

NATIONS UNIES  
CONSEIL  
ECONOMIQUE  
ET SOCIAL



Distr.  
LIMITEE

E/CN.14/EP/11  
31 juillet 1963

Original: FRANCAIS



65245

COMMISSION ECONOMIQUE POUR L'AFRIQUE  
Réunion africaine sur l'énergie électrique  
Addis-Abéba, 21-31 octobre 1963

**LES SOURCES NOUVELLES D'ENERGIE A L'EXCEPTION DU SOLEIL,  
DU VENT ET DE LA VAPEUR CHAUDE CONTENUE DANS LA TERRE**

(note du secrétariat)

Le document E/CN.14/EP/10 donne sur trois de ces sources d'énergie, à savoir le soleil, le vent et la vapeur naturelle ainsi que l'eau chaude interne dans la terre, les enseignements de la Conférence des Nations Unies qui s'est tenue en juillet 1962 à leur sujet.

On trouvera ci-dessous quelques notes succinctes sur les autres sources d'énergie nouvelle.

Les sources d'énergie généralement considérées comme nouvelles sont, à l'exception du soleil, du vent et de la vapeur naturelle ainsi que de l'eau chaude interne dans la terre: la pluie artificielle, la houle, la différence de température entre les couches profondes des mers et leur surface et les marées.

1. La pluie artificielle

Le principe de la pluie artificielle consiste à déclencher des précipitations atmosphériques par insémination de certains nuages, principalement par de l'iode d'argent ou de la carboglace. Il ne s'agit là en fait que d'une source indirecte d'énergie, dans le cas où les précipitations dirigées sur un bassin versant permettraient d'augmenter le volume d'eau emmagasinée dans les réservoirs.

63-2874

GE.63-11657

Les intérêts en jeu sont si grands pour l'industrie hydro-électrique comme pour les cultures manquant d'eau, ou pour celles à protéger de la grêle, que tout espoir ouvert par la découverte de ce phénomène physique provoque aussitôt des tentatives pour l'exploiter sans retard.

Mais il reste encore à savoir si cette réalité physique peut servir de base à des opérations à l'échelle industrielle. En particulier, les inséminations d'iodure d'argent à partir du sol, soit par la simple combustion de charbon de bois imprégné d'iodure d'argent, soit par le fonctionnement de fours électriques plus perfectionnés, peuvent vraisemblablement gagner des altitudes considérables du fait des ascendances d'air en même temps que de la diffusion, mais les trajectoires réelles n'ont pas encore pu être suivies. Il est donc impossible de savoir dans quelle mesure elles atteignent effectivement les nuages de températures inférieures à  $-4^{\circ}\text{C}$  qui paraissent les seuls sur lesquels l'iodure d'argent puisse agir, et si elles ne sont pas désactivées avant d'avoir atteint ces nuages. La météorologie ne paraît pas encore en état de conclure sur l'efficacité du procédé par l'observation même des effets sur les nuages.

Les exploitants des centrales hydro-électriques attachent un tel intérêt à la question qu'ils effectuent, ainsi que certains services d'agriculture, des inséminations d'iodure d'argent, afin d'essayer de se rendre compte statistiquement si les hauteurs des précipitations et les débits des rivières sont influencés. A cet effet, ils s'efforcent de comparer les précipitations et les débits sur un bassin-cible visé par les inséminations avec des bassins-témoins voisins sur lesquels l'iodure d'argent n'a pu agir du fait par exemple de l'orientation du vent et dont les débits avant les inséminations étaient en forte corrélation avec ceux du bassin-cible. Les diverses expériences ainsi faites ont donné lieu à des difficultés d'interprétation, de même que les expériences d'insémination pulsée où l'iodure d'argent était alternativement émis pendant les périodes impaires successives et non émis pendant les périodes paires dans l'espoir de retrouver sur les pluviographes la périodicité de l'insémination.

L'analyse statistique du problème paraît maintenant montrer que l'irrégularité naturelle de la pluie est telle que si l'iodure d'argent relevait les chutes de pluie systématiquement de 5 %, ce qui serait déjà économiquement très intéressant, il faudrait plus d'une quinzaine d'années pour s'en rendre compte.

Il est possible que les régions tropicales conviennent mieux que les régions tempérées à de tels essais de pluie provoquée par une insémination des nuages par de l'iodure

d'argent au sol car les masses d'air y sont mieux définies et moins contaminées par les produits des émanations industrielles. En outre, les pluies y sont le plus souvent liées à des phénomènes locaux.

Il se dégage actuellement une nouvelle méthode qui résulte d'observations sur la formation des pluies ou des orages au-dessus des incendies. Le principe réside dans le fait que le mélange air-vapeur d'eau au-dessus de la terre contient une quantité importante d'énergie provenant de l'énergie solaire grâce à laquelle elle a été évaporée. Lorsque la vapeur atteint le point de saturation et se condense, cette énergie est libérée et produit des perturbations.

Cette méthode a été expérimentée en Afrique équatoriale où des incendies de savane allumés à des périodes favorables ont permis l'obtention de nuages et la précipitation de pluie. Les essais poursuivis par des physiciens belges et français à l'aide d'un appareil composé de 100 brûleurs à fuel donnant une puissance thermique de l'ordre de un million de kW ont été concluants.

## 2. La houle

L'énergie provoquée par la houle est l'énergie hydraulique des lames résultant de l'effet du vent sur une grande surface de la mer.

Les énergies en cause sont de l'ordre de la centaine de milliers de kWh par mètre de longueur et par an dans les sites bien exposés.

La puissance est bien entendu très irrégulière et, à certaines époques, la houle expose les ouvrages à des efforts destructifs considérables, ce qui interdit d'envisager la plupart des systèmes imaginés par divers inventeurs.

Le meilleur moyen pour récupérer l'énergie est probablement celui qui consiste à construire sur un rivage en eau profonde une suite de dièdres dans lesquels la vague s'engouffre en s'élevant jusqu'à la hauteur d'une crête déversante derrière laquelle est aménagé un réservoir dont l'eau redescend à la mer par une turbine. Des essais en modèle réduit ont montré qu'avec des dimensions judicieusement choisies pour les dièdres le rendement peut être élevé.

On a également proposé diverses formes de résonateurs pour arriver à un effet semblable d'élévation d'eau. Mais les ouvrages en question sont de véritables digues à la mer et même en ne considérant que les rivages le long desquels la profondeur naturelle de l'eau est grande, sur des mers sans marée, le coût de premier établissement paraît prohibitif pour l'énergie récupérée.

3. La différence de température entre les couches profondes des mers et leur surface

Les premières tentatives d'exploitation de l'énergie thermique des mers remontent à environ 30 ans, époque à laquelle il a été démontré, en France, qu'il était possible de produire de l'énergie à partir d'une petite différence de température entre deux masses d'eau; des expériences analogues avaient été faites quelques années plus tard au large de Cuba.

Le captage et la transformation en énergie utile de la chaleur emmagasinée dans l'eau de mer constituent une application ingénieuse de ce principe selon lequel il est possible de transformer la chaleur en travail mécanique quand on dispose de deux réservoirs de chaleur à des températures différentes. La mer offre de gigantesques réservoirs de cette nature; en effet, la surface de l'eau est chauffée par le soleil et, dans certaines zones, la température est suffisamment élevée, par rapport à celle de l'eau profonde, pour que la différence de température puisse être utilisée.

Le matériel se compose essentiellement d'un évaporateur, d'un groupe générateur à turbine et d'un condenseur. Le processus est le suivant : l'eau salée chaude qui se trouve en surface pénètre dans un récipient à faible pression, où l'on a fait partiellement le vide, et se vaporise en partie. La vapeur ainsi produite est "aspirée" par un condenseur refroidi par de l'eau pompée dans une couche plus profonde et de température plus basse. En allant de l'évaporateur au condenseur, la vapeur fait tourner une turbine à très faible pression qui, à son tour, actionne un générateur électrique.

L'efficacité de tout le processus de transformation est fonction de la différence de température. Pour produire de l'électricité, il faut que la différence de température entre l'eau de surface et l'eau froide soit d'environ 20°C; il faut donc pomper de l'eau à une grande profondeur et en quantités considérables pour obtenir une quantité d'énergie raisonnable.

Ce problème intéresse peu l'Europe car l'utilisation de cette énergie est en fait limitée sur le globe terrestre à une zone comprise entre les isothermes de 25°C en surface qui, en gros, suivent les lignes des Tropiques. Elle peut, au contraire, constituer une source d'énergie extrêmement importante pour les pays situés dans cette région.

Les échecs successifs rencontrés par Georges Claude ont tous été dus à la difficulté d'amener l'eau froide par une conduite venant des grandes profondeurs. Pour situer les ordres de grandeur, le premier groupe de 3.500 kW prévu dans la centrale d'Abidjan demande, pour sa condensation, 5 m<sup>3</sup>/sec. d'eau qu'il faut aller chercher à la profondeur

de 430 m par une conduite longue de 5 km. Il est à noter que ce débit d'eau froide est le même que celui qu'exigerait une centrale hydraulique de près de 80 m de chute pour produire la même puissance. Cela permet de se rendre compte que le prix d'une telle conduite n'est pas à priori prohibitif.

Mais la pose d'une conduite en mer a été avérée un problème très difficile. Deux fois de suite Georges Claude a perdu la conduite dans l'opération de pose. Dans une troisième tentative, la conduite put être posée, mais elle était très fortement endommagée et elle permit seulement quelques essais de la turbine à puissance réduite du fait de l'insuffisance du débit d'eau froide. Dans une nouvelle tentative pour alimenter un groupe d'essai sur un cargo à l'aide d'une conduite verticale dont l'extrémité descendait à 400 m de profondeur, il a abouti de nouveau à la perte de la conduite sous l'action de la houle.

Il ne paraissait donc pas possible d'envisager une application de cette forme nouvelle d'énergie avant d'avoir mis au point une technique sûre de pose de la conduite d'amenée des eaux profondes. La solution du problème a été trouvée par Nizery en mettant au point d'une part un tuyau qui ne soit pas trop rigide grâce à des joints souples en caoutchouc très fortement armé, d'autre part des flotteurs anti-houle qui peuvent supporter la conduite par des câbles tenus par des treuils sans que la houle puisse créer des efforts trop grands. Le premier essai effectué en 1947 près de Brest avait été très satisfaisant : un tuyau de 150 m de long avait pu être essayé au large de Brest dans une mer assez agitée, l'amplitude des vagues atteignant 2 m.

La navigation de la conduite et la manoeuvre de descente et de remontée à basse profondeur apparaissent comme un problème résolu par le flotteur anti-houle, mais il restait à voir si le matériel ainsi créé permettait la pose en eau profonde. Deux expériences successives ont été faites à Abidjan. La première n'a pas abouti correctement du fait d'un incident banal dû à une malfaçon dans le matériel. Mais le second essai a abouti, au printemps de 1959, à poser un tronçon de 100 m de longueur d'une conduite de près de 2 m de diamètre par des fonds de 300 m environ de profondeur. Cette opération a été effectuée par une forte houle atteignant parfois 3 m de creux. Elle avait été précédée, par houle de 1,5 m environ, d'une jonction sous l'eau à une quinzaine de mètres de profondeur, de deux tronçons de conduite, opération aisément réalisée. La preuve était donc faite qu'il était possible, malgré des houles assez fortes, de poser la conduite en plusieurs sections raccordées en mer. Il a été également vérifié expérimentalement que grâce à des crochets convenablement disposés sur la conduite, il serait possible de la

reprendre par dragage et de la déposer, si cela s'avérait nécessaire, notamment en cas de fausse manoeuvre dans la pose.

Le problème qui avait conduit aux échecs successifs de Georges Claude paraît donc avoir été résolu par les nombreuses études et expériences réalisées depuis dix ans. Il est à noter d'ailleurs que le progrès technique facilite de plus en plus le problème. Les hommes grenouilles peuvent aider beaucoup aux manoeuvres jusqu'à une cinquantaine de mètres de profondeur. La télévision sous-marine constituera une aide très importante pour les opérations aux grandes profondeurs.

a) Les conditions sont donc maintenant réunies pour passer à la construction de centrales électriques de ce genre.

Au point de vue économique, l'énergie produite se présente comme une puissance permanente, non seulement de jour et de nuit, mais aussi saisonnièrement, la température des eaux froides de grande profondeur étant constante et la température des eaux de surface ou des lagunes variant peu dans les régions équatoriales et tropicales. Le coût de premier établissement dans le cas du projet d'Abidjan, le seul qui ait donné lieu à une étude complète, est du même ordre que celui d'une chute d'eau produisant de l'énergie régularisée.

Il y a donc bien dans cette technique un moyen nouveau de production d'énergie. Mais il est soumis, lui aussi, à des limitations géographiques; d'une part, il implique de l'eau chaude en surface pendant toute l'année, ce qui n'est le cas que dans les régions à faible latitude, d'autre part, il suppose que la disposition des côtes permette de faire venir des eaux profondes par une conduite dont la longueur ne soit pas exagérée. Il faut pour cela soit une côte à pente générale élevée, soit un de ces estuaires sous-marins dont l'hydrographie a révélé qu'il en existait un nombre assez considérable le long de beaucoup de côtes. A Abidjan, par exemple, c'est une vallée sous-marine connue sous le nom de "trou sans fond" qui permet d'atteindre la profondeur de 430 m par une conduite longue de 5 km.

Il existe, il est vrai, un autre moyen de faire venir l'eau froide au condenseur: c'est la solution de la centrale flottante en surface ou sous-marine, installée avec amarrage à point fixe, sur une sorte de bateau ou de sous-marin. La conduite est alors verticale et sa longueur est ainsi réduite au minimum. L'énergie produite est, dans ce cas, emmenée à la côte par un câble électrique sous-marin. L'idée a également été lancée de construire des îles artificielles par exemple sur des pitons rocheux sous-marins;

elles pourraient d'ailleurs servir en même temps à d'autres usages; la pente de leurs talus artificiels et la proximité des grands fonds permettraient également de se procurer l'eau froide par une conduite assez courte. Ces deux dernières solutions élargiraient un peu le champ géographique de cette source d'énergie en n'exigeant plus une côte à forte pente ou un estuaire sous-marin.

b) On a vu que la première utilisation de l'énergie thermique des mers était de produire de l'énergie électrique. Mais la technique en cause présente un avantage d'un autre ordre, qui peut se révéler beaucoup plus important dans bien des cas. En effet, il suffit d'utiliser un condenseur à surface au lieu d'un condenseur à mélange pour obtenir de l'eau douce.

Les ordres de grandeur sont les suivants : par  $m^3$  sec. de débit d'eau froide venant des couches profondes de la mer, avec un débit d'eau chaude environ 3 fois plus important, et un écart de température d'une vingtaine de degrés, on peut obtenir à la fois une puissance de 700 kW et une production d'eau douce d'environ  $1.500 m^3$  par jour. Il est à noter que le rapport entre ces chiffres est le même que celui existant entre la consommation en eau potable d'une agglomération et ses besoins en énergie électrique. Ainsi, du point de vue humain, les deux produits liés, l'eau et l'énergie électrique, que procure une installation de ce genre, sont d'une importance comparable. La gravité du problème de l'eau dans bien des régions tropicales laisse penser que c'est peut-être le besoin d'eau qui provoquera en premier, et ensuite dans le plus grand nombre de cas, des installations de ce genre.

Le prix de revient estimé à moins de 1,5 dollar des E.U. le  $m^3$  dans les installations d'Abidjan est extrêmement faible, car il ne tient compte que du matériel spécial nécessaire à la production d'eau douce; pour deux autres projets, on a calculé que le prix de revient atteindrait près de 6 dollars, mais dans tous les cas, les frais sont en grande partie couverts par le produit des ventes de courant électrique. Il semblerait donc que l'on puisse préparer de l'eau douce par ce procédé à meilleur marché que par tout autre procédé actuellement utilisé, à condition de trouver des débouchés suffisants pour le courant électrique produit en même temps. Etant donné que les tarifs d'électricité sont élevés dans la plupart des régions qui manquent d'eau, toutes les conditions économiques voulues pour la création d'une installation complexe de ce genre seront souvent réunies. Lorsque la différence de température entre l'eau de surface et l'eau

profonde est supérieure à environ  $14^{\circ}\text{C}$ , mais insuffisante pour la production d'électricité, c'est-à-dire dans une zone climatique beaucoup plus étendue, on peut utiliser ce procédé pour produire seulement de l'eau douce. Toutefois, on n'a pas encore, semble-t-il, essayé de calculer le prix de revient de l'eau douce produite seule par ce procédé. En outre, il faudrait une source d'énergie indépendante pour pomper l'eau salée et faire le vide.

c) Les installations permettent enfin d'utiliser, à la sortie de la centrale et à des fins de réfrigération, les quantités considérables d'eau froide qui sont ainsi pompées des profondeurs de l'Océan. De grandes quantités de poissons et de plancton destinés à l'alimentation peuvent aussi être pompées avec l'eau froide. En outre, après qu'une partie de l'eau de surface a été évaporée dans la centrale, le reste peut être envoyé dans des distillateurs solaires annexes où l'on récupère le sel, le magnésium et d'autres substances contenues dans l'eau de mer.

Mais ces utilisations accessoires ne doivent pas faire perdre de vue les deux buts essentiels que la technique de l'énergie thermique des mers permet d'atteindre, à savoir: l'eau douce et l'énergie électrique.

#### 4. Les marées

L'origine même de l'énergie des marées est très spéciale. Tandis que l'hydraulique de rivière, le vent, le charbon et le pétrole ont leur origine dans le rayonnement solaire, les marées tirent leur énergie de la rotation de la terre sur elle-même dans le champ de gravitation luni-solaire. L'énergie cinétique en cause est si importante que des puissances énormes peuvent être gaspillées en frottement dans les mers littorales ou récupérées dans des turbines pendant des temps considérables à l'échelle humaine sans que le ralentissement de la rotation terrestre se traduise par un allongement sensible de la durée du jour.

Mais les marées ne sont économiquement utilisables que là où elles ont une hauteur importante. Cette hauteur tient à des phénomènes locaux de résonance lorsque les côtes ont des formes convenables. Tandis que les marées au milieu des océans sont nettement inférieures au mètre, elles atteignent la dizaine de mètres en vive-eau en un nombre de points limités du globe qui constituent les emplacements économiquement favorables à la captation de leur énergie.



Les endroits où l'on est ainsi le plus tenté d'envisager des centrales marémotrices paraissent être, si l'on ne considère que la possibilité de production sans se préoccuper des débouchés pour l'énergie :

la baie de Fundy au Canada;

la côte sud-est de la Patagonie;

l'estuaire de la Severn en Angleterre;

la baie du Mont Saint-Michel en France;

la terre de Baffin;

une partie de la côte nord de l'Australie;

la Corée;

le golfe de Gambay dans l'Inde;

l'entrée du Rio Colorado au Mexique.

Ces emplacements ne se trouvent pas tous dans des régions où existent actuellement des besoins d'énergie importants; certains d'entre eux comme la Severn sont au voisinage de grands bassins houillers, mais dont la production devient insuffisante pour faire face aux besoins d'énergie des pays correspondants. D'autres, comme la baie de Fundy, sont au voisinage de rivières économiquement aménageables, mais qui finiront par être toutes équipées un jour. En tout cas, ces marées ajoutent un élément de diversité de plus aux ressources d'énergie de l'homme.

Leur équipement n'aurait pas eu besoin d'attendre la création d'une technique spéciale si les hauteurs de marées avaient été suffisantes pour que les aménagements correspondants soient facilement compétitifs avec les moyens de production classique. Malheureusement, la chute moyenne est très basse. En effet, les chiffres que l'on cite traditionnellement pour caractériser l'amplitude des marées correspondent à la vive-eau moyenne d'équinoxe. La moyenne de l'amplitude de toutes les marées n'est que de 70 % de cette amplitude de vive-eau d'équinoxe et l'amplitude en morte-eau moyenne n'en est plus que les 45 %. Par ailleurs, la différence du niveau entre bassin et mer, aux heures où les turbines travaillent, n'est encore qu'une fraction de la différence de niveau entre pleine mer et basse mer. Pour ces deux raisons combinées, les turbines travaillent le plus souvent entre le quart et la moitié seulement de l'amplitude totale en vive-eau moyenne d'équinoxe. Pour les meilleurs sites où cette amplitude atteint 12 m, la hauteur de chute est pendant la plus grande proportion des heures de marche comprise entre 3 et 6 m. De ce fait, les groupes des usines marémotrices ont tendance à être des machines lentes et coûteuses.

D'autre part, le génie civil est rendu onéreux par la difficulté d'effectuer les travaux dans les estuaires où la marée crée toutes les 12 heures des mouvements d'eau considérables, dont les débits à chaque vive-eau sont comparables aux crues exceptionnelles des grands fleuves.

Enfin, l'énergie est produite suivant un cycle luni-solaire, mal adapté aux conditions de travail de l'homme. La valeur de l'énergie récupérée est ainsi très inférieure à celle d'une chute d'eau à réserve saisonnière et s'apparente plutôt à celle d'une chute au fil de l'eau sur rivière irrégulière.

C'est pour ces motifs que les équipements d'usines marémotrices apparaissent jusqu'à ces derniers temps comme trop onéreux.

Mais la situation a évolué de deux manières.

D'une part, les réseaux d'interconnexion sont devenus de plus en plus puissants, de sorte qu'il devient possible d'y intégrer des puissances irrégulières de plus en plus grandes. En France, par exemple, la centrale marémotrice de la Rance dont on commence la construction aura une puissance installée de 340.000 kW qu'il n'y a maintenant pas de difficulté à intégrer dans le réseau d'interconnexion actuel. Le projet des îles Chausey atteindrait une puissance beaucoup plus considérable, approchant les 10 millions de kW, mais sa mise en service n'est pas à envisager avant une vingtaine d'années et à cette époque le réseau à 380.000 V sera suffisant pour intégrer 10 millions de kW parmi la cinquantaine de millions de kW qui correspondront aux besoins français de l'époque. Il est donc devenu possible d'envisager des usines marémotrices de grande puissance. Or, la grandeur est pour les centrales marémotrices une condition favorable à l'économie.

On peut, semble-t-il, envisager raisonnablement, pour la production intermittente d'énergie électrique, de petites usines marémotrices d'une puissance installée variant de 1.000 à 10.000 kW, à condition d'aménager un petit bassin et d'avoir des marées suffisamment fortes. Des usines de ce genre présenteraient un intérêt pour les régions en voie de développement, mais on est encore loin de leur réalisation.

Les turbines classiques se prêtent mal au renversement du sens du passage de l'eau. Quand on projetait une usine marémotrice équipée de ces turbines classiques, on se trouvait pris dans un dilemme : ou l'on prévoyait l'usine la plus simple barrant l'estuaire ou la baie à la manière d'une usine de rivière et l'on ne pouvait récupérer que l'énergie de vidange du bassin et non de l'énergie de remplissage; ou l'on prévoyait les dispositions

de génie civil nécessaires pour que les turbines puissent être alimentées aussi bien par la mer au remplissage que par l'estuaire à la vidange et on accroissait considérablement le coût de l'aménagement. Les projets étudiés ont mis en évidence l'intérêt qu'il y aurait à disposer de turbines réversibles.

Par ailleurs, le projet de la Rance avait tout de suite donné lieu à l'étude d'un pompage. Il apparaissait ainsi très intéressant que la turbine ne soit pas seulement réversible du point de vue du sens de l'eau dans son fonctionnement en turbine, mais qu'elle puisse aussi travailler en pompe pour assurer un surremplissage de l'estuaire, ou une survidange en abaissant le niveau du bassin au-dessous du niveau de la basse mer en vue d'accroître l'énergie récupérable dans le fonctionnement suivant en remplissage.

Une turbine axiale avec roue Kaplan était indiquée mais l'axe horizontal impliquait que l'alternateur soit contourné par l'eau entrant ou sortant de la turbine, soit qu'il soit placé dans un puits, soit qu'il soit enfermé dans un bulbe complètement entouré par le courant d'eau. C'est cette dernière disposition qui s'est finalement révélée la meilleure après de nombreuses études et après réalisation de quelques groupes axiaux dans des usines de basses chutes sur rivières. La mise au point de ces groupes bulbes a d'ailleurs conduit à en faire des groupes monoblocs où l'ensemble de l'alternateur et de la turbine ferme mécaniquement un bloc qui est mis en place ou retiré par ponts roulants.

Ainsi a été mise au point une technique qui apporte des avantages substantiels par rapport aux groupes classiques :

- Possibilité de turbinage dans les deux sens, donc double effet possible sans ouvrages supplémentaires de génie civil et de vannes.
- Pompage possible pour assurer un surremplissage ou une survidange de l'estuaire.
- Enfin, augmentation de la puissance installée par mètre d'usine dans le sens du barrage de l'estuaire, la disposition des groupes axiaux exigeant moins de largeur perpendiculairement à la direction du passage de l'eau.

Si la centrale est équipée de groupes bulbes du nouveau type permettant à la fois de turbiner dans les deux sens et de pomper, on peut d'une part exploiter au choix une marée à simple effet ou à double effet, ce qui permet plus souvent de produire de l'énergie aux heures de pointe. D'autre part, le pompage, que l'on est maître à chaque marée

de faire ou de ne pas faire, permet souvent, grâce à un stockage d'eau favorable, de disposer d'énergie à l'heure de pointe, quitte à avoir tiré de l'énergie du réseau pour le pompage à d'autres heures. A l'extrême limite, on pourrait théoriquement exploiter la centrale en visant la garantie et en lui faisant toujours apporter de la puissance à l'heure de pointe, quitte à dépenser beaucoup d'énergie de pompage et à réduire l'économie de combustible.

En fait, la souplesse très grande de ces turbines permet de choisir à chaque marée l'exploitation optimum de manière à obtenir à la fois une bonne économie de combustible et à réaliser, quand cela en vaut la peine, une contribution de pointe appréciable. Ainsi, la valeur de garantie de la centrale, c'est-à-dire la possibilité corrélative de réduction des puissances installées thermiques pour une égale probabilité de défaillance du système, se trouve très sensiblement relevée.