

## Sur l'énergie marémotrice renouvelable et prévisible sans aléas

**René BONNEFILLE**

Professeur d'hydraulique et travaux maritimes, Ingénieur-conseil,  
107, chemin du Baric, 06140 Vence, France  
[bonnefille.r@wanadoo.fr](mailto:bonnefille.r@wanadoo.fr)

### **Résumé :**

L'énergie marémotrice est une énergie naturelle renouvelable dont la production est totalement prévisible et donc programmable en fonction des besoins énergétiques.

Il est rappelé, quels sont les principaux gisements mondiaux de cette énergie et quelles sont les qualités de la réalisation française actuelle, l'Usine marémotrice de la Rance, et du grand projet français des Îles Chausey. Comment se situe ce grand projet par rapport aux sources d'énergie actuelles et futures ?

### **Abstract :**

Tidal energy is a natural and renewable energy, its production is totally predictable and thus programmable according to energy needs.

It will be remembered the main world-wide sources of tidal energy, the features of currently French achievement, the Rance Tidal Power Plant, and the features of the great French Chausey Islands Tidal Power Plant. How can we place this great project in relation to the current and future energy sources?

### **Mots clés :**

Énergie marémotrice - La Rance - Îles Chausey

« *Qu'est-ce que l'Océan ? Une énorme force perdue* » Victor Hugo, Quatre-vingt-treize.

## **1. Introduction**

Il s'agit de rappeler l'intérêt et les travaux de tous ceux qui ont contribué au développement de l'énergie marémotrice.

## **2. L'énergie marémotrice**

La grande qualité de l'énergie marémotrice par rapport à toutes les énergies dites renouvelables, est la connaissance parfaite de sa disponibilité sans aléas hors l'indisponibilité technique de certaines de ses machines. En effet, l'énergie marémotrice dépend d'une part, des positions relatives de la Terre, de la Lune et du Soleil et d'autre part, de la bathymétrie des fonds marins du site de l'installation. Les positions des trois astres sont bien connues et prévisibles à l'échelle des temps astronomiques ; la topographie et la bathymétrie d'un site côtier sont immuables pour un temps que l'on peut qualifier de géologique.

Le principe de fonctionnement d'une usine marémotrice est connu ; c'est une usine hydroélectrique comprenant un barrage séparant la mer de un ou plusieurs bassins entre lesquels on crée une différence de niveau des eaux utilisée pour mouvoir une ou des turbines générant de l'électricité (figure 2). En plus des turbines, le barrage possède des pertuis de vannage, pour éventuellement remplir ou vider rapidement les bassins, et si nécessaire une écluse, comme on peut le voir sur la photo aérienne de la Rance. Dans le cas des usines marémotrices, l'inconvénient apparent à première vue est que le niveau de l'eau des bassins varie alternativement deux fois par jour et que, de ce fait, la production d'énergie électrique ne peut pas être continue toute la journée. Cet inconvénient a pendant longtemps empêché l'énergie marémotrice de se développer, en dehors des moulins à marée ne fonctionnant que quelques heures par jour au rythme des marées.

Heureusement, les innovations des ingénieurs ont rapidement pallié cet inconvénient. Rappelons les principales innovations : les groupes turboalternateurs à axe horizontal fonctionnant d'une part sous faible chute et surtout, quelque soit le sens du courant traversant les turbines. Ces machines permettent une multitude de cycle de fonctionnement alternant turbinage et pompage, avec comme objectif de fournir de l'énergie électrique aux heures où elle est la plus chère. Ces cycles de fonctionnement sont prévisibles sans aléas

## **3. L'Usine marémotrice de la Rance**

Nous avons le plaisir de citer les noms des principaux grands ingénieurs qui ont œuvré pour que naisse l'énergie marémotrice, par ordre historique : Bernard Forest de Bélidor <sup>1</sup> (1698-1761) ; Albert Caquot, (1881-1976) ; Robert Gibrat <sup>5</sup>, (1904-1980), pour aboutir à la réalisation de l'Usine marémotrice de la Rance en France. Sa puissance électrique, 240 MW, n'est seulement que le cinquième de

celle fournie par un réacteur nucléaire. Mais, cette usine fonctionne depuis 40 ans (elle a été inaugurée le 26 novembre 1968 en présence du Général de Gaulle) en utilisant une énergie renouvelable (600 GWh par an), et de plus programmable pour la fournir quand on en a besoin, à un prix de revient par kWh de 20 centimes à la production, à comparer; à titre d'exemple, le prix de revient de l'énergie électrique d'origine nucléaire est estimé actuellement à 46 centimes le kWh.

...En comparant la production annuelle 600 GWh et la puissance installée 240 MW, on voit que l'usine ne semble fonctionner que 2500 h à pleine puissance par rapport aux 8760 h de l'année. Cela signifie que l'usine de la Rance, et cela sera vrai pour toutes les usines marémotrices, est surtout utilisée au moment des pointes de demande d'énergie. Mais les usines marémotrices ont alors un avantage sur les usines hydroélectriques au fil de l'eau, leur utilisation peut être programmée avec certitude, mis à part les aléas mécaniques et électriques.



*Figure 1. L'Usine marémotrice de la Rance*

Sur les plans du Génie Côtier et scientifiques, la construction du batardeau permettant de « couper » l'estuaire et de mettre à sec les fonds sur lesquels seraient implantées les différentes parties de l'usine, a révélé les problèmes de la détermination des effets des courants et surtout de la houle sur les structures marines, problèmes nouveaux à l'époque pour les ingénieurs. La mise au point de l'acier inoxydable et des peintures capables de résister à la corrosion marine est également à mettre au crédit de l'Usine marémotrice de la Rance.

Ce qui est surtout reproché à l'Usine de la Rance, c'est d'avoir modifié la répartition géographique des sédiments et d'avoir transformé l'estuaire en un « lac

d'eau douce ». La modification locale des sédiments est évidente du fait de la modification de la courantologie surtout au voisinage de l'usine. Le reproche du lac d'eau douce est certainement exagéré ; il s'explique par le fait qu'il s'agit d'un estuaire pénétrant profondément dans les terres, dont les estrans ont une surface non négligeable par rapport à la surface du plan d'eau. Il n'en serait pas de même, dans le cas du projet des Îles Chausey, où le ou les bassins ne seraient bordés par les côtes que sur environ la moitié de leur pourtour. Pour palier cet inconvénient environnemental, certains projets marémoteurs modernes envisagent de construire des usines marémotrices au large, en créant des lagons artificiels. Mais, à quel prix ?

#### **4. Les sites potentiels**

Existe-t-il ou peut-on envisager d'autres usines marémotrices dans le monde ? Il faut un marnage important et une configuration qui permette de créer un bassin de retenue de l'eau de grande étendue, par une digue de faible longueur. Le seul site important actuellement est celui d'Annapolis<sup>8</sup> au Canada (18 MW). Quatre sites seraient en construction en Corée : Shiwa qui devrait être mis en service en 2009 (254 MW, 553 GWh/an), Saemengeum (430 MW, 697 GWh/an), Garolim (520 MW, 950 GWh/an) et Gangwha (812 MW, 1536 GWh/an).

Les autres importants sites envisageables sont (figure 3) :

- l'estuaire de la Severn<sup>8</sup>, au Royaume Uni (9 GW, 17 TWh/an),
- l'estuaire de la Tugur sur la mer d'Okhost en Sibérie (8 GW, 17 TWh/an),
- la Péninsule Valdez en Argentine (10 GW, 22 TWh/an),
- le Golfe du Mézen<sup>8</sup> en Russie (15 GW),
- Turnagain Arm<sup>8</sup> aux USA (7 MW, 17 TWh/an).

Il faut bien savoir que l'existence d'un grand marnage résultant d'une réflexion locale de l'onde marée sur une côte peut être un critère trompeur. Il ne faut pas que l'énergie active prise à l'onde-marée soit trop importante, cela détruirait le clapotis local entre l'onde-marée incidente et l'onde réfléchi par la côte. Par exemple dans le cas du projet de l'Usine marémotrice des Îles Chausey, dont nous allons parler, une puissance extraite de 10 GW réduit déjà le marnage utilisable d'environ 1 m. Augmenter cette puissance, en voulant la doubler par exemple, n'a plus d'intérêt du fait de la réduction importante du marnage local. En revanche, un site intéressant est celui de la Péninsule Valdez en Argentine, où la différence des niveaux de la mer (14 m) de part et d'autre de l'isthme séparant les golfes de San José et Nuevo, est due à la différence de phase de l'onde-marée.

#### **5. Le projet des Îles Chausey**

Rappelons maintenant les noms des universitaires, l'Académicien Henri Lacombe et le Professeur Julien Kravtchenko, qui ont rejoint l'équipe animée par

Robert Gibrat au sein du groupe scientifique, dénommé le pool Coriolis, dont le but était d'étudier les conséquences d'un si grand projet sur la marée en Manche.

En effet, ce n'est qu'en France qu'un projet gigantesque a été, dans les années 50 et 60, étudié très en détails et mis au point (figure 4) ; mais il n'a pas vu le jour. La raison évoquée à l'époque était que le nucléaire, sans être plus économique, permettrait en multipliant les unités nucléaires de satisfaire les besoins énergétiques du pays de plus en plus économiquement, en les construisant *en nombreux exemplaires*. Au contraire, la grande usine marémotrice envisageable en France, celle des Îles Chausey, d'une puissance de 12 GW équivalente à 9 réacteurs nucléaires de 1300 MW et produisant 23 TWh par an, ne serait construite qu'*en un seul exemplaire*.

Pour mieux situer le projet par rapport aux autres sources d'énergie électrique installées actuellement en France, le projet des Îles Chausey représenterait actuellement du point de vue puissance installée :

- 19% de la puissance nucléaire (63,1 GW),
- 60% de la puissance hydraulique (20,1 GW),
- 91% de la puissance thermique à flamme (13,2 GW),
- 5% de la production totale annuelle d'énergie électrique (485 TWh).

Vu sous cet angle, l'Usine marémotrice des Îles Chausey représente peu du point de vue énergétique. Mais en fait, il s'agit d'une nouvelle source d'énergie hydraulique, l'exploitation des sources hydrauliques classiques actuelles ayant pratiquement atteint la saturation surtout du point de vue environnemental en France. Cette nouvelle source d'énergie hydraulique doublerait la puissance installée actuelle, avec en prime une grande souplesse de production sans craindre les aléas météorologiques.

La durée des 15 années nécessaires à la construction de l'Usine marémotrice des Îles Chausey (avec une mise en service partielle au bout de 7 ans) n'est pas le principal handicap. À l'époque, en 1978, les décideurs ont été effrayés par la nécessité de construire 600 groupes turbine-alternateur de 20 MW. Ont-ils jugé l'industrie française incapable de les construire (une tous les 10 jours !) et de les entretenir ?

Le gigantisme de ce projet est évident. La dernière variante de 1958<sup>7</sup> (figure 3) comporte 37 km d'ouvrages à la mer par fonds de 15 à 30 m, depuis la Pointe du Groin et rejoignant la côte au Nord de Granville en passant par l'archipel des Îles Chausey, séparant de la mer un bassin de 730 km<sup>2</sup>. Son coût était estimé à 40 milliards de francs en 1974, soit 30 milliards d'euros.

De plus, comment faire accepter les modifications du rythme des marées le long des côtes de la Baie du Mont-Saint-Michel, et en particulier des marées aux ports de Cancale et Granville, tous deux inclus dans le bassin de l'usine ? L'argument

que le Mont serait entouré d'eau les week-ends, quand la demande énergétique est réduite, n'a pas convaincu ! Soyons plus précis :

- Les modifications programmées du niveau de la mer dans le bassin de l'usine et diffusées aux navigateurs (tel est le cas pour la Rance) sont importantes, mais elles n'affecteraient que momentanément la zone intertidale, tandis que les lacs créés à l'amont des grands barrages des usines hydrauliques détruisent pour longtemps les vallées.

- En comparaison avec la Rance, l'Usine ne devrait pas transformer le bassin en un lac d'eau douce.

- La fabrication du béton pour la construction des 600 caissons des turbines et des 146 pertuis de vannage du projet 1958, détruirait-elle plus de collines calcaires, que celles nécessaires à la construction de l'environnement de l'ensemble des réacteurs produisant la même énergie électrique pendant toute la vie de l'usine marémotrice ?

- En revanche, l'exploitation des parcs à huîtres de Cancale serait perturbée.

Sur les plans Génie Côtier et scientifiques, l'étude de l'influence de la présence d'une grande usine marémotrice sur la marée en Manche a posé à l'époque un problème que les calculateurs de l'époque ne pouvaient pas résoudre. Le seul outil était le modèle réduit hydraulique, mais alors comment tenir compte de la force de Coriolis due à la rotation de la Terre ? A partir de quelle étendue marine représentée en modèle réduit hydraulique, devait-on installer ce modèle sur une plate-forme tournante pour reproduire la force de Coriolis à la bonne échelle ? Cette question, l'influence relative de la force de Coriolis sur la marée, posée au Pool Coriolis cité plus haut, a été abordée d'une part par voie analytique et d'autre part en petits modèles hydrauliques tournants. Obtenir la réponse a nécessité d'installer un modèle réduit de la totalité de la Manche sur une plate-forme tournante construite à Grenoble en collaboration avec l'Université. Les essais ont montré que l'influence de la présence de l'usine et de son fonctionnement était négligeable sur la côte anglaise ; elle n'était pas négligeable au voisinage de l'usine comme indiqué plus haut, mais que néanmoins le remous de l'usine pouvait être étudié sur modèle réduit non tournant.

## **6. Les perspectives d'avenir**

Le nucléaire continuera à se développer, mais il ne suffira pas à remplacer l'énergie d'origine fossile. Citons Patrick Moore, cofondateur de Greenpeace, (Le Monde du 01/12/07) « Le réseau électrique a besoin de sources d'électricité de base et les seuls choix adaptés en la matière sont l'énergie hydroélectrique, le charbon et le nucléaire. Les énergies éoliennes et solaires ne sont pas en mesure de fournir la production de base en raison de leur nature intermittente et peu fia-

ble. Dans de nombreux pays, les ressources en hydroélectricité sont déjà au maximum de leurs capacités »

Rappelons que, comme dit plus haut, si l'hydroélectricité classique est saturée, il n'en est pas de même en France, où le projet des Îles Chausey doublerait presque la puissance hydroélectrique installée en France (13 GW).

Effectivement, l'éolien dépend trop des aléas météorologiques. Cependant l'énergie éolienne est une bonne solution pour les sites isolés, les petites îles par exemple, vers lesquels le transport des carburants fossiles est onéreux. Pour fixer les idées sur l'ordre de grandeur de l'énergie éolienne, SUEZ table sur une puissance éolienne installée de 2 GW en 2015 en France, sans préciser quelle serait la quantité d'énergie électrique annuelle produite. En éolien, on parle souvent de puissance en MW, mais pas de production en GWh annuels. Or en France, en moyenne dans le Sud du pays et le long du littoral, il faut compter sur une durée de fonctionnement de 2000 heures par an. Les 2 GW installés produiront donc 4 TWh par an, soit moins de 1% de la production électrique actuelle en France ! Cela ne veut pas dire que l'énergie éolienne n'est pas intéressante pour produire d'autres formes d'énergie (chimique, thermique, potentielle, etc.) plus facile à stocker que l'énergie électrique.

En résumé en France, le projet marémoteur des Îles Chausey peut apporter dans 20 ans (et peut être moins, grâce aux progrès technologiques) quelques 20 TWh par an renouvelables et surtout sans dépendre des aléas météorologiques. En Europe, il faudra mettre 250 réacteurs en service d'ici 2025, car la durée de vie des réacteurs est de 40 ans. Or l'usine de la Rance a déjà atteint le temps de vie de 40 ans des réacteurs nucléaires et elle fonctionne toujours. Enfin, puisque l'avenir de l'énergie éolienne se situe en mer, imaginons des éoliennes de 10 MW tous les 100 m tout le long des 30 km du barrage, soit 3 GW installés produisant plus de 6 TWh par an, car les éoliennes en bord de mer tourneraient en moyenne plus de 2000 h par an à pleine puissance !

Pour mémoire, rappelons la conclusion, concernant le projet des Îles Chausey, du rapport de la Commission de la production d'électricité d'origine hydraulique et marémotrice, Commission créée par le Ministre de l'Industrie et de la Recherche le 15 janvier 1975. Cette conclusion est un bijou de langue de bois <sup>6</sup> !

« La possibilité d'installer une usine marémotrice aux îles Chausey a également longtemps retenu l'attention de la Commission. Il s'agit là d'un projet qui en raison de son ampleur et de son originalité technique, présente des difficultés techniques. Ce n'est pas, à moyen terme, et compte tenu de l'urgence des problèmes qui se posent à nous, la solution la mieux adaptée pour satisfaire nos besoins en électricité. Un projet de la dimension de l'usine du Mont-Saint-Michel soulève, en outre, des problèmes d'environnement, d'écologie, d'équilibre régional qui relè

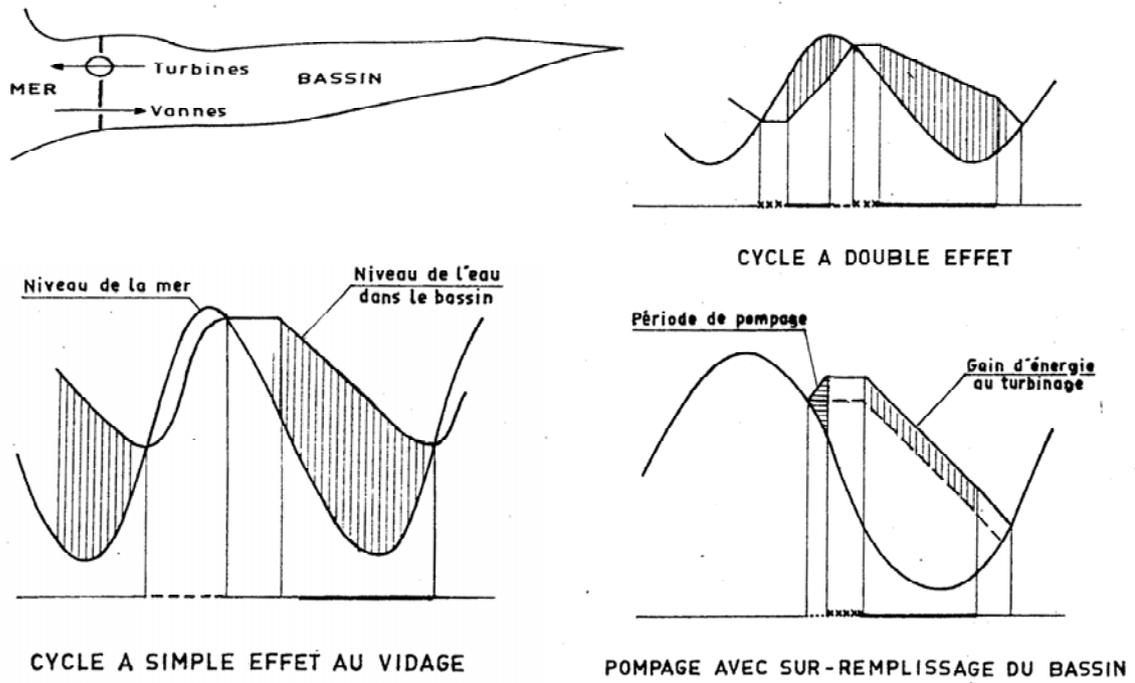


Figure 2. Schéma de fonctionnement d'une usine marémotrice à un bassin

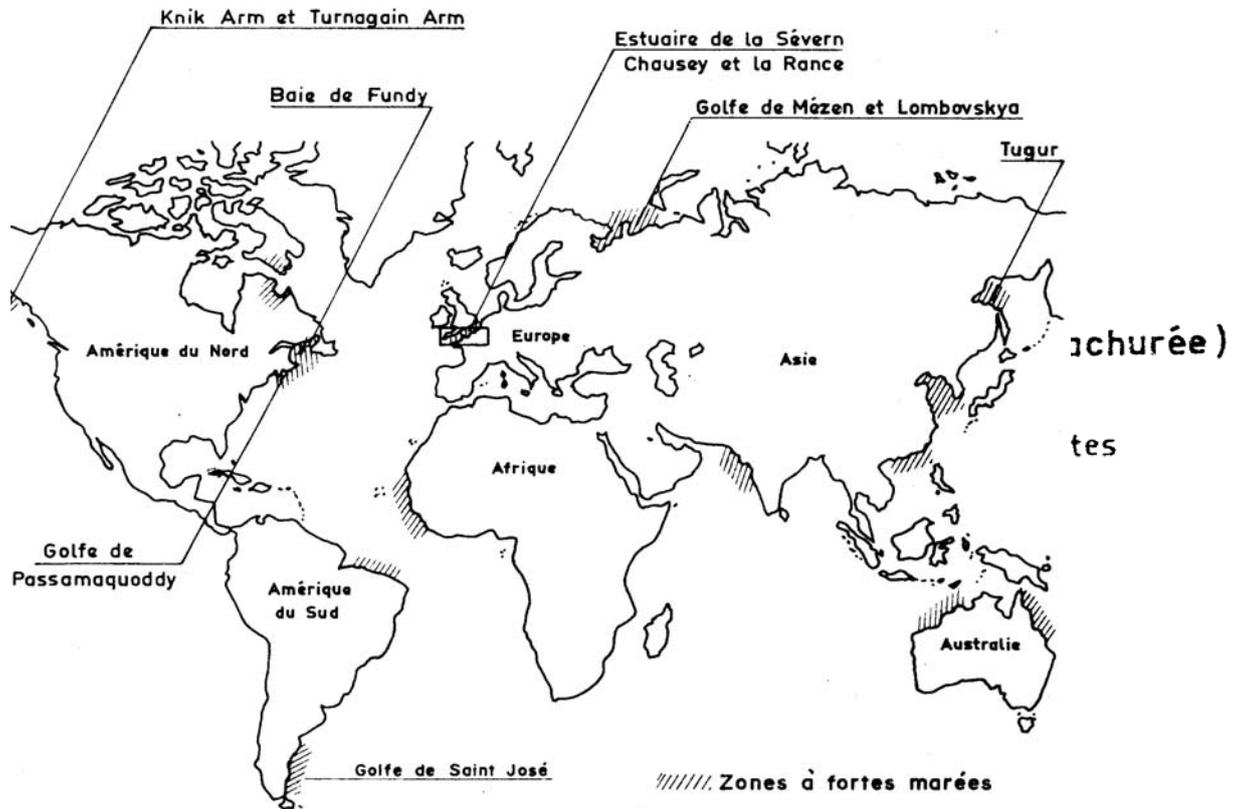


Figure 3. Les sites marémoteurs dans le monde

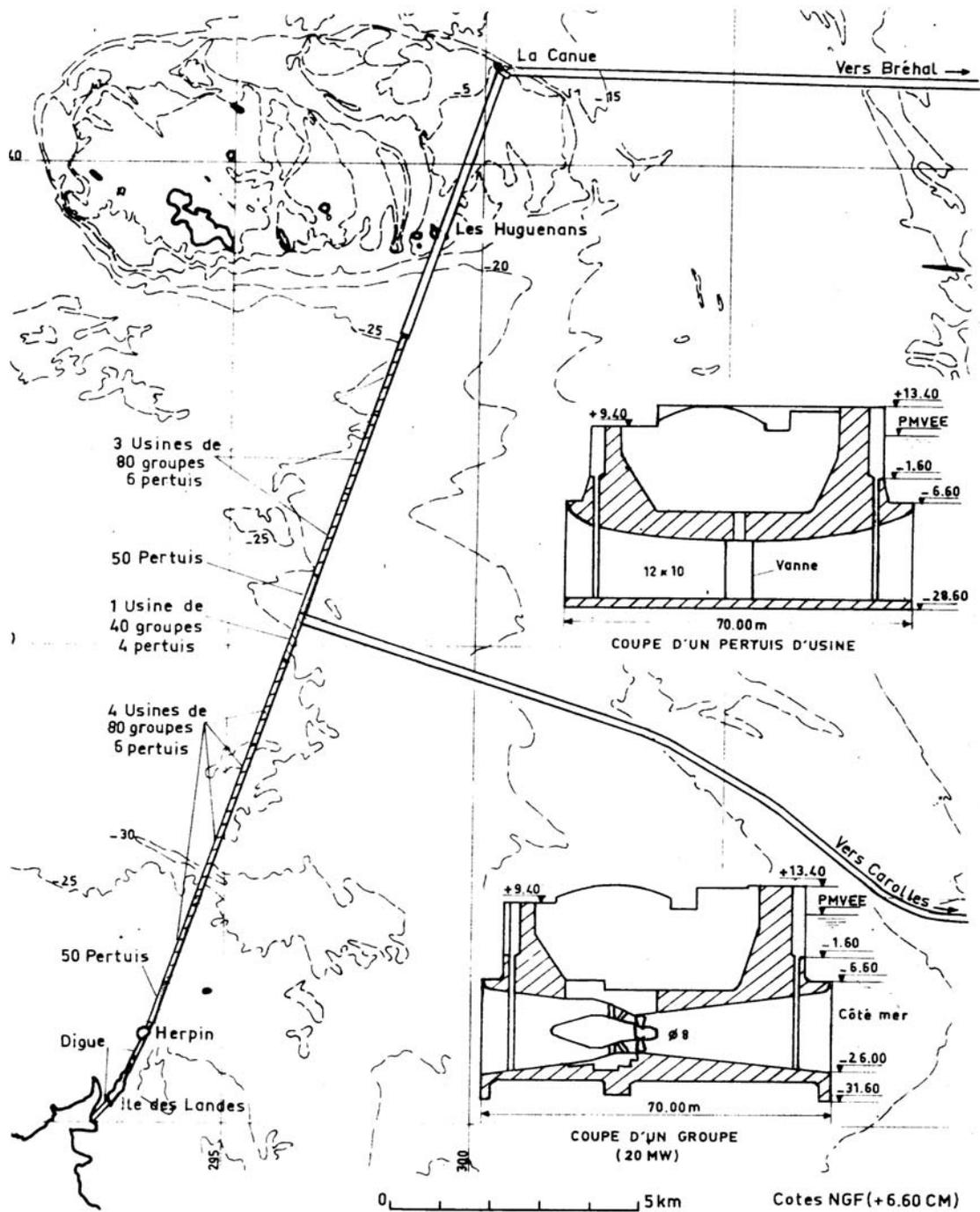


Figure 4. Le projet d'Électricité de France 1958 des Îles Chausey

vent finalement autant de l'aménagement du territoire que de la politique énergétique. C'est tout l'avenir d'une région qui est ainsi en cause et la Commission l'a noté, il reste nécessaire de mener une réflexion plus approfondie dans ces domaines. ».

## **7. Conclusion**

Si nous avons rappelé tous ces projets, après avoir travaillé plus de 10 ans sur les projets de la Rance et des Îles Chausey, c'est pour essayer de passer le flambeau, en espérant que ceci tombe dans l'oreille des décideurs. Que l'on essaye au moins de reconsidérer le projet des Îles Chausey en utilisant les avancées technologiques de ces vingt dernières années, d'une part, en matière de construction des turbines et de transport et distribution de l'énergie électrique, sans oublier d'autre part, mais ce sera moins spectaculaire, les avancées dans le domaine du Génie Civil et du Génie Côtier, pour construire en haute mer les dizaines de kilomètres de digues capables de conserver leurs fonctions, même en cas de tempêtes ou de tsunamis. La question est de savoir si le projet des Îles Chausey a des chances de voir le jour après la réalisation du programme nucléaire français.

## **8. Références bibliographiques**

- 1 BÉLIDOR B.F. (1737). *Architecture hydraulique ou l'art de conduire, élever et aménager les eaux pour les différents besoins de la vie*. Tome I, Livre II, Ch.I 304-309.
- 2 BONNEFILLE R. (1969). *Contribution hydraulique et expérimentale du régime des marées*. Thèse présentée devant l'Université de Grenoble le 16 octobre 1968, Bulletin de la Direction des Études et Recherches d'Électricité de France, Série A, n°1.
- 3 BONNEFILLE R. (1976). *Les réalisations d'Électricité de France concernant l'énergie marémotrice*. La Houille Blanche n°2, 87-148.
- 4 BONNEFILLE R. (1979). *Les énergies de la mer : marémotrices, houle, éolienne et maréthermique. Possibilités d'utilisation et de développement*. 66, AIM, Liège, Centrales électriques modernes.
- 5 GIBRAT R. (1953). *L'énergie des marées*. Bulletin de la Société Française des Électriciens, 7<sup>ème</sup> série, Tome III, n°29, 263-332, mai 1953.
- 6 MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DE LA RECHERCHE (1976). *La production d'électricité d'origine hydraulique*. Les dossiers de l'énergie, n°9, La Documentation Française, 29-31 quai Voltaire 75340 Paris cedex 07.
- 7 RÉGION D'ÉQUIPEMENT HYDRAULIQUE N°8 (1958). *Aménagement de Chausey, Avant-projet EDF*. Dinard, mars 1958, non publié
8. OCEAN ENERGY REPORT 2007. [www.absenergyresearch.com](http://www.absenergyresearch.com)