pipeline à travers le tunnel. Le HDD est souvent utilisé pour les installations en eau plus profonde ou les installations où les préoccupations environnementales rendent le creusement de tranchées difficile.
- Micro-tunnelier : Cette technique est similaire au HDD, mais à plus petite échelle. Le micro-tunnelage consiste à utiliser une machine de microtunnelage pour percer un tunnel sous le fond marin, puis à tirer le pipeline à travers le tunnel.

Le choix de la technique dépendra de divers facteurs, notamment les caractéristiques du sol, la profondeur de l'eau, les conditions du fond marin, les préoccupations environnementales et le budget du projet.

5.7 Installation client

L'installation du client est l'environnement de l'utilisateur final nécessitant un système de refroidissement, tirant parti des capacités spécifiques d'un SWAC. La boucle d'eau douce qui transporte les calories des espaces à refroidir vers l'échangeur est appelée « boucle secondaire ».

L'installation du client définit les performances minimales requises pour le système SWAC attendu : le besoin de refroidissement. Il ne s'agit pas d'un paramètre SWAC car il est déterminé uniquement par le client, mais il revêt une importance considérable en ce qui concerne la conception SWAC. C'est pourquoi il est considéré comme un sous-système. Tout comme la composante « environnement externe », qui ne

résulte pas de la conception SWAC mais est en fait un paramètre d'entrée. Les principaux paramètres d'entrée utilisés pour la définition du besoin de refroidissement au niveau de la conception de base sont :

- Le besoin maximal de refroidissement du Client (en MWth¹),
- La température cible délivrée (généralement 7°C ou 9°C),
- La chute de température au sein de la boucle refroidie locale (généralement 5° pour les boucles 7°C/12°C ou 9°C/14°C).

Ceux-ci sont généralement fournis par le Client. Ils servent de base au calcul de la conception SWAC, permettant d'identifier des projets SWAC potentiels. L'aide des spécialistes SWAC peut être requise pour la définition du besoin maximal de refroidissement du client à ce stade via la diffusion d'outils d'assistance comme indiqué ci-dessous.

5.7.1 Exemple d'outil d'assistance

Ci-dessous un exemple théorique d'outil d'aide, afin d'illustrer la façon dont il peut aider à la conception de la demande maximale de puissance frigorifique pour un client donné (dans cet exemple, les données proviennent d'études antérieures dans un pays tropical).

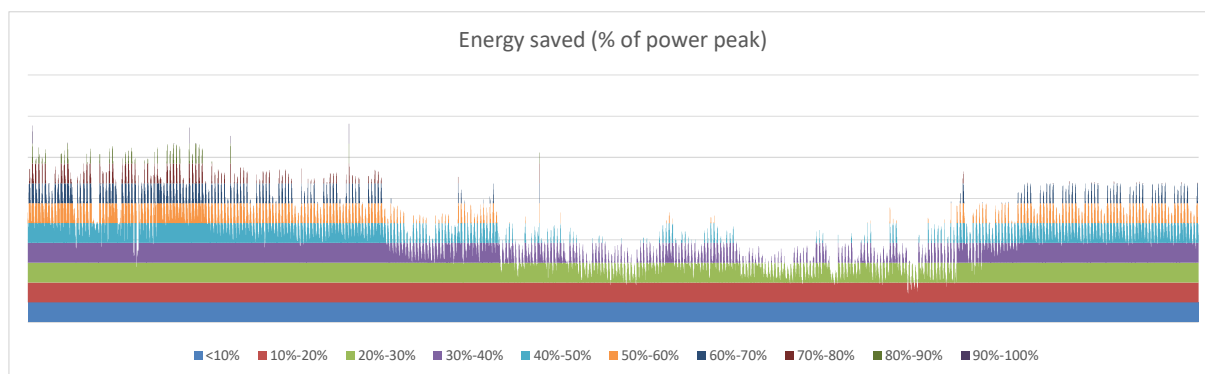


Figure 4 Énergie économisée par % du pic de puissance

Dans ce graphique, les 20 premiers % de la puissance crête (bandes bleu foncé et rouge en bas) sont utilisés presque tout le temps, puis les tranches supérieures sont de moins en moins utilisées au cours de l'année.

Le graphique ci-dessous montre le nombre d'heures nécessitant une certaine demande de refroidissement. En clair, les puissances de refroidissement les plus élevées ne sont utilisées que pendant quelques heures.

¹ MWth est une unité de puissance utilisée pour exprimer la puissance thermique ou la capacité de transfert de chaleur d'un système. Il signifie « mégawatt thermique » et est souvent utilisé dans l'industrie de l'énergie pour décrire la puissance de sortie des centrales thermiques, des chaudières et d'autres systèmes de production de chaleur ou de refroidissement.

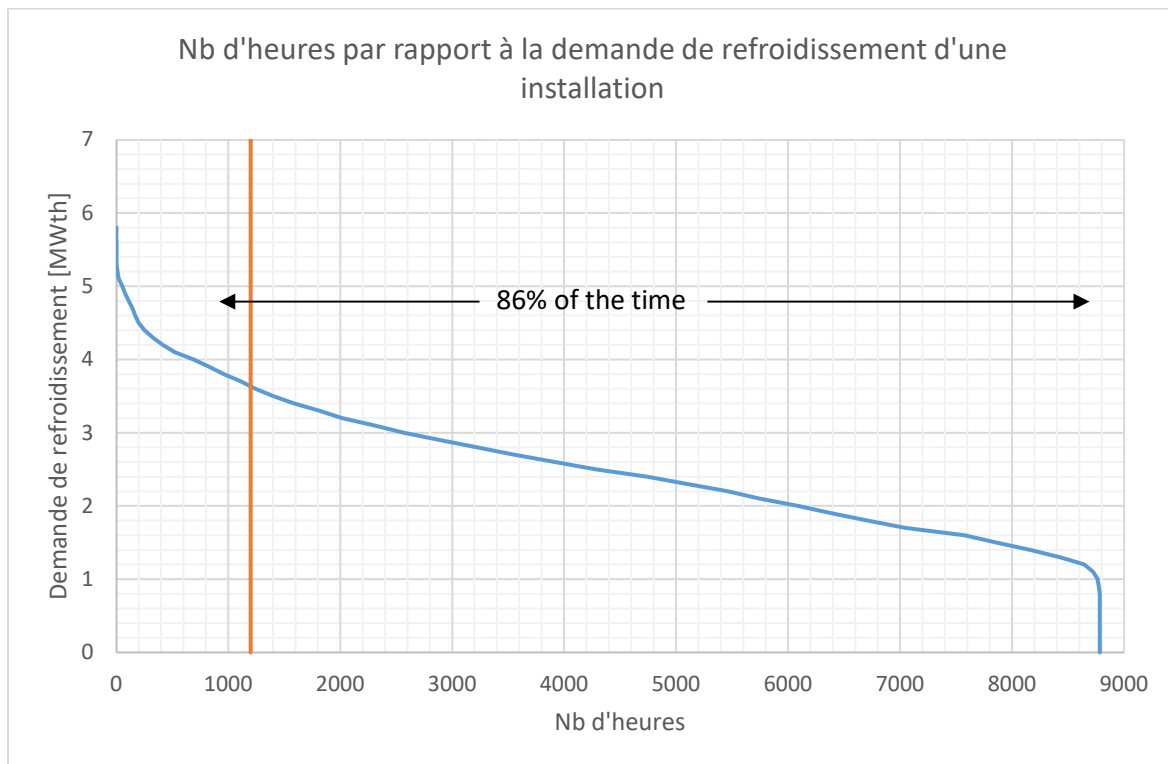


Figure 5 Nombre d'heures vs puissance de refroidissement

Les tranches supérieures à 60 % de la puissance crête ne sont utilisées que 14 % du temps. Cela nous amène à supposer que la construction d'un SWAC pour fournir un refroidissement même pour la demande de refroidissement de pointe ne vaut pas les coûts de construction supplémentaires. Il faut donc considérer un SWAC plus petit, fournissant moins que la puissance de crête. La quantité d'énergie économisée est présentée ci-dessous.

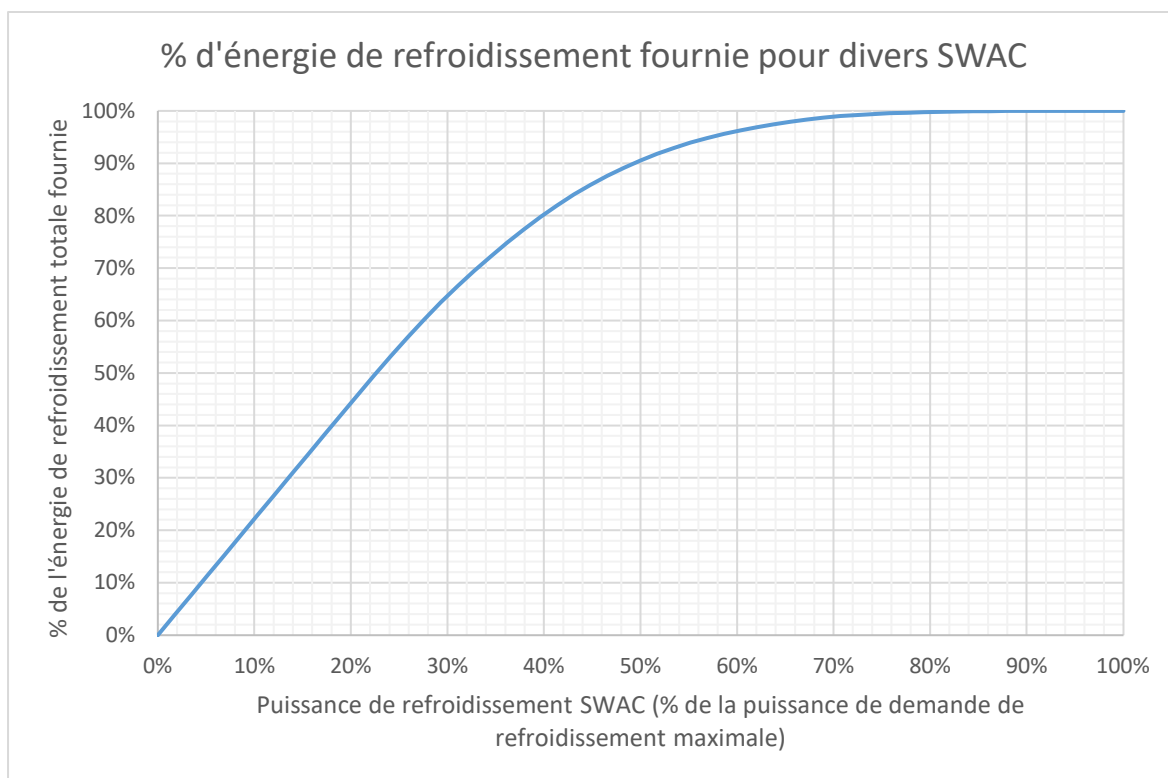


Figure 6 Énergie économisée par rapport à la capacité de pointe SWAC

A 40 % de la puissance crête, le SWAC fournit 80 % de l'énergie de refroidissement nécessaire à l'installation. Une règle du pouce pourrait donc être de construire un SWAC dimensionné entre 40 et 60% de la demande de pointe.

La courbe suivante est obtenue en intégrant les coûts de construction estimés :

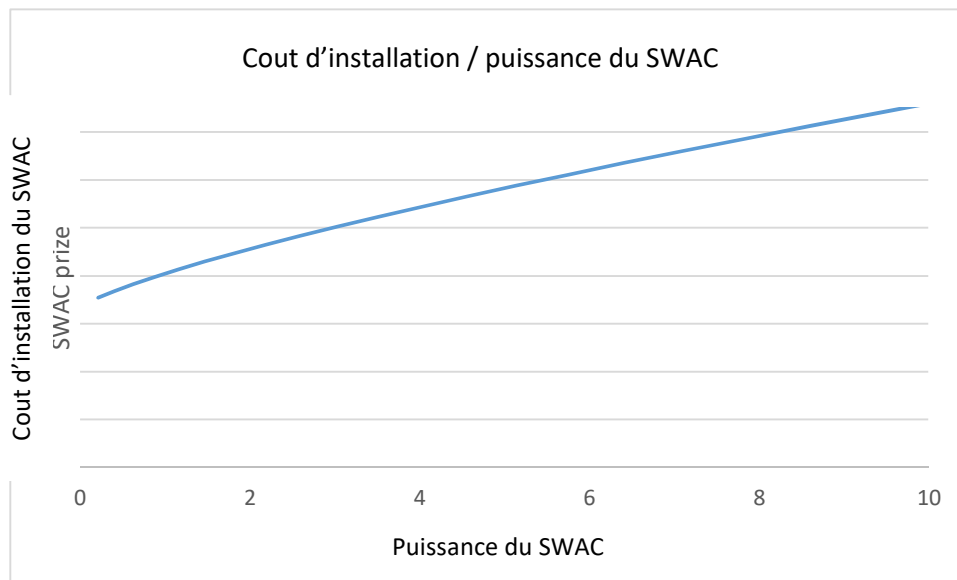


Figure 7 Evolution des CAPEX en fonction de la puissance SWAC [MWth]

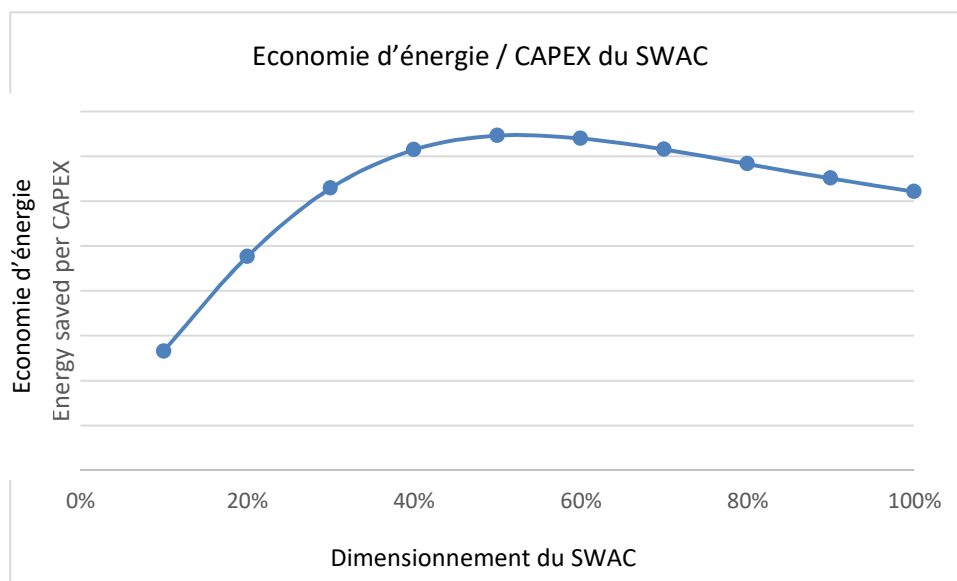


Figure 8 Énergie économisée en fonction des CAPEX

Dans ce cas, la taille optimale du SWAC correspond à 50 % de la demande de refroidissement de pointe. Ce résultat est vrai pour un bâtiment spécifique dans une région spécifique, et le bon dimensionnement pour d'autres installations peut être légèrement différent. Une bonne connaissance de l'environnement extérieur local et du client est donc cruciale pour créer un outil d'aide au bon dimensionnement d'un SWAC, d'autant plus lorsqu'il permet de donner une conception plus représentative pour un client donné. En cas de dimensionnement au pic de la demande de refroidissement, le risque est de faire fuir les investisseurs potentiels en surévaluant les CAPEX comme la puissance frigorifique maximale a un impact important sur les CAPEX.

5.8 Système de commande

Le système de commande d'un SWAC permet de contrôler et de coordonner le fonctionnement des composants électriques pour assurer le fonctionnement efficace et fiable du système. Il comprend une salle de contrôle centrale où les opérateurs peuvent surveiller les performances du système et ajuster les paramètres de fonctionnement selon les besoins. La salle de contrôle peut être équipée d'une variété de dispositifs de surveillance et de contrôle, y compris des capteurs, des contrôleurs logiques programmables (PLC), des interfaces homme-machine (IHM) et d'autres systèmes informatiques.

Le système de commande est chargé de maintenir des conditions de fonctionnement optimales dans tout le système SWAC. Cela comprend la surveillance et le contrôle en temps réel de la température, de la pression, du débit et d'autres paramètres de l'eau de mer. Il coordonne le fonctionnement des pompes à eau, des vannes, des échangeurs de chaleur pour s'assurer que le système fonctionne de manière sûre et efficace.

Le système de commande d'un SWAC est équipé de capteurs qui détectent tout défaut ou anomalie dans le système. Ces informations sont analysées par le système, qui établit ensuite un diagnostic et recommande les actions appropriées pour la maintenance corrective. Le système de commande peut également inclure diverses fonctions de sécurité et d'arrêt d'urgence, telles que des alarmes et des boutons d'arrêt d'urgence, pour protéger le système et ses composants en cas de dysfonctionnement ou d'autres conditions anormales (situations de surpression ou de surchauffe).

5.9 Alimentation électrique

Un système SWAC nécessite généralement une quantité importante d'énergie électrique pour fonctionner, car il implique de faire fonctionner de grandes pompes et d'autres équipements tels qu'une station d'échange de chaleur et un système de commande. Le dimensionnement de l'alimentation électrique d'un système SWAC est impacté par plusieurs paramètres tels que :

- La charge de refroidissement de l'installation du client qui détermine le dimensionnement du système SWAC, et par conséquent, l'alimentation électrique nécessaire au fonctionnement du système.
- La variation de la demande de refroidissement (demande de pointe et la demande la plus basse) au cours d'une période car elle a un impact sur l'amplitude de l'alimentation électrique requise tout au long de l'année.
- L'efficacité du système SWAC, selon la conception choisie, affectera de manière significative la puissance électrique nécessaire pour atteindre une exigence de refroidissement donnée.
- La température de l'eau de mer utilisée dans le système SWAC aura un impact sur l'efficacité du système et donc sur l'alimentation électrique nécessaire pour obtenir l'effet de refroidissement souhaité.
- Les performances du système de contrôle utilisé pour faire fonctionner le système SWAC peuvent également avoir un impact sur la puissance électrique requise pour faire fonctionner le système.
- La présence ou l'absence de sources d'alimentation de secours aura un impact sur l'alimentation électrique nécessaire pour alimenter le système SWAC en cas de panne de courant.

5.10 Conduite de captage et d'évacuation

- La conduite de captage a pour fonction d'acheminer l'eau de mer froide jusqu'à la station d'échange de chaleur.

- La conduite d'évacuation (ou refoulement) rejette en mer l'eau de mer réchauffée provenant de la station d'échange de chaleur. Cette conduite traverse également la zone côtière.

De la zone de franchissement du rivage à la station de pompage et/ou à la station d'échange de chaleur, ces conduites peuvent être enterrées.



Figure 9 Option avec pompes sous-marines

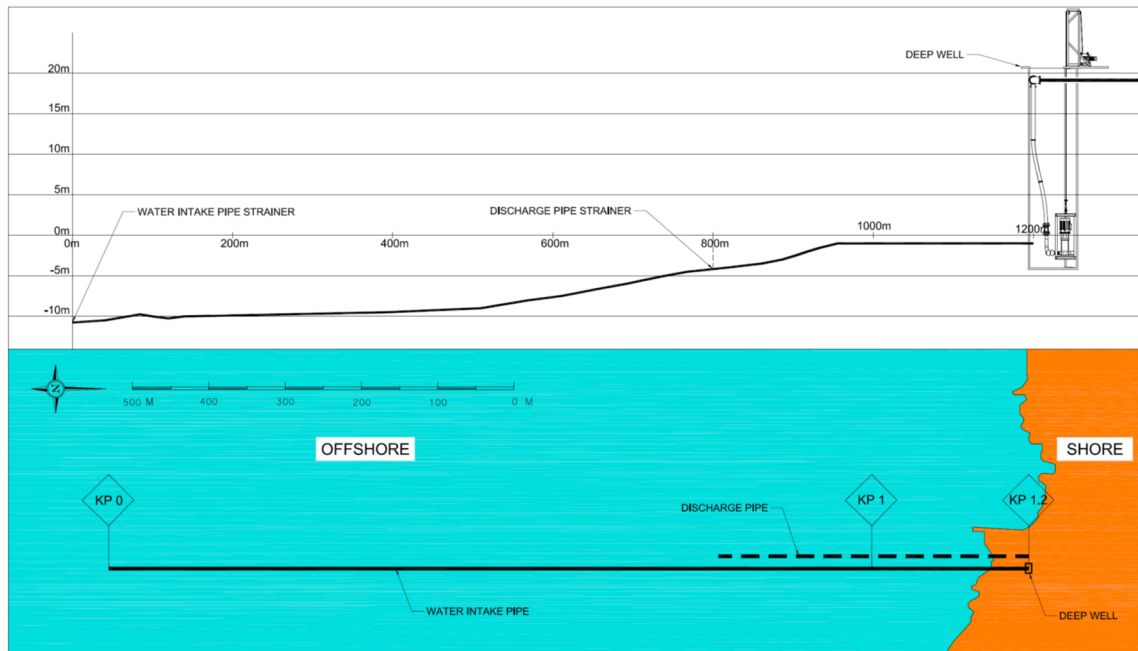


Figure 10 Option avec puits profond

5.10.1 Sélection des matériaux pour les conduites

Les systèmes SWAC utilisent des conduites faites de matériaux qui peuvent résister à l'exposition à l'eau de mer, qui est corrosive et peut endommager certains métaux. Les matériaux les plus couramment utilisés pour les conduites de captage/de rejet dans les systèmes SWAC comprennent :

- Polyéthylène haute densité (PEHD) - Ce polymère thermoplastique est résistant à la corrosion, aux produits chimiques et à l'abrasion. Les tuyaux en PEHD sont légers, flexibles et ont une longue durée de vie, ce qui les rend idéaux pour une utilisation dans les systèmes SWAC.
- Conduites en béton avec noyau en tôle d'acier - Le noyau en tôle d'acier est résistant à la corrosion. Le béton est un matériau durable qui peut supporter de lourdes charges et des conditions environnementales difficiles. La combinaison du béton et de l'acier offre une bonne stabilité thermique, ce qui peut aider à maintenir une température constante dans le système SWAC. Les conduites en béton sont généralement plus rentables que d'autres matériaux tels que l'acier ou le plastique, et le noyau en tôle d'acier offre une couche de protection supplémentaire sans augmenter démesurément les coûts. Le béton est un matériau durable qui peut être fabriqué à partir de matériaux locaux, ce qui réduit l'impact environnemental du système SWAC.
- Plastique renforcé de fibre de verre (FRP) - Ce matériau composite est fabriqué en combinant des fibres de verre avec une matrice polymère. Les conduites en FRP sont solides, légères et résistantes à la corrosion, ce qui en fait un choix populaire pour les systèmes SWAC.
- Acier inoxydable - Cet alliage est très résistant à la corrosion, ce qui en fait un excellent choix pour les systèmes SWAC qui nécessitent un haut niveau de durabilité. Les tuyaux en acier inoxydable sont solides, faciles à nettoyer et peuvent résister à des températures et des pressions élevées.
- Alliages cuivre-nickel - Ces alliages sont très résistants à la corrosion et sont couramment utilisés dans les applications marines. Les conduites en cuivre-nickel sont durables, solides et ont une longue durée de vie, ce qui en fait un bon choix pour les systèmes SWAC.

Le choix du matériau pour les conduites de captage/de rejet dans un système SWAC dépend de facteurs tels que les exigences spécifiques du système, la chimie de l'eau, les conditions environnementales et le budget du projet.

Le coût des trois dernières options peut être prohibitif.

5.10.2 Dimensionnement du diamètre/épaisseur de la paroi

Le diamètre du pipeline est généralement déterminé par le débit requis, qui est déterminé par la charge de refroidissement de l'installation. Plus le débit est important, plus le diamètre de la canalisation est important, ce qui a également un impact favorable sur les pertes de charge.

L'épaisseur de la paroi est déterminée par la pression nominale du pipeline et la profondeur de l'eau à l'emplacement de la prise d'eau. Plus l'eau est profonde, plus la pression nominale requise est élevée et, par conséquent, plus la paroi du pipeline est épaisse.

Il convient de noter que le rayon de courbure du pipeline dépend de son diamètre. Plus le diamètre de la canalisation est grand, plus le rayon de courbure doit être important pour ne pas endommager la canalisation, ce qui a un impact important sur l'implantation globale de l'installation.

Différents critères de dimensionnement sont utilisés pour déterminer la géométrie des canalisations d'un point de vue mécanique.

5.10.2.1 Pression statique admissible

Après les pompes, la conduite doit supporter la pression et la surpression maximale qu'elles peuvent absorber ; cette pression dépend du matériau, du SDR (rapport Diamètre / épaisseur de la paroi), et de la température de l'eau. Exemple ci-dessous pour un tuyau en PEHD :

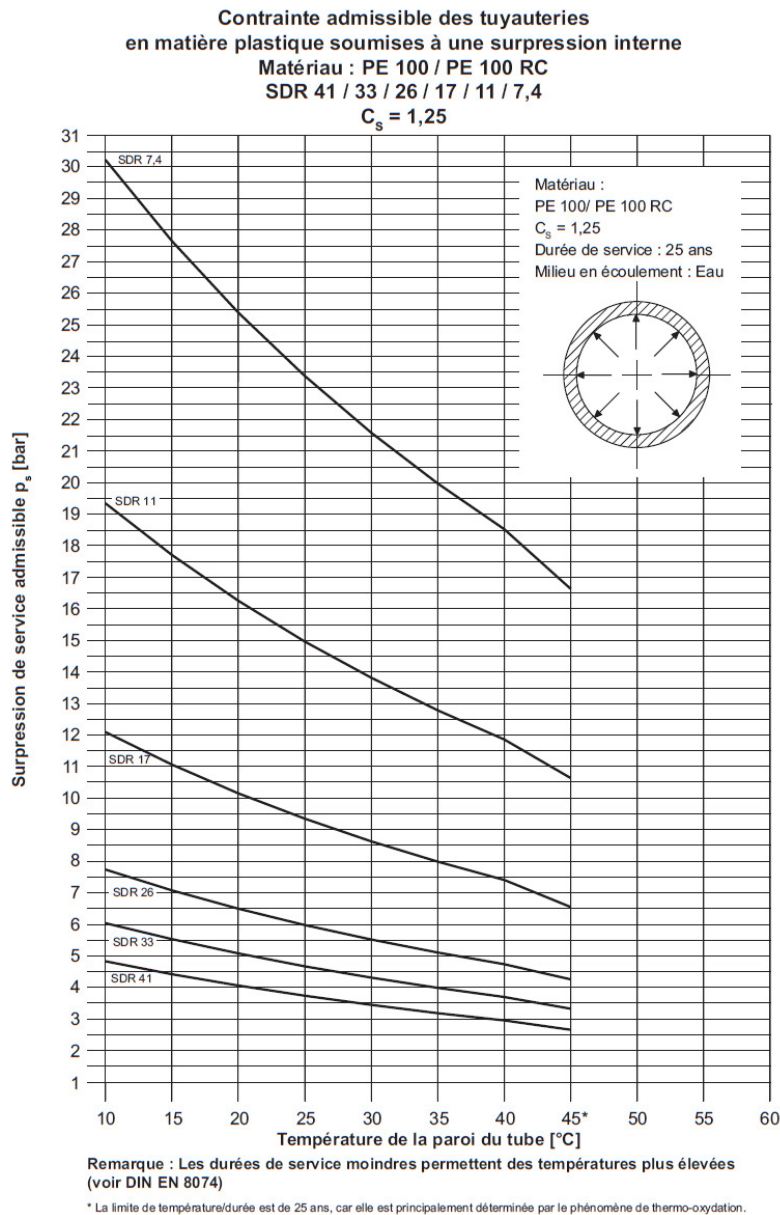


Figure 11 Surpression critique, exemple pour tube PE100

Dans cet exemple, pour les canalisations en PEHD, la température a un impact direct sur la pression statique admissible.

5.10.3 Stabilité du pipeline

La méthode de calcul pour définir la stabilité du pipeline près du rivage implique généralement une combinaison d'analyses géotechniques et hydrauliques.

Cela nécessite de calculer le moment de flexion et la force axiale maximaux auxquels le pipeline sera soumis dans différentes conditions de charge. Ces calculs seront ensuite comparés au moment de flexion et à la force axiale admissibles pour le pipeline, qui dépendront du matériau, du diamètre et de l'épaisseur de sa paroi. Si les contraintes appliquées dépassent celles autorisées, des mesures supplémentaires peuvent être nécessaires pour augmenter la stabilité du pipeline, telles que l'augmentation du diamètre ou de l'épaisseur de la paroi du pipeline ou l'installation de ballast ou d'ancrages pour aider à fixer le pipeline au fond marin. Des modèles numériques peuvent être utilisés pour simuler le comportement du

pipeline dans différentes conditions et utilisent généralement des éléments finis pour simuler la réponse du pipeline lorsqu'il est sollicité par l'environnement.

La stabilité d'un pipeline dépend fortement des propriétés du sol du fond marin. Des facteurs tels que le type de sol, la densité et la résistance au cisaillement seront tous importants pour déterminer si le pipeline sera stable. En outre, des facteurs environnementaux tels que :

- la hauteur, la période et la direction des vagues affecteront toutes les forces auxquelles le pipeline sera soumis.
- la force et la direction des courants dans la zone doivent être prises en compte.
- les propriétés du pipeline lui-même, telles que le diamètre, l'épaisseur de paroi et le matériau (densité), sont également importantes pour déterminer sa stabilité.

Une canalisation peut être considérée comme satisfaisant à l'exigence de stabilité statique absolue lorsque :

$$\gamma_{SC} \cdot \frac{F_Y^* + \mu \cdot F_Z^*}{\mu \cdot w_s + F_R} \leq 1.0 \quad \text{ET} \quad \gamma_{SC} \cdot \frac{F_Z^*}{w_s} \leq 1.0$$

Où:

γ_{SC} est le facteur de sécurité

F_Y et **F_Z** sont les efforts de traînée et de portance (à calculer selon les méthodes DNVGL)

W_s est le poids humide total du pipeline

μ est le facteur de frottement du fond marin

6. Évaluation de l'efficacité du SWAC

Le coefficient de performance (COP) est défini comme suit :

$$\text{COP} = Q / W$$

Avec **Q** = chaleur utile fournie/retirée par le système (kW)

W = travail net mis dans le système (kW)

Les paramètres système suivants doivent être pris en compte pour le dimensionnement SWAC :

- Débit du SWAC (m/s)
- Température moyenne de la source chaude (°C)
- Température moyenne de l'eau de mer (source froide) (°C)
- Température d'approche de l'échangeur de chaleur (°C)
- Chauffage max de l'eau de mer (°C)

La température d'approche est la différence entre la température du fluide refroidi en sortie d'échangeur et la température du fluide de refroidissement entrant dans l'échangeur. La vitesse minimale requise pour les pompes du système est obtenue en fonction du diamètre du pipeline afin de fournir des débits suffisants pour que le système SWAC fonctionne dans de bonnes conditions.

7. Eléments concernant les méthodes d'installation

7.1 Conduite souterraine

La séquence typique des événements principaux pour l'installation d'une conduite souterraine est décrite ci-après :

Activités principales	
1.	Etude et préparation du tracé du pipeline
2.	Fabrication et transport depuis le chantier de tronçons de conduites
3.	Creusement/excavation de tranchées pour le pipeline et de fosses pour l'installation du système de pompes si nécessaire
4.	Raccordement des tronçons de conduite à l'ensemble de la canalisation et enfouissement
5.	Remblayage de tranchées

Table 3 Séquence d'événements d'installation d'une conduite souterraine

7.2 Conduite sous-marine

La méthode d'installation du pipeline sous-marin est commune à tous les modèles SWAC étudiés. La séquence des principaux événements pour l'installation du pipeline est décrite ci-après :

Activités principales	
1.	Etude et préparation du tracé sur le fond marin
2.	Fabrication et remorquage/transport depuis le chantier de construction d'un pipeline sous-marin (livré en sections, généralement jusqu'à 600 m de long)
3.	Installation de colliers et de brides étanches aux deux extrémités des sections
4.	Enfouissement contrôlé de tronçons de pipeline jusqu'au fond marin
5.	Métrologie et fabrication des pièces de bobine. Installation de bobines de raccordement pour connecter les sections déployées.

Table 4 Séquence d'événements d'installation d'un pipeline sous-marin

La méthode d'installation du pipeline sous-marin est décrite plus en détail dans les sections suivantes.

7.2.1 Relevé et préparation du sol

Etape	Description	Commentaire
1.	Campagne d'étude géotechnique à effectuer pour évaluer le type de matériau du sol le long du tracé défini du pipeline.	Sur la base du rapport d'enquête, le dragage et/ou l'installation de matelas sont à prévoir pour assurer une bonne stabilité du pipeline une fois posé sur le fond marin.
2.	Mobilisation de l'équipe de plongée et du navire de dragage/approvisionnement.	
3.	Plongeurs pour surveiller les travaux de dragage et/ou l'installation de dispositifs de stabilisation sur le fond marin le long du tracé du pipeline. Les plongeurs doivent également installer des bouées pour marquer l'itinéraire pour l'installation ultérieure du pipeline	



Plongeur installant un ballast dans le cadre d'une préparation au sol en amont de l'installation d'une conduite de captage.

Figure 12 Plongeur lors des travaux de préparation du sol

7.2.2 Préparation des sections de conduites

La réception et la préparation des tronçons de conduites avant leur déploiement le long du tracé défini nécessitent l'utilisation d'infrastructures portuaires proches équipées de quais de chargement.

Etape	Description	Commentaire
1.	Construction et transport vers le chantier de tous les colliers en béton utilisés pour la stabilisation des conduites	
2.	Construction et transport vers le chantier de l'élément de prise d'eau, qui sera soudé pour former une section de conduite prête pour le remorquage.	Lors de l'enfouissement, cette prise d'eau doit être obturée pour permettre la mise sous pression de la section
3.	Construction et transport vers le chantier de brides étanches pour les extrémités de section. Elles comprennent des fixations pour permettre le raccordement d'une pompe d'un côté et d'un compresseur de l'autre côté de la section pour contrôler l'enfoncement.	
4.	Installation des colliers en béton le long des sections de conduites. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées : <ul style="list-style-type: none"> • Installation à l'aide d'une grue et de plongeurs • Installation à terre à l'aide d'un châssis de levage et d'une rampe de débardage • Installation à l'aide d'une barge, permettant d'installer 3 colliers en même temps 	L'installation des colliers en béton le long de l'ensemble du pipeline a été prévu lors de la conception préliminaire.

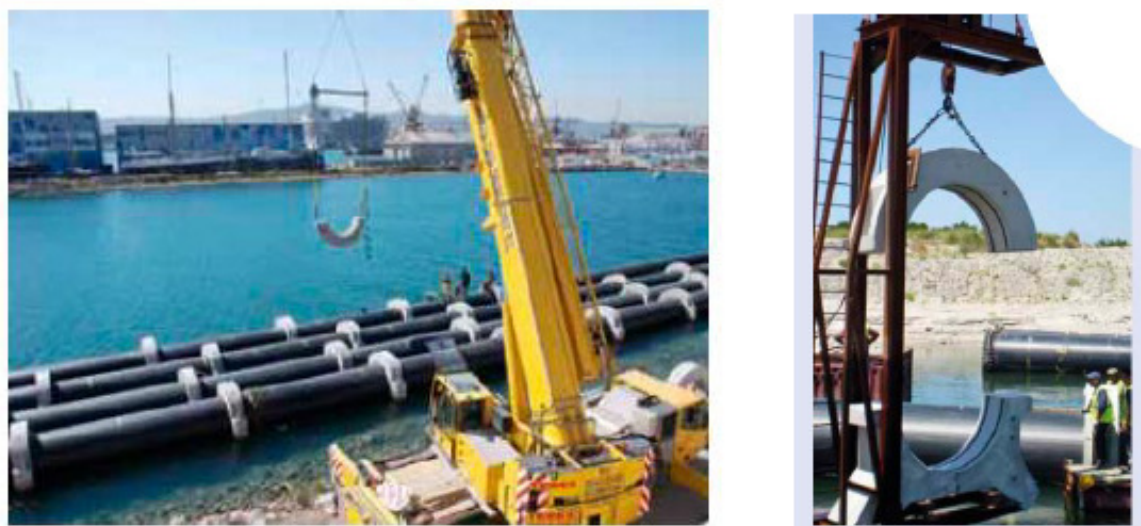


Figure 13 Installation de poids en béton à l'aide d'une grue (à gauche) et d'un cadre (à droite)



Figure 14 Installation de plusieurs lests à béton simultanément

Etape	Description	Commentaire
5.	Connecter les sections de conduites fournies pour assembler l'ensemble de la conduite ou de 2 tronçons qui seront remorqués et installées sur le site.	Selon le type de système de pompage choisi, la canalisation peut être divisée en 2 sections, pour permettre l'installation du système de pompage sous-marin.
6.	Installer des brides étanches avec des raccords de conduite aux extrémités des sections de conduite	
7.	Préparer la section de conduite pour le remorquage et la connecter aux remorqueurs.	
8.	Remorquer la section de conduite vers le site	

En règle générale, les sections peuvent être fabriquées et remorquées sur place par un remorqueur sur une longueur raisonnable allant jusqu'à 600 m. Lors du remorquage, des brides pleines sont à installer sur les extrémités des tronçons de conduites. Selon la longueur requise, le pipeline sous-marin devra être divisé en plusieurs sections.



Figure 1 Remorquage de tronçons de conduite jusqu'au site de construction.

7.2.3 Immersion contrôlée

Etape	Description	Commentaire
1.	Installation de poids le long du tracé, servant à l'initiation.	Les conditions environnementales et les prévisions météorologiques doivent être évaluées et jugées acceptables pour démarrer l'activité.
2.	La section de conduite est positionnée au-dessus du tracé (marqué par des bouées préinstallées) à l'aide de remorqueurs et d'autres navires plus petits.	
3.	Le bout du pipeline est relié à un poids et de l'eau est injectée à l'intérieur du pipeline par une pompe pour lancer l'opération d'enfouissement.	
4.	Le remorqueur principal applique une tension constante à la section de conduite. La pression d'air à l'intérieur du pipeline est maintenue à une valeur constante avec le compresseur installé sur le remorqueur principal, tandis que la pompe continue d'injecter de l'eau à l'intérieur du pipeline pour l'enfoncer au fond. Les ROV/plongeurs surveillent le TDP de la conduite pendant toutes les opérations d'enfouissement.	Une analyse détaillée doit être effectuée pour évaluer la force de traction que le remorqueur devra appliquer sur la section de conduite.

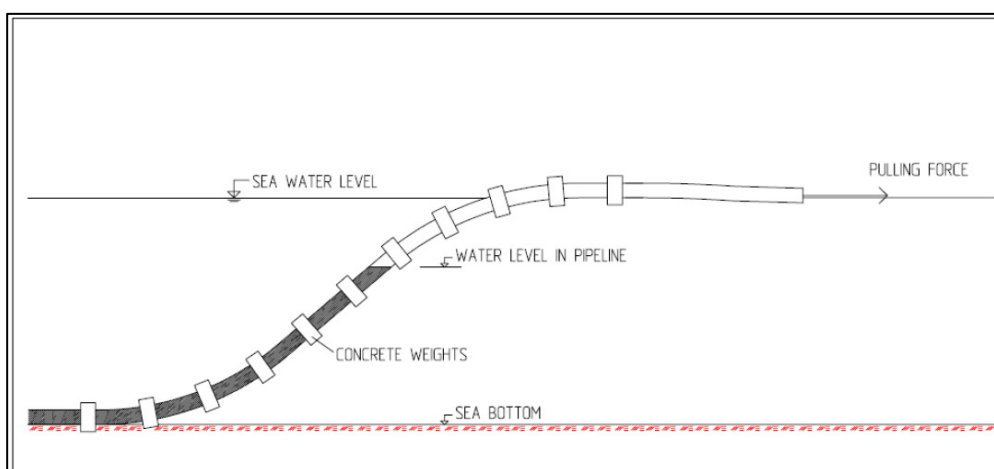


Figure 2 Principe d'installation d'un tronçon de conduite

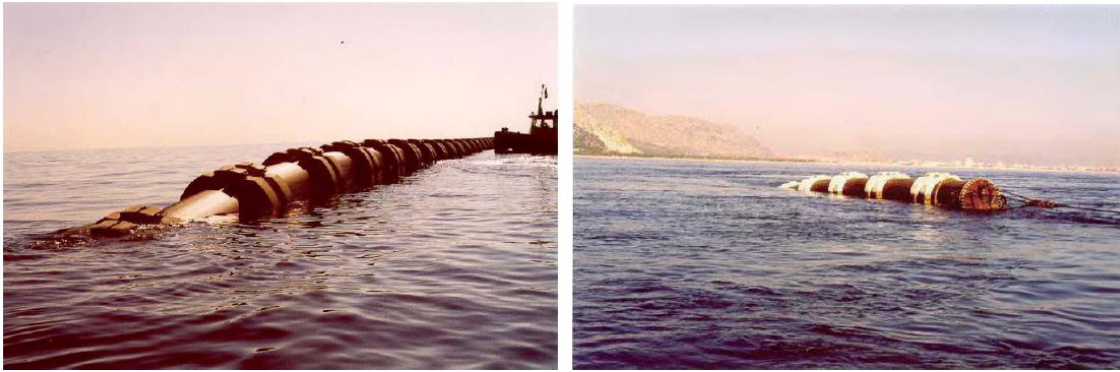


Figure 3 Initialisation (à gauche) et finalisation (à droite) de l'installation de la section de conduite.

Etape	Description	Commentaire
5.	Une fois que la section de conduite repose entièrement sur le fond marin, le ROV/les plongeurs doivent déconnecter la conduite du compresseur et du remorqueur principal.	
6.	Avant de débrancher la pompe, un test hydraulique de la section peut être effectué pour vérifier les fuites potentielles.	

7.2.4 Fabrication et installation de bobines de raccordement

Une fois que toutes les sections de conduite ont été enfouies, des bobines de raccordement doivent être fabriquées et installées pour connecter toutes les sections, selon les étapes suivantes :

Etape	Description	Commentaire
1.	Effectuer une métrologie pour toutes les bobines de raccordement à fabriquer.	Pour un système de pompage à terre, une seule bobine de raccordement est nécessaire pour connecter la canalisation au système de pompage.
2.	Sur la base de la métrologie évaluée en mer, les bobines de raccordement sont fabriquées dans un chantier à proximité (si possible). Un premier test hydraulique sur chaque bobine doit être effectué sur chantier.	
3.	Les bobines sont amenées sur place et équipées de sacs parachutes. Les bobines sont soit déployées avec une grue de navire, soit coulées par des plongeurs.	
4.	Les plongeurs enlèvent les brides scellées aux extrémités des conduites. Ils alignent la bride de la bobine de raccordement avec la bride de la conduite. Puis ils insèrent et serrent les boulons afin de connecter les bobines de raccordement.	Outils de plongée typiques tels que tirfors, sacs de levage, outil de serrage de boulons seront utilisés pour l'alignement et la connexion de la bobine de raccordement.

7.3 Travaux maritimes et sous-marins

Afin d'effectuer l'installation d'un pipeline sous-marin, les exigences minimales en termes de ressources navales sont les suivantes :

- 1 AHT avec une capacité de traction minimale qui dépendra de la longueur finale du tuyau (généralement environ 100 t).

- 1 barge d'installation avec grue (pour déploiement sous-marin)
- 1 plateau de plongée + équipe de plongée (mobilisée sur barge)
- Minimum de 1 navire de ravitaillement (pour aligner la conduite flottante au-dessus du tracé et pour rester connecté au bout de la section)

Les éléments suivants sont également requis pour effectuer l'installation et doivent se trouver à bord des navires appropriés :

- Poids (installés par barge)
- Pompe avec flexibles
- Groupe compresseur avec flexibles

8. Permis

Pour mettre en place un système SWAC dans une zone géographique donnée, il peut être nécessaire d'obtenir plusieurs permis et approbations auprès de divers organismes de réglementation. Les permis et approbations spécifiques requis dépendront de l'emplacement et de la juridiction dans lesquels le système est prévu d'être installé.

Cette rubrique a pour objet de lister les démarches administratives à suivre pour obtenir l'autorisation d'implantation d'un système SWAC dans un lieu choisi.

- Analyse d'impact / Enquête publique
- Demande d'archéologie préventive (facultatif)
- Droit de passage ou autorisation d'occuper le domaine public pour les conduites souterraines.
- Autorisation "loi sur l'eau" (équivalente à une déclaration au titre du code minier)
- Exemption "espèces protégées" si nécessaire
- Permis de construire ou déclaration préalable selon les caractéristiques du projet dans le respect des prescriptions urbaines et environnementales
- Autorisation d'occuper le domaine public maritime.

9. Conditions environnementales

Lors de la mise en place d'une installation SWAC, il est important de prendre en compte les conditions environnementales suivantes :

9.1 Température de l'eau de mer

La température de l'eau de mer est un facteur critique dans l'efficacité du système SWAC. Plus l'eau de mer est froide, plus le système sera efficace. Il est primordial de choisir un endroit où la température de l'eau de mer reste relativement constante et basse tout au long de l'année.

Les enregistrements de température de l'eau de mer sur 5 ans minimum (si possible) doivent être collectés pour dimensionner le système SWAC. Des exemples sont donnés ci-dessous.

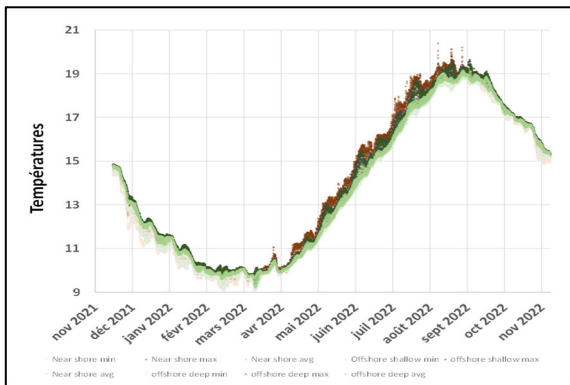


Figure 4 Valeur de température sur un an

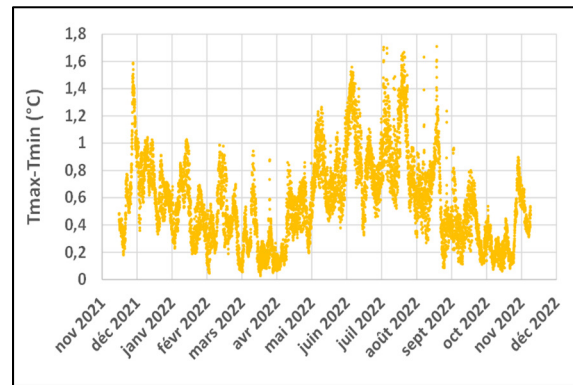


Figure 5 extrêmes journaliers de température sur un an

9.2 Qualité de l'eau de mer

La qualité de l'eau de mer est également cruciale car elle conditionne la durée de vie du système SWAC. L'eau de mer doit être exempte de polluants, de sédiments et de micro-organismes susceptibles de provoquer la corrosion ou l'encrassement des composants.

9.3 Courants

Il existe plusieurs types de données qui peuvent être utilisées pour caractériser le courant près du rivage, notamment :

- Données sur les marées : elles comprennent des informations sur la hauteur et le moment des marées, ainsi que sur la direction et la force des courants de marée.
- Données sur les courants : Ce type de données fournit des informations sur la direction et la vitesse des courants maritime. Les courantomètres peuvent être déployés sur des bouées ou sur le fond marin pour collecter des données au fil du temps.
- Données satellitaires : les données de télédétection des satellites peuvent fournir des informations sur les courants de surface des mers/océans, la température et le niveau de la mer.

A titre d'exemple, la figure ci-dessous montre les paramètres de courant enregistrés depuis une dizaine d'années au large des côtes, dans une zone donnée. Le graphique suivant montre l'occurrence des vitesses de courants résultant de l'ensemble de données.

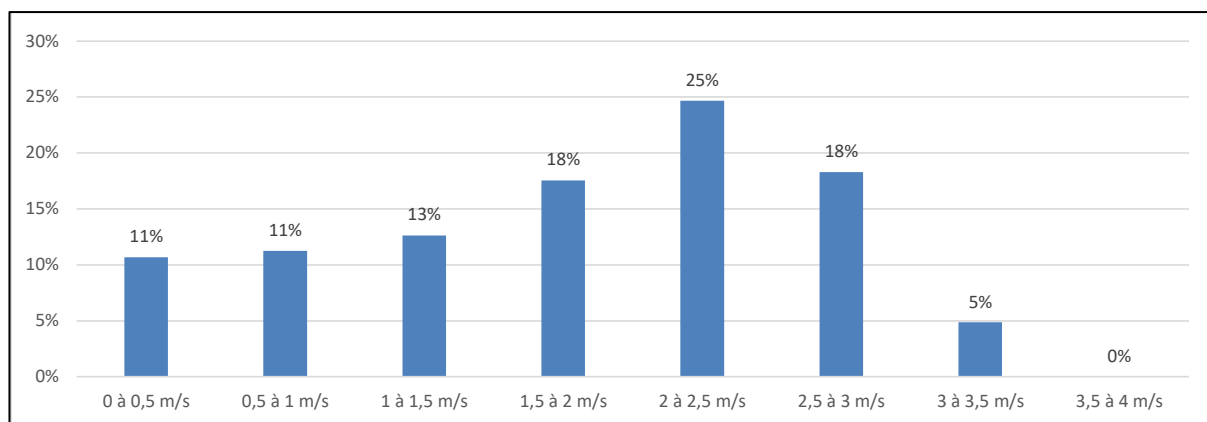


Figure 6 Occurrence des vitesses de courants dans une zone donnée

9.4 Profondeur d'eau

La profondeur de l'eau où se trouve la prise d'eau affectera la température et la qualité de l'eau de mer. Lors du choix d'un emplacement pour la prise d'eau, il est important de s'assurer que l'eau de mer est suffisamment profonde pour maintenir des températures froides. Cependant, il convient de considérer qu'un emplacement plus profond entraînera des pipelines plus longs et des coûts d'installation plus élevés.

9.5 Vagues

La force et la direction des vagues peuvent affecter le débit de l'eau de mer et dépendre de la profondeur d'eau de la prise d'eau.

La force et la direction des vagues détermineront également la stabilité, et donc le dimensionnement du ballast pour les conduites de captage et de décharge.

Plusieurs caractéristiques des vagues sont généralement mesurées, notamment :

- La hauteur des vagues est la distance verticale entre la crête (point le plus haut) et le creux (point le plus bas) d'une vague. La hauteur des vagues est généralement mesurée en mètres.
- La période des vagues est le temps que mettent deux crêtes successives pour passer un point fixe. La période des vagues est généralement mesurée en secondes.
- La fréquence des vagues est le nombre de vagues passant par un point fixe par unité de temps. La fréquence des vagues est généralement mesurée en cycles par seconde, ou hertz (Hz).
- La direction des vagues est la direction d'où viennent les vagues. La direction des vagues est généralement mesurée en degrés à partir du vrai nord.
- L'énergie des vagues est la quantité d'énergie contenue dans une onde, qui est liée à sa hauteur, sa période et sa fréquence. L'énergie des vagues est généralement mesurée en joules (J) ou en kilowattheures (kWh).
- Le spectre des vagues est un graphique de la distribution de l'énergie des vagues en fonction de la période et de la fréquence des vagues. Le spectre des vagues fournit une image plus détaillée des caractéristiques des vagues, ce qui peut être utile pour prédire leur comportement et leurs effets sur les zones côtières.

La mesure des vagues est généralement effectuée à l'aide d'instruments tels que des bouées à vagues, des mires à vagues ou des systèmes radar. Ces instruments peuvent fournir des données en temps réel sur les caractéristiques des vagues.

Le graphique suivant montre, à titre d'exemple, les principales données de vagues qui doivent être collectées avant de concevoir un système SWAC. La direction des vagues est donnée en vert, le Hs observé est donné en bleu clair et le Hs moyen en bleu foncé. La courbe verte donne la direction des vagues.

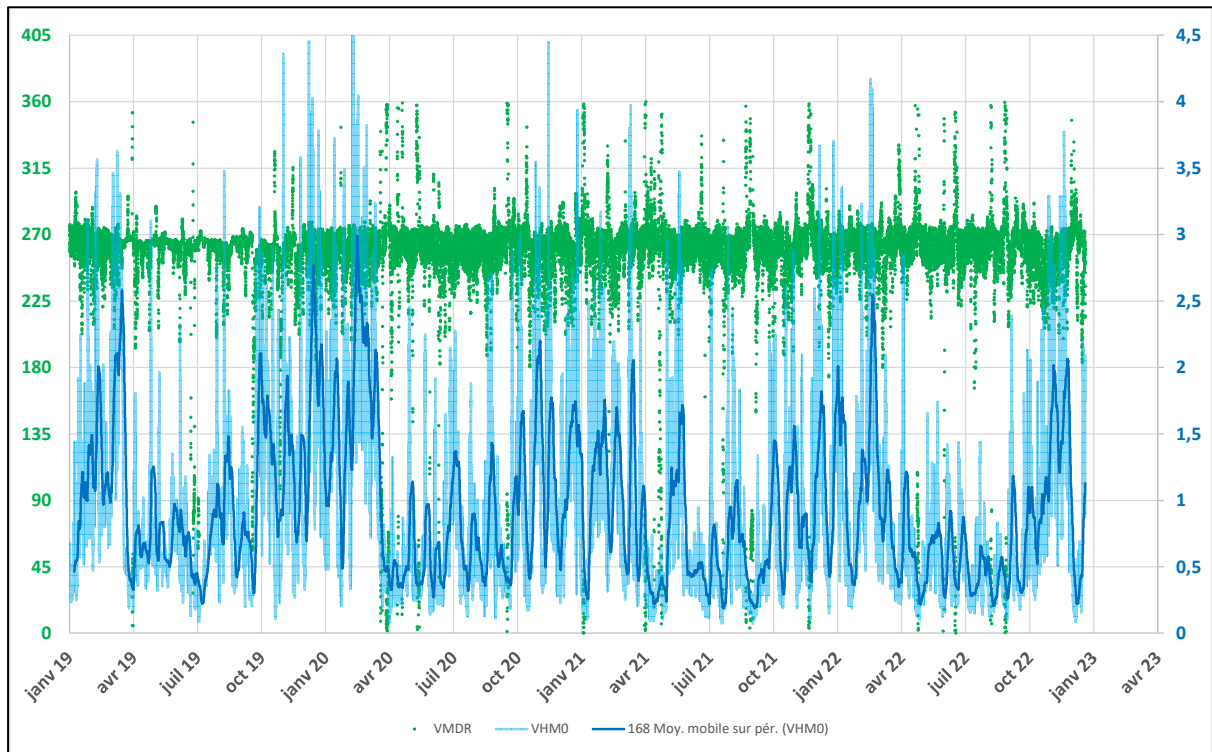


Figure 7 Hauteur et direction significatives des vagues observées dans une zone donnée entre 2019 et 2023

Les données d'enregistrement ci-dessus ont également montré que la vague est monodirectionnelle, suivant l'axe Ouest-Est.

10. Évaluation économique

10.1 Efficacité énergétique

Afin d'évaluer la pertinence économique d'un système SWAC, il est nécessaire de connaître la consommation de froid de l'installation cliente considérée.

La figure ci-dessous est un exemple de consommation de froid des différents process d'une installation client.

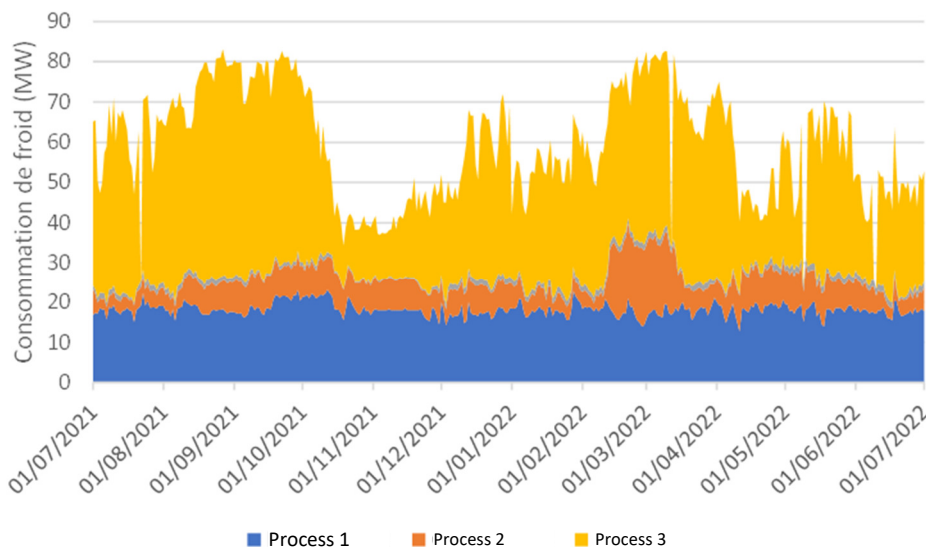


Figure 8 Consommation thermique de l'installation du client (froid)

On o

Energie produite vs Puissance du SWAC

mine

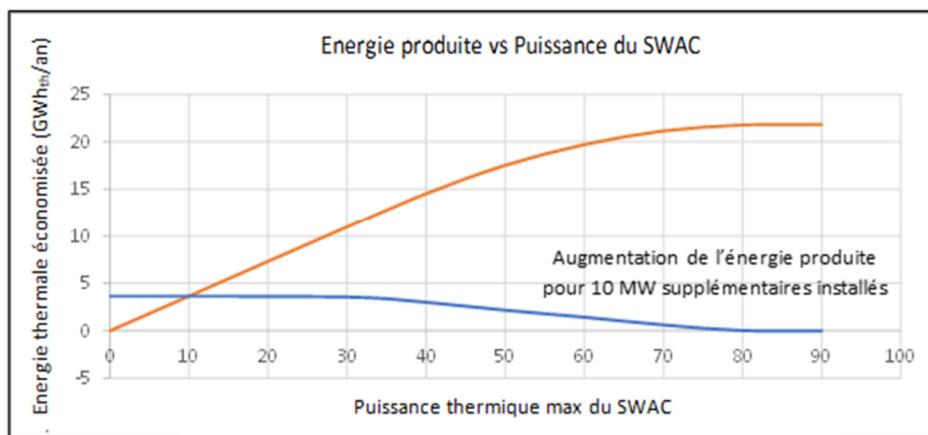
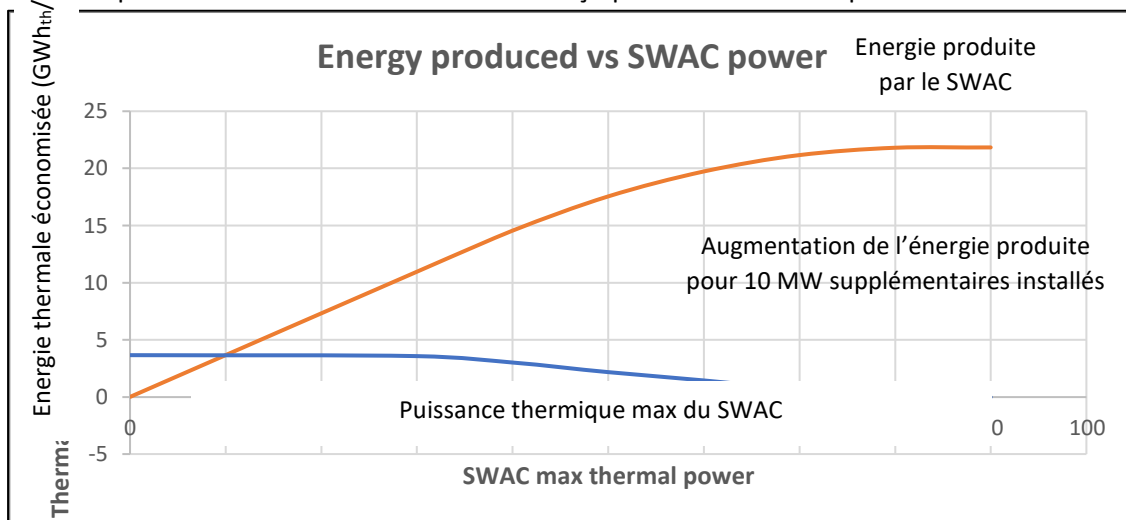


Figure 9 Production d'énergie utile du SWAC en fonction de sa puissance nominale

Sur la figure ci-dessus, chaque MW supplémentaire installé au-delà de 50 MW (soit une augmentation de l'investissement) générera une plus petite augmentation de l'énergie thermique économisée.

Sur cet exemple, la courbe bleue donne cette efficacité énergétique marginale par 10 MW supplémentaires installés, la puissance thermique maximale du SWAC doit donc être limitée à 60 MW au maximum.

10.2 Analyse de coût

La réalisation d'une analyse des coûts d'un projet (SWAC) nécessite la prise en compte de plusieurs facteurs qui peuvent avoir un impact sur le coût global du projet. Les facteurs généraux à considérer comprennent :

- Coûts d'investissement engagés pour la mise en place du système SWAC. Cela comprend les coûts d'équipement, d'installation, de conception et d'ingénierie, d'autorisation et de construction.
- Coûts d'exploitation engagés pour faire fonctionner le système. Il comprend les coûts d'énergie, d'entretien, de main-d'œuvre, de réparation.
- Coûts environnementaux pour respecter les réglementations environnementales, telles que l'élimination des déchets et les contrôles des émissions.
- Coûts du terrain pour l'acquisition et l'utilisation du terrain pour le projet.

- Incitations gouvernementales pouvant être fournies par des institutions locales ou nationales pour promouvoir l'utilisation de sources d'énergie renouvelables comme un système SWAC.
- Les échéanciers du projet, car une durée incontrôlée du projet, peuvent avoir un impact sur le coût global du projet.
- Coûts de maintenance engagés pour réparer ou remplacer l'équipement, les pièces de rechange ou d'autres composants qui sont usés ou endommagés au fil du temps.

Pour les 3 études de cas exposées dans ce rapport et pour les options d'emplacement de la pompe, les éléments de coût à prendre en compte sont les suivants :

- **Ingénierie / Gestion de projet**
 - Gestion de projet, ingénierie de conception détaillée, ingénierie d'installation
 - Génie des procédés / Permis / Environnement / ITT
 - Etude géophysique et géotechnique
- **Fabrication / Approvisionnement / Transit vers le chantier**
 - Approvisionnement et transport de pipelines
 - Acquisition de pompes à eau de mer et turbine à eau (S2)
 - Acquisition des échangeurs et équipements associés (selon solution)
- **Installation**
 - Travaux d'excavation à terre et remblayage si nécessaire.
 - Remorquage de tronçons de pipeline depuis le chantier
 - Approvisionnement, transport et stockage des colliers en béton et des ballasts supplémentaires
 - Achat de lest éco-conçu
 - Achat de bobines de raccordement et brides scellées
 - Préparation et raccordement des tronçons de conduite sur le chantier
 - Installation de colliers en béton le long des tronçons de conduites
 - Définition et balisage des tracés avec des bouées (plongeurs + ravitailleur)
 - Préparation du fond marin le long du tracé (y compris la mobilisation du navire de ravitaillement et des plongeurs/ROV pour installer des structures de ballast afin d'améliorer le pouvoir de stabilisation du sol et/ou d'éliminer les objets obstruant)
 - Installation du tronçon de canalisation jusqu'au fond marin (préparation des poids morts + fonçage de la canalisation + déploiement de lest additionnel & éco-conçus)
- **Installation du système de pompe (selon l'emplacement de la pompe sélectionné)**

En considérant tous les facteurs exposés ci-dessus, une analyse complète des coûts d'un projet SWAC peut être faite afin de permettre une décision éclairée sur sa faisabilité et sa rentabilité.

11. Avantages et inconvénients des 3 solutions

Cette section décrit les avantages et les inconvénients des trois cas de conception SWAC étudiés et les deux options d'emplacement pour le système de pompage principal (pompes sous-marines ou dans un puits profond), sur la base des critères suivants :

- Faisabilité de l'installation et Exploitation

- Coût

11.1 Solution 1

SOLUTION 1		
CRITÈRE	AVANTAGES	LES INCONVÉNIENTS
MONTAGE / FONCTIONNEMENT	Moyens d'excavation requis modérés et travaux d'excavation réduits (tranchées ouvertes uniquement)	
	Système de refroidissement efficace car l'échangeur de chaleur de l'usine est directement alimenté en eau de mer froide.	Risque de vide à l'intérieur du système de conduites.
COÛT	Coût d'installation et coût d'approvisionnement modérés pour le système de pompage	
	Meilleur coefficient de performance pour cette solution	

Table 5 Avantages et inconvénients de la solution 1

11.2 Solution 2

SOLUTION 2		
CRITÈRE	AVANTAGES	LES INCONVÉNIENTS
MONTAGE / FONCTIONNEMENT	Turbine à eau intégrée pour récupérer une partie de l'énergie de la conduite de rejet d'eau de mer	
		Pompe puissante en raison de la présence de la turbine à eau
COÛT	Coûts d'installation modérés	Coût d'approvisionnement élevé pour la pompe puissante (et la turbine à eau avec convertisseur d'énergie associé)
		Travaux d'excavation supplémentaires
		Solution avec le plus faible coefficient de performance (malgré la turbine à eau récupérant une partie de l'énergie)

Table 6 Avantages et inconvénients de la solution 2

11.3 Solution 3

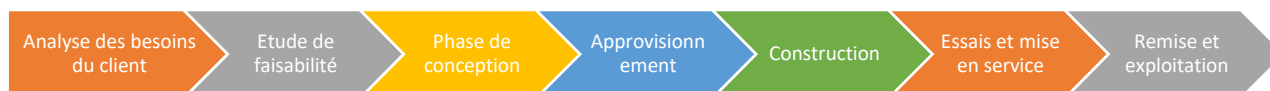
SOLUTION 3		
CRITÈRE	AVANTAGES	LES INCONVÉNIENTS
MONTAGE / FONCTIONNEMENT	Pompe à eau de mer de faible capacité (dans le cas où elle est installée sous-marine, facile à récupérer par les plongeurs pour inspection)	Puissance thermique du système inférieure à cause des 2 échangeurs de chaleur en série (échangeur du site et échangeur tubulaire)
	Pas besoin d'une pompe supplémentaire dédiée au circuit de dérivation	
COÛT	Travaux d'excavation modérés	Acquisition d'un échangeur de chaleur tubulaire

	Solution la moins chère pour les travaux d'installation et l'approvisionnement du système de pompage	
	Coefficient de performance satisfaisant	

Table 7 Solution 3 avantages et inconvénients

12. Planification de projet

Un aperçu général du processus de planification typique d'un projet SWAC, de l'analyse des besoins du client à la mise en service, est donné ci-dessous :



- **Analyse des besoins du client** : La première étape consiste à comprendre les exigences du client pour le système SWAC. Cela inclut la capacité de refroidissement requise, l'emplacement du système, la température et la qualité de l'eau, ainsi que tout autre besoin ou contrainte spécifique.
- **Étude de faisabilité** : Une fois les exigences comprises, une étude de faisabilité est menée pour déterminer la faisabilité technique et économique du projet. Cela comprend une étude du site, une analyse technique de la conception du système et une analyse financière pour déterminer la rentabilité du projet.
- **Phase de conception** : Sur la base des résultats de l'étude de faisabilité, la conception détaillée du système SWAC est développée. Cela comprend la sélection des équipements, tels que les pompes, les échangeurs de chaleur et les tours de refroidissement, ainsi que la conception du réseau de conduites et des systèmes de contrôle.
- **Approvisionnement** : L'équipement et les matériaux requis pour le projet sont achetés auprès des fournisseurs.
- **Construction** : Le système SWAC est construit selon la conception et les spécifications développées dans les phases précédentes. Cela comprend l'installation de l'équipement, des conduites et des systèmes de contrôle.
- **Test et mise en service** : Une fois le système construit, il est testé pour s'assurer qu'il répond aux spécifications de conception et aux exigences du client. Cela comprend les tests de performance, la mise en service des systèmes de contrôle et tous les ajustements nécessaires pour optimiser les performances du système.
- **Remise et exploitation** : Une fois le système testé et mis en service, il est remis au client pour exploitation. Cela inclut la formation du personnel du client sur le fonctionnement et la maintenance du système.

13. Test et mise en service du système

Un système SWAC nécessite des tests et une mise en service minutieux avant de pouvoir être démarré. Voici quelques-uns des tests et tâches de mise en service qui doivent être effectués avant de démarrer un système SWAC :

- **Vérifications avant la mise en service** : elles comprennent une inspection approfondie du système pour s'assurer que tous les équipements et composants sont installés correctement et

conformément aux spécifications de conception. Tout défaut ou dommage doit être identifié et réparé avant de continuer.

- Analyse de la qualité de l'eau : la qualité de l'eau de mer utilisée dans le système SWAC est essentielle à ses performances. Des tests de qualité de l'eau doivent être effectués pour s'assurer que l'eau répond aux spécifications requises pour la température, la salinité et autres paramètres.
- Tests électriques : des tests électriques doivent être effectués pour s'assurer que tous les composants électriques, y compris les moteurs, les pompes et les contrôleurs, fonctionnent correctement et en toute sécurité.
- Test du système de contrôle : le système de contrôle du système SWAC doit être testé pour s'assurer qu'il fonctionne correctement et que toutes les séquences de contrôle fonctionnent comme prévu.
- Tests de performance : une fois toutes les vérifications préalables à la mise en service terminées, le système doit être testé pour vérifier ses performances. Cela comprend le test de la capacité de refroidissement, de la consommation d'énergie et d'autres paramètres pour s'assurer que le système fonctionne conformément aux spécifications de conception.
- Documentation de mise en service : Enfin, toutes les tâches et tous les résultats de la mise en service doivent être documentés dans un rapport de mise en service. Ce rapport doit inclure tous les résultats des tests, tous les défauts ou problèmes identifiés et toutes les mesures correctives prises pour les résoudre.

Il est important de noter que les tests spécifiques et les tâches de mise en service requis pour un système SWAC peuvent varier en fonction de la conception du système, des réglementations locales et d'autres facteurs. Il est recommandé de consulter le concepteur du système ou un agent de mise en service qualifié pour élaborer un plan de mise en service spécifique au système en cours d'installation.

14. Entretien et surveillance

Pour assurer le fonctionnement efficace d'un système de climatisation à eau de mer (SWAC), il est important d'établir un programme d'entretien et de surveillance régulier et de suivre les recommandations du fabricant et les meilleures pratiques de l'industrie. Certaines des principales tâches de maintenance et de surveillance sont les suivantes :

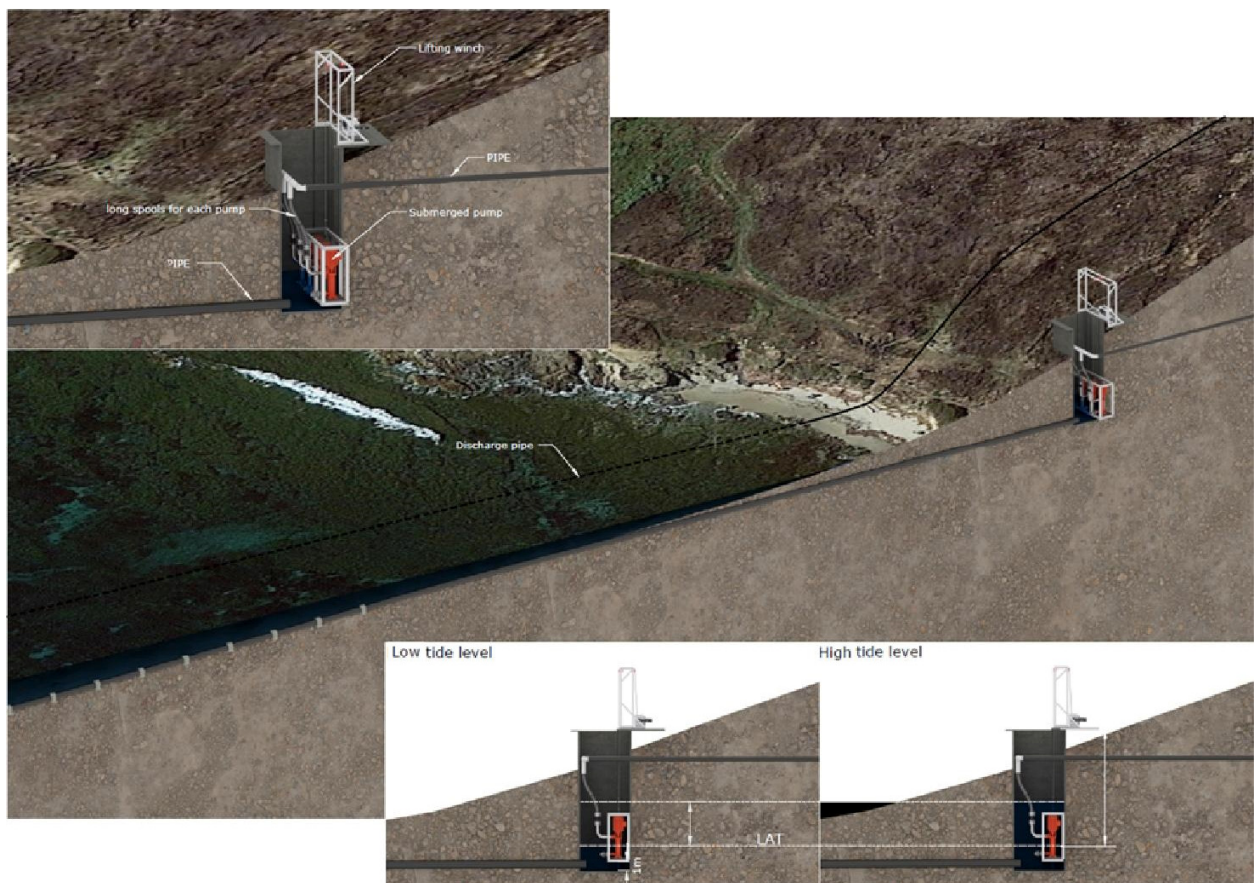
- Nettoyage régulier : les échangeurs de chaleur, les évaporateurs et les autres composants du système SWAC peuvent accumuler l'encrassement et la croissance marine au fil du temps. Un nettoyage régulier (notamment de la crépine) de ces composants est nécessaire pour maintenir l'efficacité du système et prévenir la corrosion.
- Surveillance de la qualité de l'eau : La qualité de l'eau de mer peut affecter l'efficacité et la fiabilité du système. Sa surveillance doit être effectuée régulièrement pour s'assurer qu'elle répond aux spécifications requises et que le système n'est pas affecté par des facteurs tels que la prolifération d'algues, la turbidité ou la pollution.
- Système électrique et de contrôle : Les composants électriques et le système de contrôle doivent être vérifiés régulièrement pour s'assurer qu'ils fonctionnent correctement et en toute sécurité. Tout problème doit être identifié et réparé rapidement.
- Surveillance des performances : les performances du système doivent être surveillées en permanence, y compris la capacité de refroidissement, la consommation d'énergie et d'autres

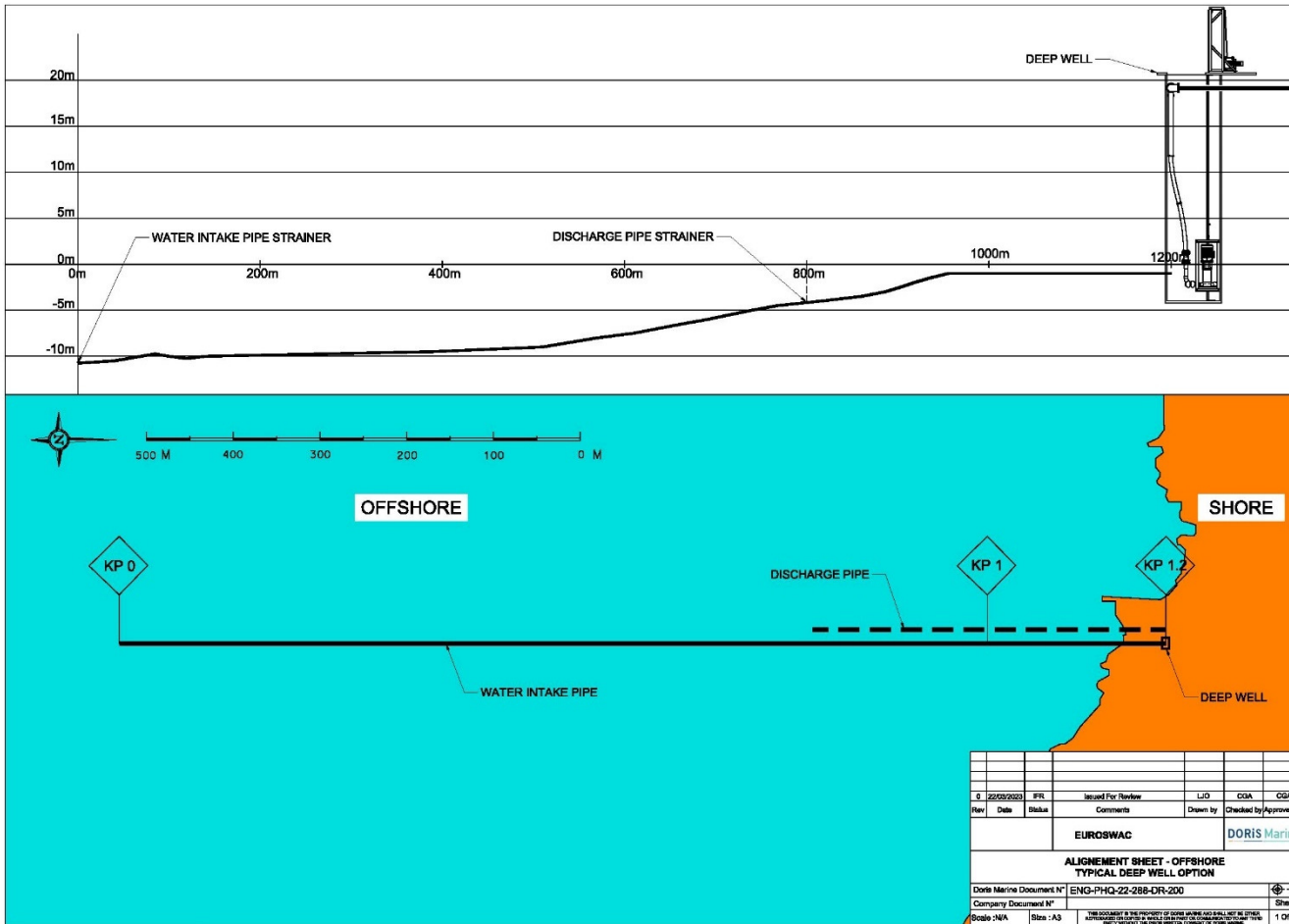
paramètres clés, pour aider à identifier les dérives ou les problèmes susceptibles d'affecter l'efficacité ou la fiabilité du système.

- Entretien des pompes et autres équipements mécaniques : Les pompes, moteurs et autres équipements mécaniques utilisés dans le système SWAC doivent être entretenus régulièrement pour s'assurer qu'ils fonctionnent efficacement et pour éviter les pannes.
- Optimisation du système : Au fil du temps, des changements dans les conditions de fonctionnement, tels que des changements dans la température de l'eau de mer, peuvent affecter son efficacité. Une optimisation régulière du système, y compris des ajustements du système de contrôle et d'autres paramètres, peut aider à maintenir son efficacité dans le temps.

15. Annexe – Plans d'ensemble

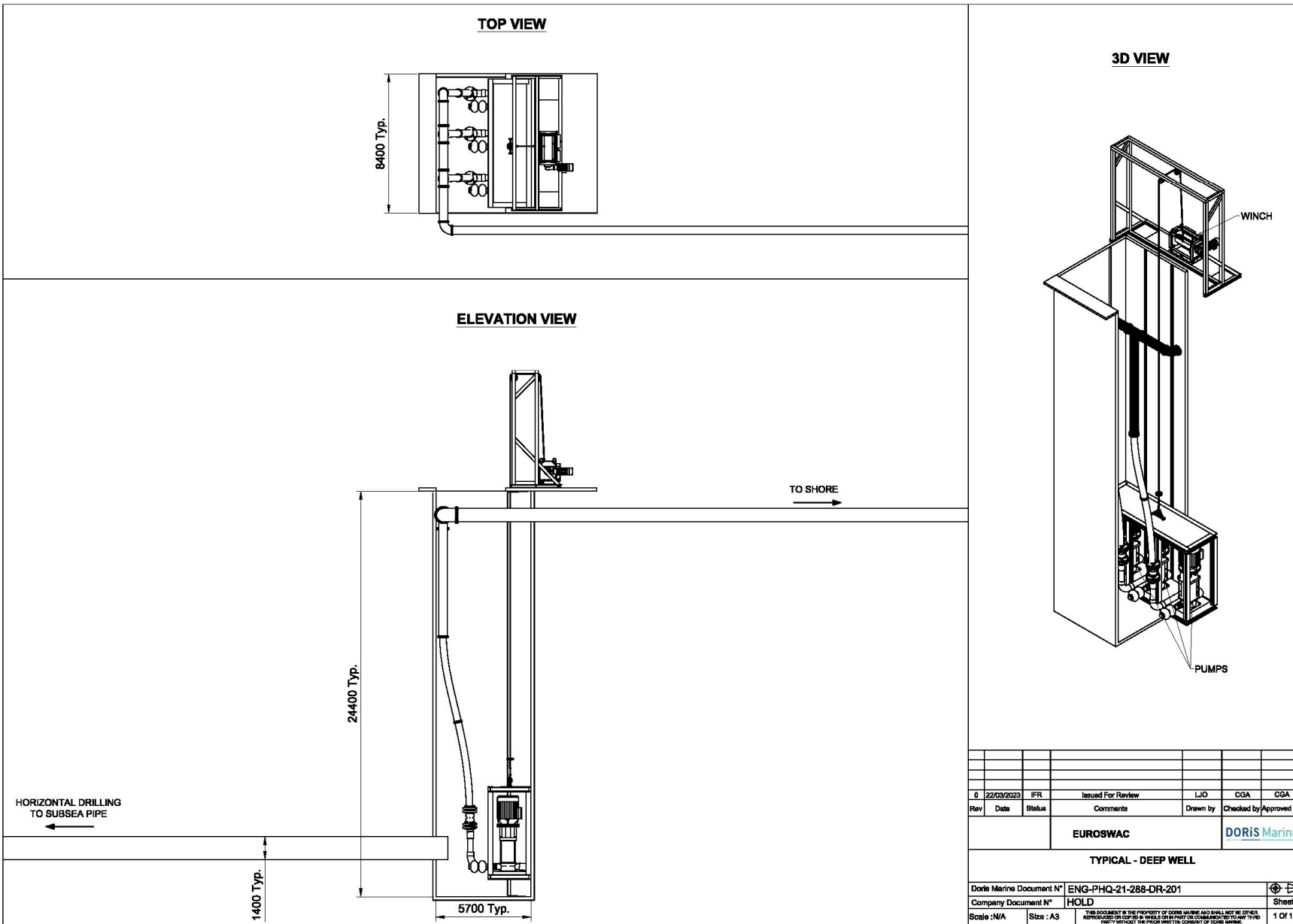
15.1 Puits

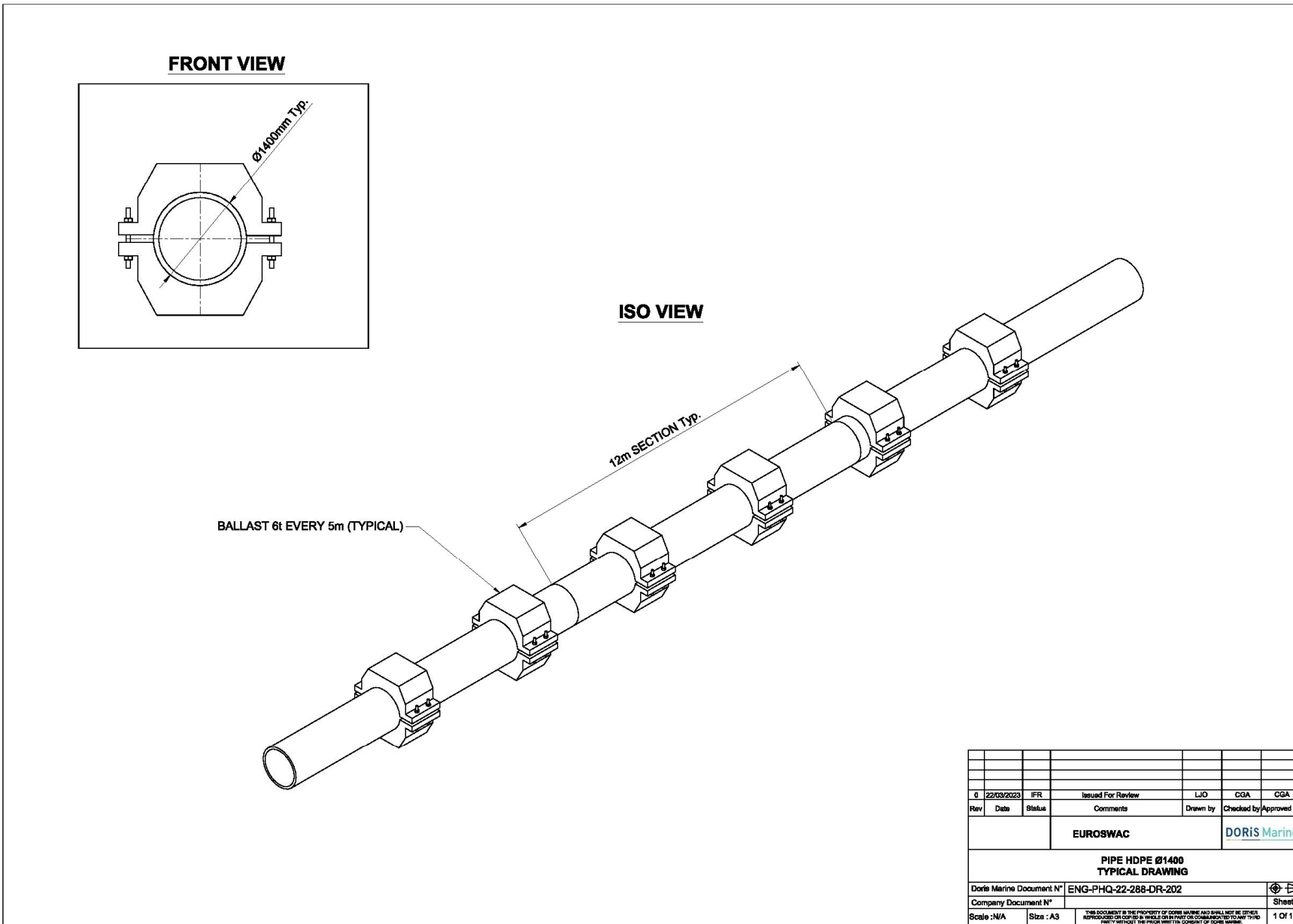


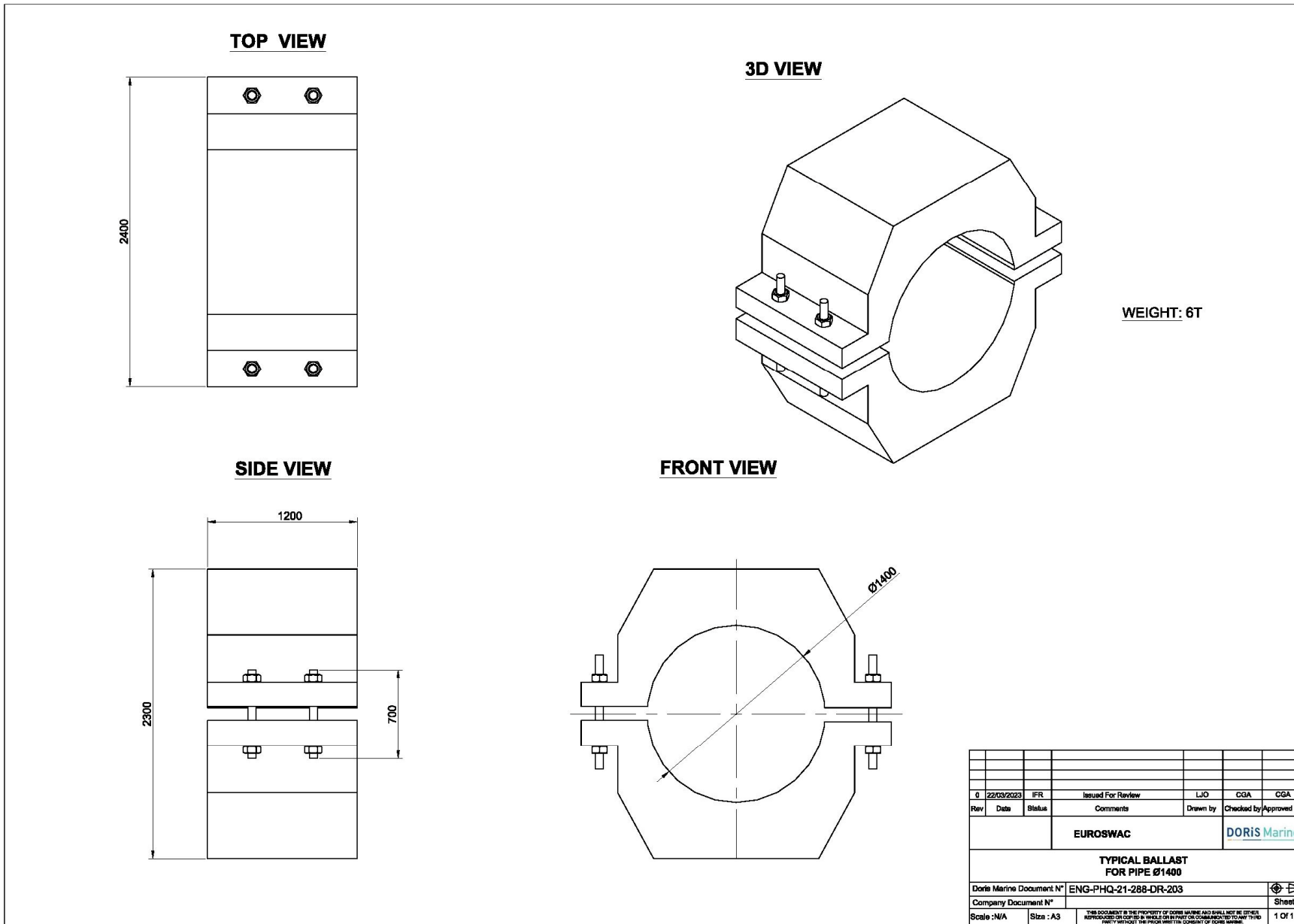


Rev	Date	By/Iss	Comments	Drawn by	Checked by/Approved by
0	22/02/2023	IFS	Issued For Review	LJD	CGA CGA
			EUROSWAC	DORIS Marine	
ALIGNEMENT SHEET - OFFSHORE TYPICAL DEEP WELL OPTION					
Doris Marine Document N°		ENG-PHQ-22-288-DR-200			
Company Document N°					
Scale: 1/NA	Size: A3	<small>THIS DOCUMENT IS THE PROPERTY OF EURO SWAC AND SHALL NOT BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF EURO SWAC.</small>			1 Of 1

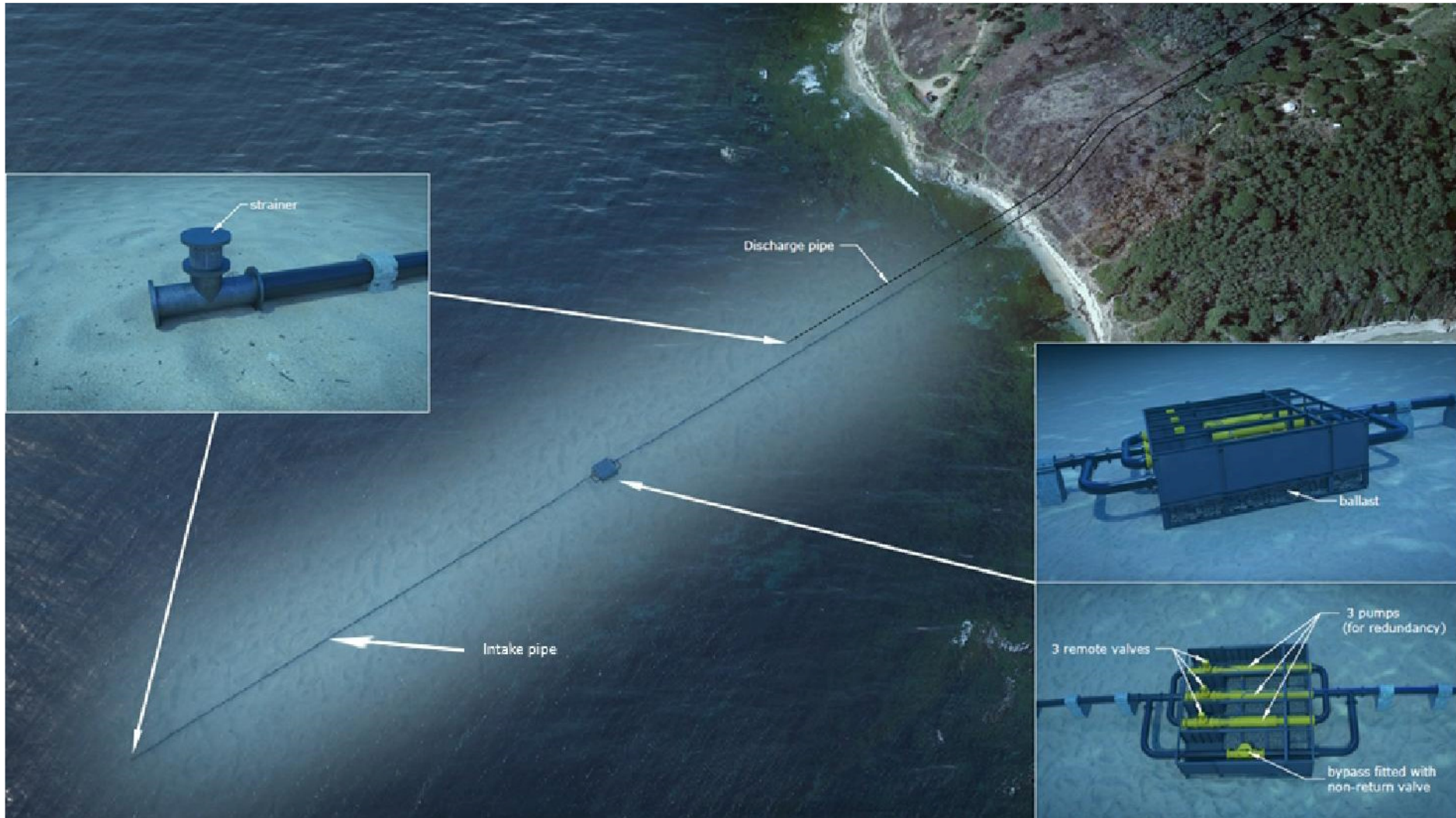


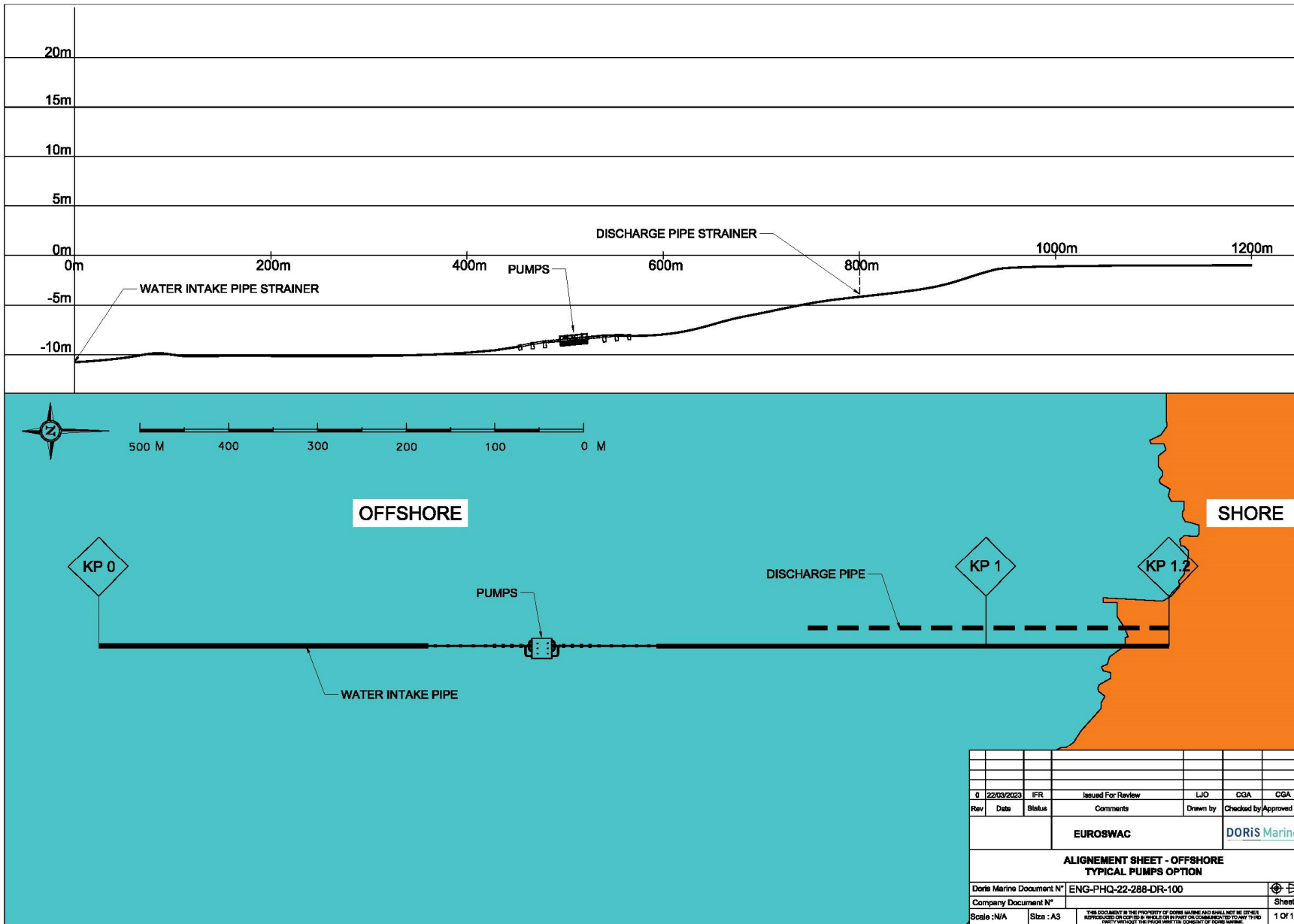




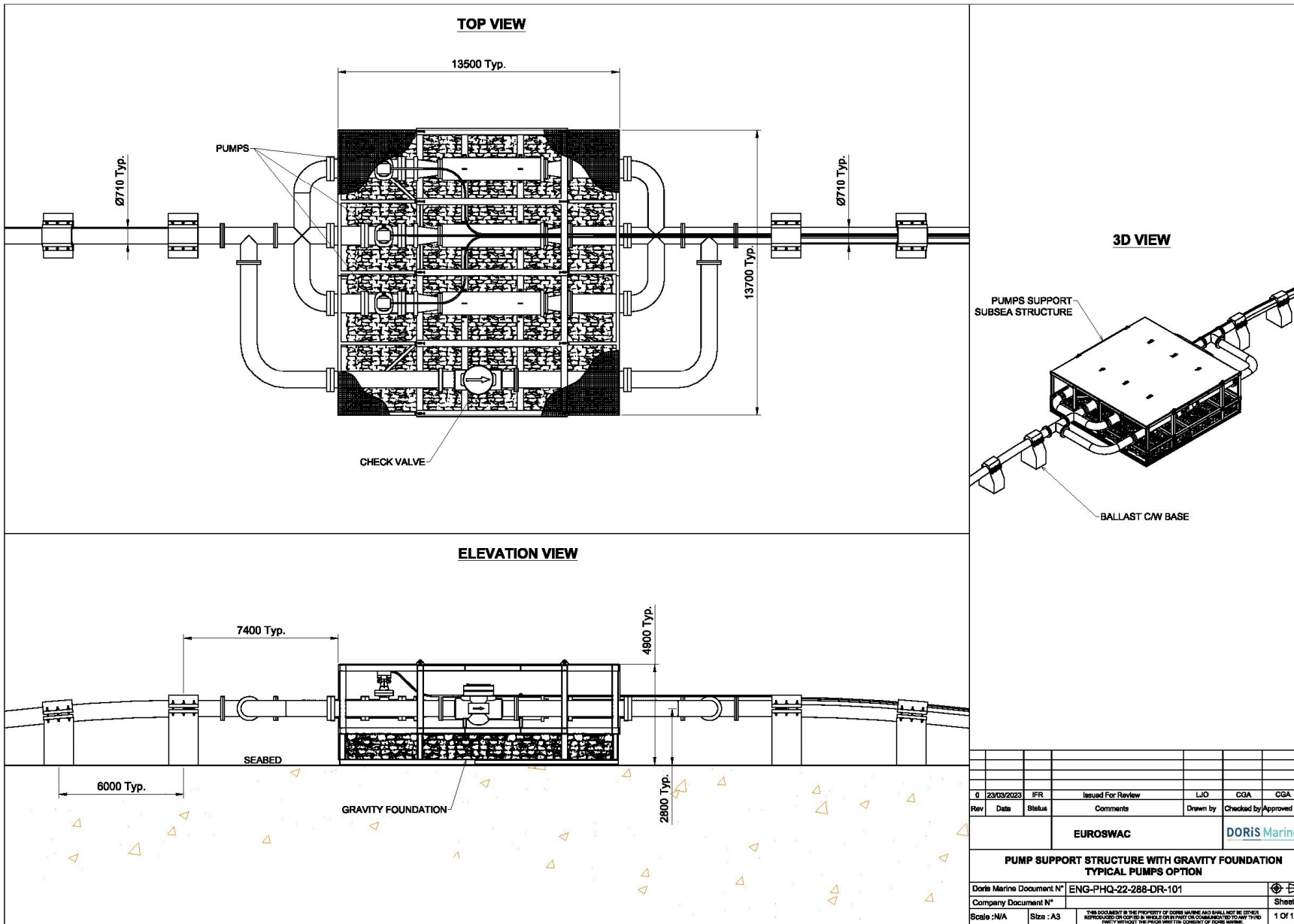


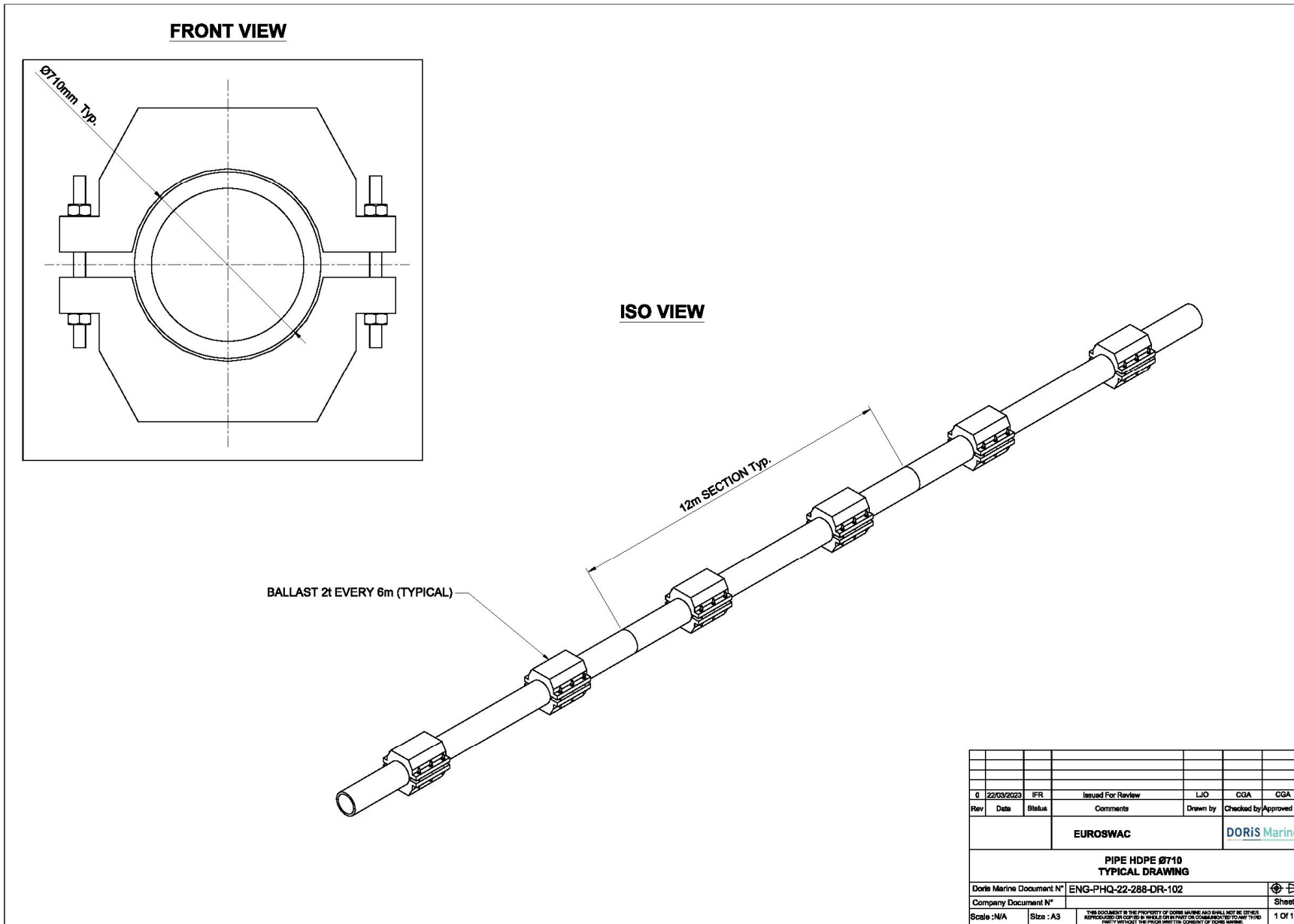
15.2 Pompes immergées



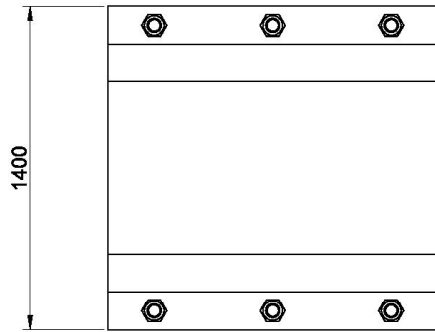


0	22/03/2023	IFR	Issued For Review	LIG	CGA	CGA
Rev	Date	Status	Comments	Drawn by	Checked by	Approved by
EUROSWAC				DORIS Marine		
ALIGNEMENT SHEET - OFFSHORE TYPICAL PUMPS OPTION						
Doris Marine Document N°				ENG-PHQ-22-288-DR-100		1 of 1
Company Document N°						Sheet
Scale : N/A		Size : A3		THIS DOCUMENT IS THE PROPERTY OF DORIS MARINE AND SHALL NOT BE COPIED, REPRODUCED OR COPIED IN WHOLE OR IN PART OR TRANSMITTED TO ANY THIRD PARTY WITHOUT THE PREVIOUS WRITTEN CONSENT OF DORIS MARINE.		1 of 1

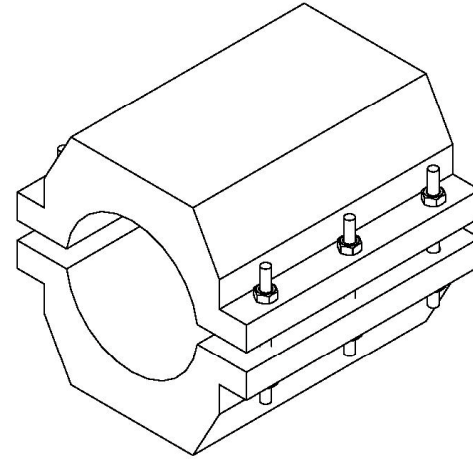




TOP VIEW

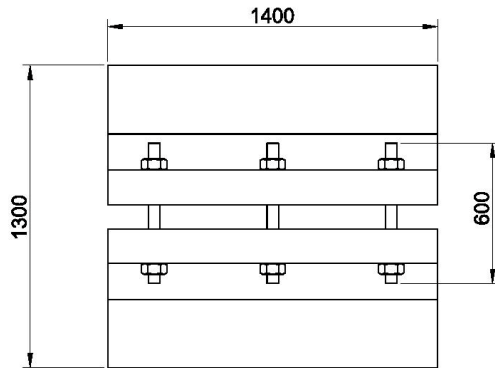


3D VIEW

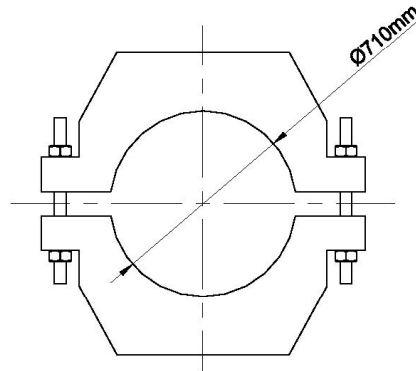


WEIGHT: 2T

SIDE VIEW



FRONT VIEW



Rev	Date	Status	Comments	Drawn by	Checked by	Approved by
0	22/03/2023	IFR	Issued For Review	LJO	CGA	CGA
EUROSWAC				DORIS Marine		
TYPICAL BALLAST FOR PIPE Ø710						
Doris Marine Document N°		ENG-PHQ-21-288-DR-103				Sheet
Company Document N°						1 Of 1
Scale : N/A		Size : A3		<small>THIS DOCUMENT IS THE PROPERTY OF DORIS MARINE AND SHALL NOT BE COPIED, REPRODUCED OR DISTRIBUTED IN WHOLE OR IN PART OR TRANSMITTED TO ANY THIRD PARTY WITHOUT THE PREVIOUS WRITTEN CONSENT OF DORIS MARINE.</small>		

