

Énergie thermique des mers : Les centrales à cycle thermodynamique fermé

*Thermal energy from the sea :
stations using the closed thermodynamic cycle*

R. Thiennot

Conseiller à la Présidence de la Société Générale
de Techniques et d'Études,
Président du Comité Directeur ETM-Empain-Schneider

Préambule

Dans les régions intertropicales, la mer en surface est à une température moyenne de l'ordre de 28°C. Les masses des couches d'eau superficielles sur quelques 20 ou 30 m de profondeur représentent un immense réservoir d'énergie solaire stockée.

Par contre, dans les profondeurs, vers 1 000 m., les couches d'eau sont à une température voisine de 4°C.

Plus profondément, la température baisse encore mais très lentement. Dans les déplacements gigantesques des masses océaniques, ces eaux dans la plupart des océans proviennent des régions antarctiques (Fig. 1).

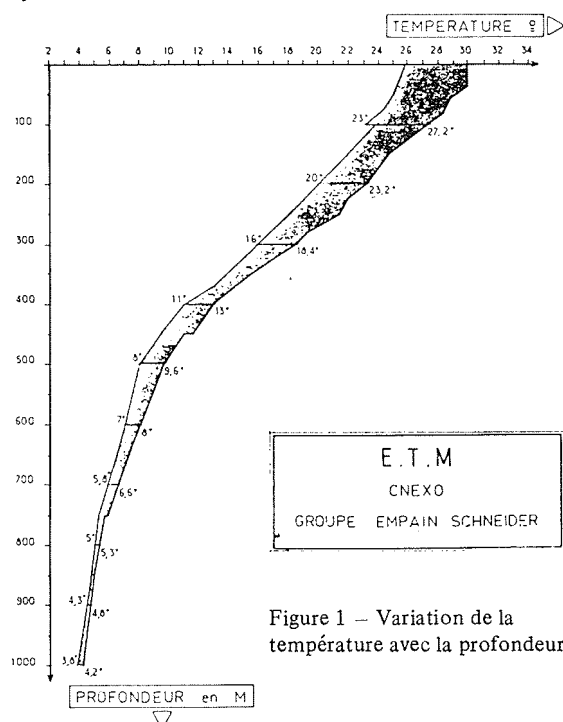
L'idée d'utiliser ces masses d'eaux comme source chaude et source froide pour faire fonctionner une machine thermodynamique capable de produire de l'énergie mécanique est ancienne. Georges Claude, le pionnier de cette énergie, par les tentatives qu'il a faites au début de ce siècle puis entre les deux guerres a prouvé la parfaite validité du principe ; mais il ne put jamais réaliser de conduite d'aspiration d'eau froide capable de résister à l'action destructrice de la mer et toutes les réalisations qu'il entreprit échouèrent. Après la dernière guerre, le coût très bas de l'énergie fossile ôta, pour un temps, tout intérêt à cette source d'énergie et il fallut attendre les chocs pétroliers successifs pour que le monde s'y intéressât de nouveau.

Depuis Georges Claude, des progrès technologiques considérables ont été réalisés tant dans la technique des travaux à la mer que dans la mise en valeur des sources d'énergie à bas niveau de température (géothermie, accroissement du rendement des centrales de puissance par la mise au point du cycle binaire entre autres).

L'entreprise apparaît maintenant possible.

Les centrales maréthermiques à cycle fermé implantées en site terrestre

1. Comme toute machine thermodynamique, une centrale maréthermique produit de l'énergie mécanique par transformation d'état physique d'un fluide thermodynamique vaporisé par échange de chaleur avec la source chaude ; la vapeur produite se détend dans une turbine puis se condense au contact de la source froide : c'est le cycle de Rankine.



Dans un cas, le fluide thermodynamique est l'eau. La vapeur est produite par ébullition directe de l'eau chaude et la condensation se fait par mélange entre la vapeur et l'eau de mer froide. Le cycle est dit ouvert.

Dans d'autres, le fluide thermodynamique employé peut être tout autre corps, fréons, hydrocarbures, ammoniac, etc., présentant des caractéristiques physiques adéquates dans la marge des températures rencontrées. Les transferts calorifiques se font dans des échangeurs de chaleur générateur de vapeur (GV) et condenseur (CD) au travers de larges surfaces d'échange. A la sortie du CD, le fluide est renvoyé au GV dans un continuuel recyclage. Le cycle est dit fermé (voir Fig. 2).

Les circuits du fluide sont placés sous une pression équivalente à sa tension de vapeur. C'est-à-dire pour le cycle ouvert sous un vide poussé de 10 à 30 millibars et pour le cycle fermé sous des pressions variables avec les fluides mais susceptibles d'atteindre une dizaine de bars et plus.

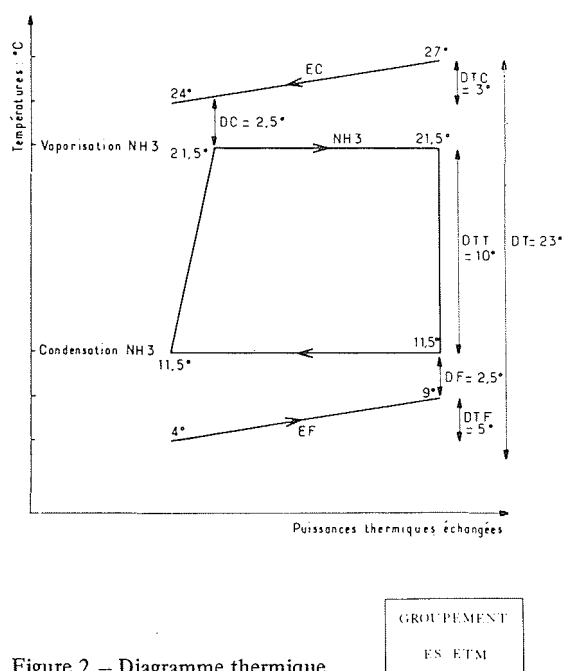


Figure 2 - Diagramme thermique.

2. Les centrales fonctionnant selon ces principes doivent, quel que soit le cycle, accéder à la source froide mais elles peuvent être érigées selon les divers modes d'implantation envisageables soit sur plateforme flottante, ancrée au large soit construites ou échouées sur le plateau continental par des fonds de 100 à 200 m comme le sont par exemple certaines plateformes pétrolières en Mer du Nord, soit installées à terre si les fonds de 800 à 1 000 m sont relativement proches du rivage.

En fait chaque mode d'implantation a ses contraintes ou ses avantages.

Le choix définitif à retenir dépend essentiellement des caractéristiques géomorphologiques et océano-météorologiques du site d'implantation.

3. Quatre sociétés du Groupe Empain-Schneider, la Société Générale de Techniques et d'Etudes (SGTE) pour

la conception générale, Creusot-Loire (CL) pour l'ensemble mécanique et thermique, Jeumont-Schneider (JS) pour l'équipement électrique et les pompes de très grande capacité, Spie-Batignolles Bâtiment Travaux Publics (SBTP) pour le génie civil et la conduite d'eau froide, ont entrepris l'étude et le développement des centrales à cycle fermé. En un premier temps et dans le cadre d'études confiées par les Pouvoirs Publics elles ont plus particulièrement défini les conditions d'implantation des centrales en site terrestre et évalué leur rentabilité.

Les centrales maréthermiques à cycle fermé implantées en site terrestre

1. Le Groupement des Sociétés a été conduit à étudier 2 projets de centrales, l'une de 3,5 MW, l'autre de 15 MW nets afin d'encadrer les besoins prévisibles des Pays en voie de développement situés dans la ceinture tropicale.

La vue d'artiste qui est représentée en figure 3 montre la centrale de 15 MW étudiée pour le Territoire de Tahiti. Les caractéristiques que nous donnons ci-après correspondent à ce projet.

Les centrales de ce type comportent l'usine elle-même implantée à terre ou à l'intérieur d'un lagon s'il en existe un, ce qui est le cas ici.

L'eau chaude de surface à 28°C est directement canalisée vers l'usine. Refroidie à 25°C après travail, elle est rejetée en surface. Des dispositions sont prises pour éviter son recyclage. L'eau froide prélevée à 4°C par 1 000 m de fond est amenée à l'usine par une canalisation de 3 000 m. Réchauffée à 9°C , elle est rejetée à une profondeur de 80 à 100 m., où son recyclage n'est plus à craindre.

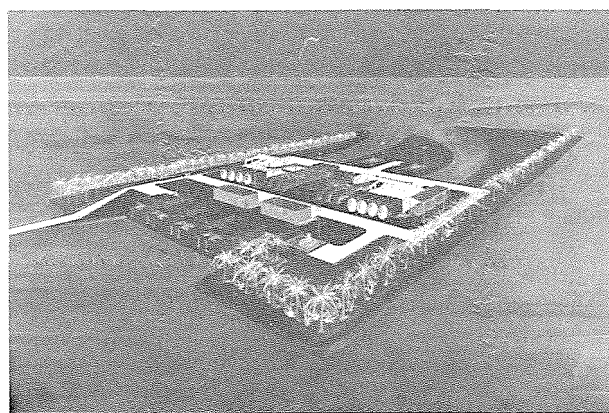


Figure 3 - Vue d'artiste de la Centrale de 10 MW pour Tahiti.

Dans le Projet de Tahiti cette canalisation sous-marine débouche sous l'usine (voir plan d'ensemble (Fig. 4).

L'installation est complétée de stations de pompage disposées sur les circuits chauds et froids.

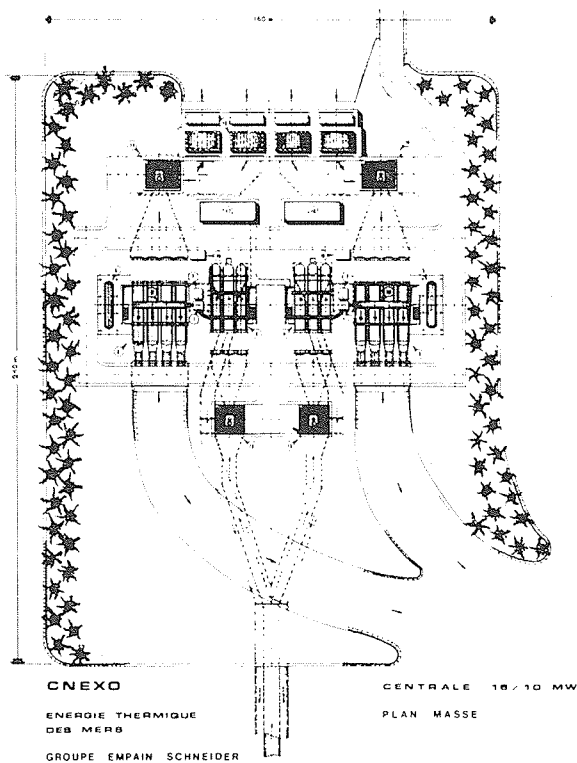


Figure 4 – Centrale 16/10 MW. Plan masse.

2. L'écart entre les températures des sources chaude et froide étant très faible (24°C au maximum), le rendement à attendre de la machine thermodynamique est inévitablement très faible : 2 à 3 % tout au plus. Pour obtenir de cette machine qu'elle produise une puissance significative, il faut envisager de brasser des quantités d'eau chaude et froide considérables. Pour une puissance nette de 15 MW, celles-ci sont respectivement de 60 m^3 et $40\text{ m}^3/\text{seconde}$.

Réaliser de telles centrales implique que l'on puisse maintenant résoudre, avec un haut facteur de sécurité, tant au plan du fonctionnement du système qu'au plan de la tenue à la mer et de la longévité des installations, un certain nombre de problèmes techniques et notamment que l'on puisse :

- concevoir, pour la machine thermodynamique, une turbine et des échangeurs de chaleur de dimensions normales, c'est-à-dire pouvant être réalisés industriellement, sans poser de problèmes technologiques, ou de fabrication difficilement surmontables ;
- construire et poser en mer par fonds importants une conduite, de grande longueur, pour atteindre les fonds de 1 000 m., et de grand diamètre (5,50 m environ), pour véhiculer des quantités aussi importantes d'eau froide.

Le pompage des eaux chaudes de surface, malgré les quantités à prélever, ne présente par contre aucune difficulté ;

– Il faut également que ces centrales puissent produire le kWh à un prix de revient acceptable et si possible compétitif par rapport au prix du kWh produit dans la

zone intertropicale par les centrales conventionnelles fonctionnant au gazole ou même au fuel lourd selon les régions.

Le Groupement s'est alors attaché pour la conception du système à ne recourir qu'à des techniques de pointe mais parfaitement maîtrisées et disponibles dans les fabrications industrielles avancées et sur les grands chantiers de génie civil.

D'autre part des options ou des dispositions fondamentales ont dû être retenues pour les diverses parties du système.

3. Les options fondamentales de l'ensemble thermodynamique

L'ammoniac a été retenu d'emblée comme fluide thermodynamique. Il présente les caractéristiques physiques fondamentales les plus favorables par comparaison avec les autres corps.

a. D'une part à puissance donnée la chute de pression qu'il permet d'atteindre pour détente dans la turbine est la plus élevée et le débit volume de vapeur nécessaire le plus faible. A titre d'exemple, le débit volume d'ammoniac dans un cycle fermé est à puissance égale 200 fois plus faible que le débit volume de vapeur d'eau dans un cycle ouvert.

Les conséquences en sont immédiates, les dimensions des turbines dans l'un et l'autre cas sont très différentes. Leurs diamètres sont pour :

	Ammoniac	Eau
– le bas de gamme (2,5 MW)	1,10 m	6,50 m
– le milieu de gamme (15 MW)	1,20 m	15 m env.

Alors que les turbines à ammoniac restent, en dimension, très en deçà de celles des plus grands groupes de puissance couramment construits, les dimensions qu'il faudrait atteindre pour les groupes à vapeur d'eau portent ceux-ci au-delà des possibilités raisonnables de fabrication, même pour les faibles puissances. Pour ces dernières, et pour le bas de gamme (2,5 MW), afin de rester dans des limites normales d'usinage-montage, il faudrait se contenter de répartir la puissance en 3 ou 4 turbines de puissance unitaire très réduite (0,7 à 0,8 MW).

Une autre conséquence de ces contraintes de fabrication est que a contrario les groupes à l'ammoniac pourront seuls être aisément développés vers de fortes puissances unitaires (50 MW et au-delà), et que, une gamme complète très étendue de turbines de puissance pourra être réalisée industriellement sans poser aucun problème technologique particulier.

Au demeurant les technologies adaptées à l'utilisation de l'ammoniac sont parfaitement maîtrisées par Creusot-Loire qui a acquis une longue expérience dans la réalisation d'unités de production fonctionnant dans des conditions de température et de pression infiniment plus sévères que celles des centrales ETM.

b. D'autre part, l'ammoniac présente le coefficient caractéristique de transfert de chaleur de beaucoup le

plus élevé par comparaison avec les autres fluides utilisables dans un cycle fermé. Il permet donc à puissance égale de réduire l'importance des surfaces d'échange et les volumes des échangeurs donc leur coût.

Creusot-Loire a retenu pour ces appareils les échangeurs horizontaux à tubes d'eau dont les caractéristiques pour le projet sont données dans le tableau 1.

— Dans le GV la vaporisation se fait par film d'ammoniac ruisselant sur les tubes ; l'ébullition est nucléée ;
— Dans le CD la condensation se fait par film et "condensation en gouttes".

Ces échangeurs sont constitués en modules qui, dans leur principe, leur technologie, leurs dimensions sont semblables aux condenseurs des centrales nucléaires construits en grand nombre.

Comme les condenseurs de ces centrales, ils seront nettoyés des bio-salissures marines par élimination mécanique continue d'un type devenu classique. Néanmoins, la vitesse de l'eau dans les tubes est maintenue suffisamment élevée pour en réduire les possibilités d'accrochage.

La fabrication industrielle des échangeurs ne pose donc aucun problème non maîtrisé ainsi que le montrent les figures 5, 6 et 7.

Tous ces matériels, turbines et échangeurs sont en outre suffisamment robustes pour que les centrales puissent, en adoptant les normes voulues, être installées en "extérieur" et rester néanmoins à l'épreuve des cyclones les plus violents.

D'autres particularités doivent être signalées. Le système auto-alimente ses auxiliaires (pompes de circulation d'eau ou de recyclage d'ammoniac) qui prélèvent une partie importante 30 % environ de la puissance brute produite. C'est le prix des pertes de charges apparaissant dans la conduite d'eau froide et les échangeurs. Ce point est particulièrement surveillé dans l'optimisation du système. Des avantages énormes compensent par contre cet état de fait. Compte tenu du très faible écart des températures, de leur totale stabilité dans le temps, du renouvellement permanent du stock d'énergie, la centrale, une fois démarrée, peut fonctionner à régime

constant d'une manière absolument continue aux arrêts pour entretien près.

La stabilité des températures fait que, aucun organe de contrôle ou de régulation n'est nécessaire, et les différents appareils GV, turbine, CD... débitent directement les uns dans les autres. De plus aucune des contraintes habituellement provoquées par les dilata-tions n'apparaît ici. Tous les appareils sont, soit statiques soit tournants à régime constant. Ce sont des conditions de fiabilité idéales et la conduite de ces centrales, comme leur entretien sont des plus simples.

4. Les problèmes liés à la conduite d'eau froide

La conduite d'eau froide, par ses dimensions, par sa disposition en mer au large, posait par contre des problèmes non encore résolus. La morphologie des fonds sur le site n'ayant pu être déterminée de manière suffisamment précise, l'étude dut être menée en se plaçant dans les conditions les plus délicates de réalisation, celles où les accidents du relief sous-marin ne permettraient pas de la laisser reposer directement sur le fond. Les sites favorables sont souvent en effet des îles émergeant de socles volcaniques très tourmentés surgis des grands fonds. De plus elles sont pratiquement toujours exposées sans protection à la grande houle des immenses étendues océaniques. Malgré ces conditions les plus sévères, des solutions ont pu être dégagées qui permettent la réalisation de telles centrales avec un facteur de risque extrêmement réduit.

En effet :

La conduite d'eau froide a pu être totalement protégée contre l'agitation de la houle en surface et jusqu'aux profondeurs de l'ordre de 80 m où la turbulence ne se fait plus sentir. Elle traverse toute cette tranche d'eau perturbée en empruntant un tunnel qui, partant de la terre ferme ou du lagon, atteint la mer ouverte à cette "côte tranquille", en passant sous la frange côtière ou sous la barrière récifale du lagon s'il en existe un.

Percer un tunnel semblable n'est plus, grâce aux techniques de l'injection à l'avancement, une opération

Tableau 1. — Caractéristiques des échangeurs à tubes lisses titane. (Modèle 10 MW)

	GV	Condenseur
Débit eau m^3/s	60	39
Débit NH ₃ kg/s	Alimentation 1254 Vaporisé 570	570
Taux de recirculation	1,2	
Tube lisse titane d_e mm	25	25
e mm	0,7	0,7
nombre	91440	59500
Coefficient d'échange $W/m^2 \text{ } ^\circ C$	1970	2119
Longueur tube m	12,75	17,15
Modules d'échangeurs :		
Nombre	4 x 2	3 x 2
Diamètre m	4,64	4,12
Longueur m	13,25	17,21
Masse unitaire t	145	135

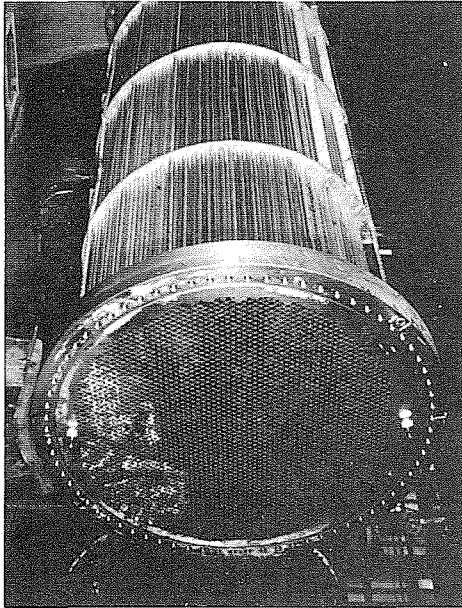


Figure 5. – Faisceau d'échangeur de la taille d'un module ETM.

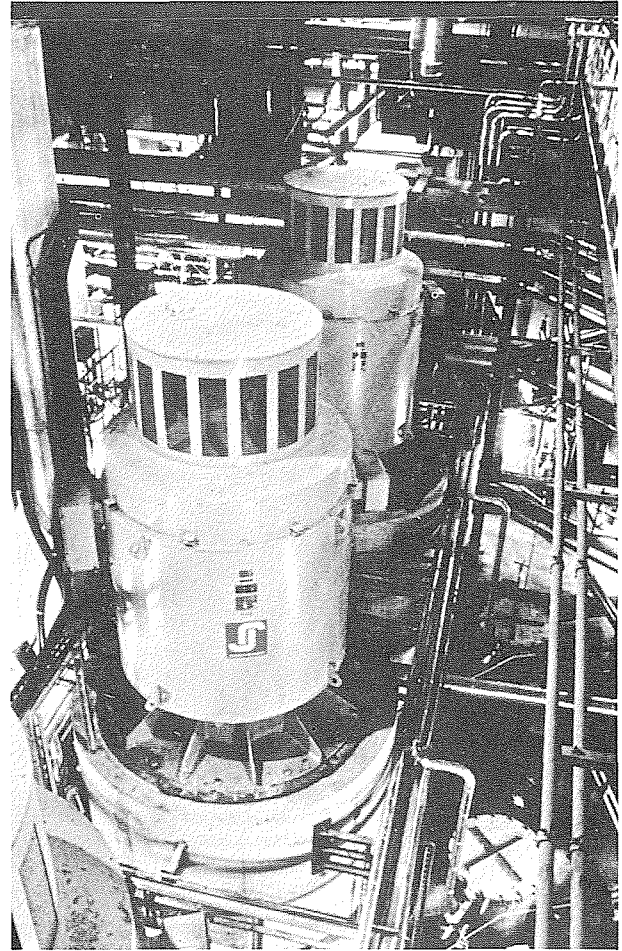
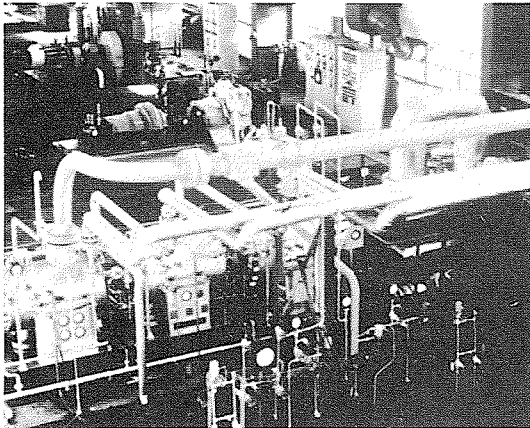


Figure 7 – Pompe de mêmes caractéristiques que celle d'une centrale ETM.

Figure 6 – Turbine de mêmes caractéristiques que celles d'une centrale ETM.

exceptionnelle en génie civil, alors que de nombreuses galeries ont pu être percées dans les Alpes au travers de larges failles de roches bouillantes, gorgées d'eau sous pression extrêmement forte.

La conduite reste ainsi "à l'abri de la mer" aussi bien pendant la pose que pendant toute la durée de vie de la centrale.

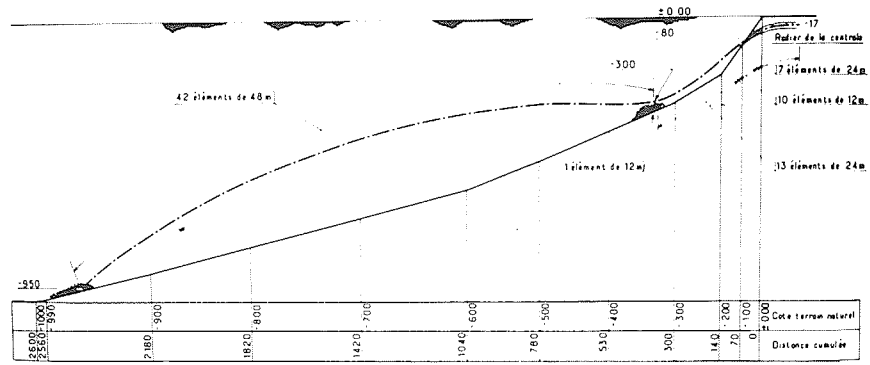
D'autre part, pour s'affranchir des accidents du relief des fonds, une solution en arc flottant du type A dite à "flottabilité positive et ancrée" (voir Fig. 8) a pu être mise au point. La conduite allégée est composée de deux grands tronçons ancrés en 3 points – à – 1 000 m, – 300 m – et à la sortie du tunnel. Les dispositions prises permettent de réduire les tensions aux seuls efforts longitudinaux. Le grand tronçon inférieur échappe à l'action de la houle, par contre il subit l'effet des courants régnant en profondeur. Ceux-ci décroissent sur le site depuis la surface où ils atteignent 2,5 nœuds

jusqu'à 0,5 nœud vers 1 000 m. Le tronçon supérieur par contre subit l'effet conjugué des courants et de la houle dont l'action est devenue très faible à cette profondeur après 80 m. Il va de soi que d'autres solutions telles que B et C (voir Fig. 9 et 10) seraient utilisées de préférence si les fonds le permettaient. Elles poseraient en principe moins de problèmes.

La solution A a fait l'objet de calculs d'Hydrotechnique approfondis et les points suivants ont été particulièrement étudiés :

A partir d'une houle de calcul centennale de 10 mètres d'amplitude et d'un courant maximum de 3 m/s en surface, les efforts statiques ont été déterminés pour toutes profondeurs par utilisation d'un modèle de houle du premier ordre.

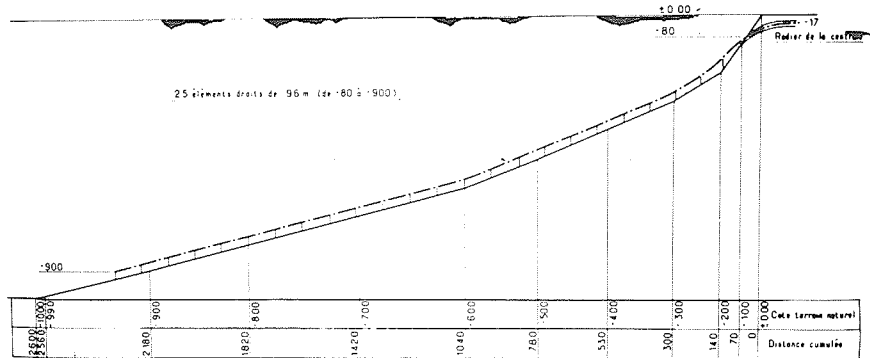
Ces efforts ont été intégrés le long des deux arcs constituant la conduite pour obtenir les tensions dans les différents éléments et aux trois points d'ancrage.



E. T. M.
CONDUITE D'ASPIRATION DE L'EAU FROIDE (C.W.P.)
PROFIL EN LONG - SOLUTION A -

GROUPEMENT
E. T. M.

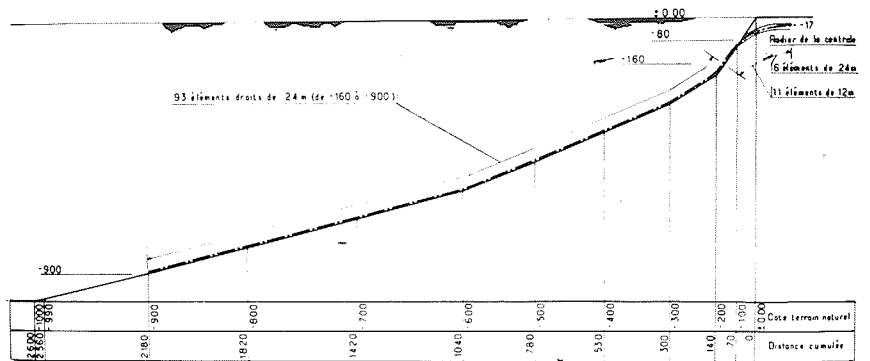
Figure 8 – ETM – Conduite d'aspiration de l'eau froide (CWP) Profil en long – Solution A.



E. T. M.
CONDUITE D'ASPIRATION DE L'EAU FROIDE (C.W.P.)
PROFIL EN LONG - SOLUTION B -

GROUPEMENT
E. T. M.

Figure 9 – ETM – Conduite d'aspiration de l'eau froide (CWP) Profil en long – Solution B.



E. T. M.
CONDUITE D'ASPIRATION DE L'EAU FROIDE (C.W.P.)
PROFIL EN LONG - SOLUTION C -

GROUPEMENT
E. T. M.

Figure 10 – ETM – Conduite d'aspiration de l'eau froide (CWP) – Profil en long – Solution C.

Ces calculs ont été menés aussi bien pour la conduite en exploitation une fois posée, qu'aux étapes successives de sa mise en place.

Les effets dynamiques dus à la houle ont également été mis en évidence par l'analyse :

- d'une part des périodes propres des divers tronçons élémentaires constituant les arcs et des deux arcs pris dans leur ensemble ;

- d'autre part des facteurs d'amplification résultant des mouvements de la conduite en conjonction avec les mouvements propres du milieu marin.

Les tourbillons de Karman (vortex) ont été analysés, de même que la dépression intérieure créée par l'aspiration de l'eau, et leurs effets respectifs sur le flambement des coques ont été pris en compte.

A partir de tous ces éléments il a été procédé au dimensionnement de la structure de la conduite d'eau en fonction de la nature spécifique des matériaux constituants.

La conduite est prévue pour être réalisée en complexe verre-résine allégé qui, par rapport aux autres matériaux (acier, béton léger, aluminium) présente le plus d'avantages.

L'ensemble de ces calculs théoriques conduits avec des hypothèses prudentes et des coefficients de sécurité importants ont permis de concevoir une structure bien adaptée au problème posé.

Il va sans dire qu'il reste indispensable de confronter cette analyse à des essais qui permettront de préciser certains coefficients hydrodynamiques, et d'affiner la connaissance du matériau stratifié utilisé dans les conditions spécifiques du projet.

La fabrication des tronçons élémentaires de cette conduite ne posera aucun problème technique particulier. Des tronçons semblables et des corps de réservoirs sont couramment fabriqués par enroulement de fibres de verre imprégnées sur mandrins de 4, 50 m de diamètre. (Fig. 11) L'extrapolation à des diamètres supérieurs est aisée.

5. Nous pouvons donc dire que, à l'heure actuelle, toutes les techniques à mettre en œuvre pour construire à terre des centrales à cycle fermé sont maintenant disponibles et maîtrisées. Ces centrales peuvent alors être réalisées avec un facteur de risque extrêmement réduit pendant la construction et être assurées d'une réelle fiabilité et d'une grande sécurité pendant la durée de leur service.

6. Au plan économique, ces centrales entraînent certes, à puissance égale, des coûts d'investissement sensiblement supérieurs (de 7 à 8 fois) à ceux des centrales conventionnelles à moteurs Diesel qui seraient installées dans ces régions. Mais leurs coûts de fonctionnement sont très réduits, la source de leur énergie est à disposition, de telle sorte que, une centrale de 15 MW peut produire le kWh à un prix d'ores et déjà inférieur à celui d'une centrale Diesel de même puissance fonctionnant au gazole ou équivalent à celui d'une centrale fonctionnant au fuel lourd. Mais si l'on considère les hausses prévisibles des produits pétroliers, au moment où une telle centrale entrerait en service, vers la mi-84,

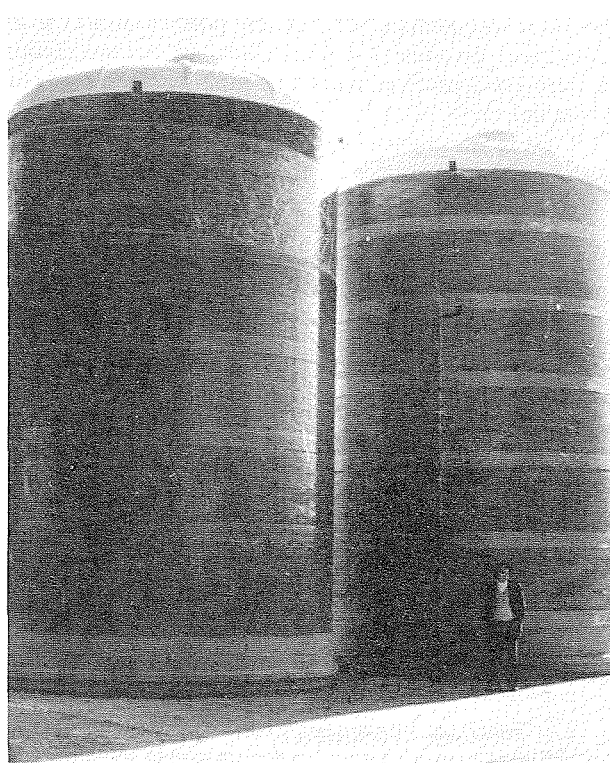


Figure 11 – Technologie de la conduite d'eau froide appliquée à des réservoirs de gros diamètre.

son prix de production ne serait plus que les 2/3 environ du "kWh Diesel".

Ces centrales doivent donc être également considérées comme très rentables au plan de la production de l'énergie.

Les différentes possibilités d'implantation

Il est apparu au cours des études que les conditions de sécurité de l'ensemble de l'ouvrage seraient le facteur dominant à prendre en considération et qu'il est impossible de comparer entre eux deux modes d'implantation, en particulier sur le plan des coûts d'investissement si leur réalisation n'apporte pas les mêmes garanties de sécurité et de tenue à la mer.

Il est à peu près certain qu'une installation sur plateforme gravitaire échouée ou érigée au large de la côte offrirait les mêmes garanties de sécurité qu'une installation à terre conçue selon les principes adoptés, mais on ne peut rien dire de leurs prix comparés sans études approfondies du site.

Il en est de même des plateformes semi-submersibles flottantes, ancrées au large. Le problème des ancrages multiples n'est pas encore totalement résolu bien que des solutions prochaines apparaissent. En tout état de cause leur coût sera élevé.

On peut alors pressentir que les coûts de semblables plateformes, de leur raccordement sous-marin au réseau électrique, de celui des servitudes de toutes sortes entraînées par une exploitation en mer au large, seront plus conséquents que ceux du tunnel et du tronçon de

conduite économisés. Et l'on est porté à croire, si les conditions de sites sont praticables, qu'une installation à terre est à préférer parce que moins onéreuse et plus rentable.

C'est la raison pour laquelle le Groupement développe en premier les centrales à terre de faible à moyenne puissance.

Les installations à terre ont cependant leurs limitations qui ne tiennent pas à la réalisation des groupes de puissance à l'ammoniac. Ceux-ci pourraient aisément être poussés jusqu'à 100 MW avant d'atteindre les limites des fabrications normales possibles. Elles tiennent à la conduite d'eau froide. Dans les limites des moyens techniques actuels on pourrait accroître le diamètre jusqu'à 7 ou 8 m ce qui constitue un maximum raisonnable. De telles conduites pourraient alors alimenter des groupes d'une puissance unitaire de 50 MW.

Au-delà l'implantation de centrales flottantes au large paraît devoir s'imposer.

La valorisation des rejets d'eau froide des centrales installées à terre

Les centrales implantées à terre peuvent offrir des possibilités bien plus grandes encore que la seule production d'énergie.

Les eaux froides qu'elles remontent des fonds sont rejetées après travail à une température (9°C) très basse par rapport à l'ambiance. Elles constituent un énorme potentiel de froid à disposition immédiate d'utilisateurs éventuels.

Ce potentiel peut être valorisé :

— soit pour produire de l'eau douce ($25\,000\text{ m}^3/\text{jour}$ pour les rejets d'une usine de 15 MW) à un prix

(3 F/m^3) très inférieur au prix de production (5 F/m^3) des unités de dessalement conventionnelles quels qu'en soient les types ;

— soit par utilisation directe de ce froid ou par production de froid jusqu'à -40°C en utilisation industrielle pour l'agro-alimentaire, la conserverie, la congélation ou toutes industries utilisatrices (plastiques et autres). La production de ce froid industriel peut être alors assurée dans des conditions très économiques par comparaison avec celles des unités frigorifiques classiques ne disposant pas a priori d'une telle "source froide".

Les eaux remontées des fonds sont par ailleurs très riches en sels nutritifs nécessaires à la vie marine qui peut se développer lorsqu'elles parviennent à la lumière. Elles peuvent alors, après avoir été réchauffées au cours des processus précédents, être utilisées en aquaculture.

Les études actuellement poursuivies par le Groupement en liaison avec les spécialistes du CNEOX et de la Société France-Aquaculture conduisent à prévoir que l'utilisation des rejets d'une centrale de 10 MW permettraient par leur utilisation dans des fermes aquacoles d'assurer une production diversifiée d'espèces nobles correspondant à un chiffre d'affaire annuel susceptible d'atteindre le 1/3 du coût d'investissement de la centrale.

Au-delà de la production d'énergie maréthermique l'intérêt économique des complexes ETM-Froid industriel-Aquaculture installés à terre paraît donc pouvoir être très largement affirmé.

Toutes ces considérations prouvent bien que, maintenant, la réalisation de centrales ETM pour des puissances moyennes est d'ores et déjà possible et que, soit pour la production d'énergie seule, soit pour la réalisation de complexes intégrés ETM-FROID-AQUACULTURE elles sont rentables.

