

R713-CRE-E1/3

IFREMER Bibliotheque de BREST



0ELO6009

**CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCEANS  
(C N E X O)**



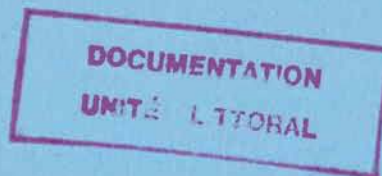
1571 =  
15804

# ÉTUDE DE PREMIER STADE D'AMÉNAGEMENTS A BUTS MULTIPLES EN BAIE DE CHAUSEY



**RAPPORT ANNEXE**

**TOME I**

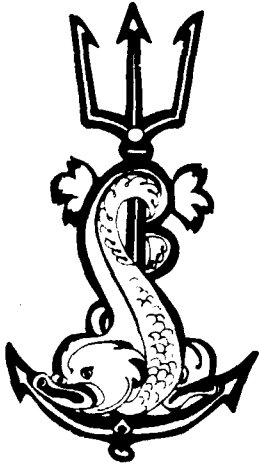


Août 1975

R. 12 341



**techniques des fluides**



CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCEANS  
(C N E X O)

# ÉTUDE DE PREMIER STADE D'AMÉNAGEMENTS A BUTS MULTIPLES EN BAIE DE CHAUSEY



RAPPORT ANNEXE

**TOME I**



Août 1975

Contrat C N E X O

N° 74/1131

R. 12 341



G. DIEULOT (C N E X O)

J.P. DUPORT (Alsthom - TdF)

J.P. HUFFENUS (Alsthom - TdF)

J. RUEFF (Sogreah)

**techniques des fluides**

## AVERTISSEMENT

-

Ce rapport annexe du rapport de synthèse R. 12 340 rassemble un certain nombre de fascicules qui rendent compte de quelques aspects particuliers de l'étude sur les thèmes suivants :

- buts multiples ou valorisations complémentaires (Cf. Chapitre I du R. 12 340)
- incidences sur l'environnement et le développement régional (Cf. Chapitre IV du R. 12 340)
- facteurs de réduction du coût des ouvrages et des équipements (Cf. Chapitre II du R. 12 340)

Les fascicules traitant du sujet

- valorisation énergétique de l'aménagement marémoteur (Cf. Chapitre III du R. 12 340)

sont réunis dans le tome II du présent rapport annexe.

oOo

## Sommaire du Tome I

|   | Pages |
|---|-------|
| <u>Buts multiples et environnement</u>  |       |
| BME 1 - Photographie de l'Ouest industriel actuel<br>(R. DESPLATS) .....                                    | 1     |
| BME 2 - Fiche "buts multiples" pour la sidérurgie<br>(R. DESPLATS) .....                                    | 5     |
| BME 3 - Fiche "buts multiples" pour une raffinerie<br>(R. DESPLATS) .....                                   | 10    |
| BME 4 - Fiche "buts multiples" pour une centrale nucléaire<br>(R. DESPLATS).....                            | 13    |
| BME 5 - Ressources en eau douce du site (R. DESPLATS) ....  | 17    |
| BME 6 - Répercussion sur les eaux souterraines (F. BAZIN)   | 21    |
| BME 7 - Influence sur le développement du tourisme<br>(J.M. ALLARD) .....                                   | 23    |
| BME 8 - Incidence sur la protection du littoral (L. TOURNEN)  | 43    |
| BME 9 - Economies en matière de défense des côtes<br>(R. PORTUGAL) .....                                    | 48    |
| BME10 - Aspects portuaires (R. PORTUGAL - J. RUEFF) .....   | 51    |
| BME11 - Aspects relatifs à l'environnement (G. DIEULOT) ..  | 55    |
| <u>Ouvrages et équipements</u>  |       |
| OE 1 - Optimisation du tracé des digues (J.F. DENOYELLE)  | 66    |
| OE 2 - Programme de tracé de digues (J.F. DENOYELLE) .....  | 73    |
| OE 3 - Pré-évaluation sommaire des digues mortes (J. RUEFF)   | 80    |
| OE 4 - Considération sur les procédés de construction pour<br>le génie civil (J. DELAUZUN - J. RUEFF) ..... | 84    |
| OE 5 - Sur la minimisation du coût des ouvrages (J. RUEFF)  | 90    |
| OE 6 - Ressources en agrégats marins (P. OZANNE) .....  | 93    |



|  |     |
|--|-----|
| OE 7 - Utilisation opérationnelle actuelle des analyses<br>et prévisions des paramètres météo-océaniques<br>(P.M. VITUREAU - Y. TREGLOS) ..... | 96  |
| OE 8 - Détermination de la caractéristique des turbines<br>(colline industrielle) ( G. MARTIN) .....   | 100 |

oOo

## Annexe BME 1

## Photographie de l'Ouest industriel actuel

Population. Main d'œuvre. Répartition  
actuelle des emplois industriels

## R. DESPLATS

1. Le département de la Manche (1973)

Population : 452 000 h (dont 40 % d'agriculteurs)

- . CHERBOURG : 78 000 h (seule ville ayant plus de 20 000 h)
- . GRANVILLE : 14 000 h
- . AVRANCHES : 11 000 h (l'arrondissement : 124 000 h)
- . PONTORSON : 3 690 h
- . ST LO : 19 600 h

Actifs dans l'industrie : 30 300 h (dont 4 000 à l'arsenal et 17 000 dans les B.T.P.)

Consommation d'électricité : 410 MWh dont 215 en H.T.

2. Le département d'Ille et Vilaine (1968)

Population : 652 000 h (1968)

- . RENNES : 220 000 h (1974) à 64 km du Mt St-Michel
- . ST MALO : 43 000 h à 45 km du Mt St-Michel
- . FOUGERES : 27 000 h à 40 km d'Avranches
- . DOL DE BRETAGNE : 5 000 h à 39 km d'Avranches

3. L'industrie dans l'Ouest3.1 En façade maritime de Dieppe à St Nazaire

- . DIEPPE : 39 000 h port bananier notamment
- . LE HAVRE : complexe industriel (Cf fiche spéciale)

- . CAEN : 152 000 h avec ses principales industries  
Société métallurgique de Normandie  
Citroën, Moulinex, Jaeger, Radiotechnique
- . CHERBOURG : 79 000 h  
DCAN, CIT Alcatel, Construction mécanique  
SIMON, Compteurs Socoval, Physique nucléaire  
à la Hague
- . ST MALO : 42 000 h
- . ST BRIEUC : 67 000 h  
Agroalimentaire, Chaffoteaux et Maury,  
Sambre et Meuse, Le Joint Français
- . BREST : 160 000 h  
l'Arsenal, projet de raffinerie retardé aux  
calendes
- . QUIMPER : 52 000 h  
Papier Bollere, laiteries, conserveries,  
bonneterie
- . LORIENT : 98 000 h (150 km de Rennes)  
2e port de pêche français  
DCAN, SBFM, sous-traitance de Renault,  
Ducasson, chantier La Perrière  
Conserveries
- . VANNES : 40 000 h  
Michelin, LMT, Guyomarch (agroalimentaire)
- . ST NAZAIRE: 110 000 h  
Chantiers de l'Atlantique, SNIAS, raffinerie  
ANTAR, chantiers

### 3.2 A l'intérieur

- . ALENCON : 50 000 h (195 km de Paris)  
Moulinex, Carrier, Silec, Goavec
- . LE MANS : 191 000 h (210 km de Paris)  
Renault, Glanzer-Spicer, Belman (radio)  
Garczynski (t.v.) Traptor
- . LAVAL : 55 000 h  
LMT, Salason, Thomson

#### 4. Economie de la Basse-Normandie (1972) (Calvados, Orne, Manche)

|                          | Calvados       | Manche          | Orne             |
|--------------------------|----------------|-----------------|------------------|
| Population active totale | 214 550        | 194 600         | 130 150          |
| Actifs des industries    | 49 900<br>23 % | 30 300<br>15 %  | 29 400<br>22,5 % |
| Actifs BTP               | 21 500<br>10 % | 17 100<br>8,8 % | 10 800<br>8,3 %  |

#### Chemin de fer

Paris-Granville est limité à 1300 tonnes par train (très inférieure aux 2400 tonnes de Rouen-Le Havre).

A partir de Granville, limité à 700 tonnes par train!

#### Energie

Provient de la Basse-Seine (pétrole, électricité)

#### Centrales hydroélectriques

- sur la Selune au Sud-Est d'Avranches  
La Roche qui boit 1,5 MW (1920)  
Vezins 10,5 MW (1932)
- sur l'Orne à Rabodanges 6,6 MW (1961)

#### Centrales thermiques

- Caen 66 MW
- Cherbourg 10 MW
- SIN Caen 65 MW

En 1969 les consommations d'électricité étaient :

|                 | MkWh | H.T. | % du total |
|-----------------|------|------|------------|
| Calvados        | 840  | 575  | 68         |
| Manche          | 410  | 215  | 52         |
| Orne            | 335  | 204  | 60         |
| Basse Normandie | 1589 | 994  | 63         |



Les lignes H.T. viennent de Bretagne par le poste d'interconnexion de l'Aigle sur Orne, relié à Caen, Basse-Seine (Porcheville) et Massif Central.

L'isolement de la Manche est accusé : diminution de 9 % du nombre de salariés de 1954 à 1961.

#### Conclusion provisoire

Un des principaux facteurs d'industrialisation est la disponibilité en main d'œuvre : quantité et qualité, c'est-à-dire possibilités de formation. Nous constatons que l'environnement immédiat du complexe de Chausey est de pauvre potentialité en main d'œuvre.

oOo

Annexe BME 2

-

Fiche type "but multiple" - CHAUSEY

R. DESPLATS

1. NATURE DE L'ACTIVITE : SIDERURGIE

. Produits :

- Fonte : 3 Mt/an (1<sup>ère</sup> étape de Fos)
  - Acier : 3,5 Mt/an
- } soit 15 % de la production française de 1974

. Procédés :

- 2 hauts fourneaux
- train continu à larges bandes
- cokerie : 1,4 Mt/an
- Aciérie LD à 3 convertisseurs (lingotières ou coulée continue)

2. GRANDEURS CARACTERISTIQUES

- . Production d'une unité classique : 1<sup>re</sup> tranche (Fos) 3,5 millions tonnes/an
- . Besoins en matière première : 6 Mt/an de fines à coke humide
- . Besoins en matière première : 3 Mt/an de minerai
- . Besoins en matière première : 3 MT/an de castine
- . Création d'emplois :
  - 7000 en première étape

UTILITES

2.1 Consommation d'énergie

- . Fuel lourd : 0,24 Mt/an
- . Vapeur : 3 x 215 t/h à 84 bars
- . Oxygène : 1440 t/j
- . Energie électrique
  - Puissance installée P : 3 x 150 MVA EDF + 2 x 48 MW en secours
  - Taux d'utilisation = NkWh par an/PkW : continu
  - Intérêt vis-à-vis de l'énergie excédentaire modulée : néant

## 2.2 Superficie occupée :

- . 600 ha pour 7 millions t/an
- . 1600 ha pour une production de 20 millions de tonnes/an

## 2.3 Débit d'eau douce : 1re phase 3000 m<sup>3</sup>/h dont 300 m<sup>3</sup>/h déminéralisé (60 000 m<sup>3</sup>/h recyclé)

Débit d'eau de mer :

- . 18 000 m<sup>3</sup>/h × 8°C à la centrale

## 2.4 Débit et nature des rejets liquides : 2000 m<sup>3</sup>/h purges de déconcentration etc.. boue de décarbonatation va vers la lagune

Débit et nature des rejets solides : 3 Mt/an de laitier → crassier

Débit et nature des rejets gazeux :

- . 1re tranche 16 000 t/an de soufre - SO<sub>2</sub> 90 t/j SO<sub>2</sub>
- . cheminées : 2 × 120 m ; 1 × 90 m ; 1 × 72 m ; 1 × 65 m ; 1 × 47,5 m, 1 × 60 m
- . teneur en poussière < 150 mg/Nm<sup>3</sup>

## 2.5 Arrivée et sortie des matières premières et produits

### 2.51 Besoins portuaires

- . Réception : quai de 640 m, de profondeur utile 20 m, largeur de darse 60 m (pour 2 postes de minéralier de 150 000 t de port en lourd, puis extension pour minéralier de 300 000 t de port en lourd); 2 portiques de 40 tonnes capables de décharger 50 000 t/jour
- . Expédition : quai de 400 m, de profondeur utile 12 m ; 2 grues de 50 t à 32 m de portée
- . Stockage 37 ha, 1 MT de minerai, 0,35 Mt de charbon (c'est-à-dire 2 à 2,5 mois)

### 2.52 Besoins en voie ferrée

- . 39 km de voies internes
- . 6000 t/jour en trains de 1060 t utile

### 2.53 Besoins en transport routier

- . 50 km de routes internes

### 3. CRITERES DE CHOIX D'IMPLANTATION

#### . Favorables

- Façade maritime : réception de minerais, charbon, fuel ; exportation d'acier.
- Désert Ouest (hormis Caen) sur le plan production sidérurgique
- Barycentre par rapport à plusieurs pôles consommateurs :
  - arsenaux de Brest, Cherbourg
  - chantiers navals et construction mécanique de Nantes-St Nazaire, Lorient
  - construction automobile à Rennes et au Mans
- saturation de Dunkerque

#### . Défavorables

Le programme d'extension de Fos atteint 20 Mt/an (dont 3 Mt/an en route et 3,5 programmé à court terme), chiffre à rapprocher de la production française de 1973 de 25,3 Mt.

### 4. CONTRIBUTION FINANCIERE

4.1 Souscription d'énergie : 3 transfos 225 kV/63 kV ; 3 x 150 MVA  
2 turboalternateurs de secours : 2 x 48 MW  
puissance de court-circuit > 5 GVA

4.2 Superficie - foncier : 600 à 1600 ha

#### 4.3 Participation aux charges communes

. Portuaire : voir § 2.51

. Adduction d'eau : 3000 m<sup>3</sup>/h d'eau douce ; 18 000 m<sup>3</sup>/h d'eau de mer

. Rejets : 2000 m<sup>3</sup>/h

. Chemin de fer : voir § 2.52

## 5. EXIGENCES ET CONTRAINTES SPECIFIQUES - INTERLIAISONS OU EXCLUSIONS

L'implantation d'un complexe sidérurgique en façade maritime impose une interliaison évidente port-sidérurgie (cf § 2.51).

## Annexe à la fiche "Sidérurgie"

## 1. L'ACIER EN 1973

La Communauté a produit 150,1 millions de tonne d'acier brut :

|                     |         |
|---------------------|---------|
| • la France .....   | 25,3 Mt |
| • l'Allemagne ..... | 49,5    |
| • les U.S.A. ....   | 136,4   |
| • le monde .....    | 696     |

En France :

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| • USINOR .....        | 9,117 |
| • SACILOR .....       | 8,2   |
| • SOLLAC .....        | 2,9   |
| • CREUSOT-LOIRE ..... | 1,09  |
| • COCKERILL .....     | 1,007 |
| • S.M.N. (Caen) ..... | 0,959 |
| • LA CHIERS .....     | 0,858 |

2. Le complexe de FOS est prévu pour produire en phase finale sur 1600 ha : 20 Mt

|  |     |
|--|-----|
| • en 1re phase (mise en route) .....   | 3,5 |
| • en 2e phase (en cours d'étude) ..... | 7   |

## Annexe BME 3

-

Fiche type "but multiple" - CHAUSEY

R. DESPLATS

## 1. NATURE DE L'ACTIVITE : Raffinerie de pétrole

- . Produits : Propane, butane, supercaburant et carburant auto, carburacteur, gas-oil moteur, fuel domestique, fuel lourd.
  
- . Procédés : classiques

## 2. GRANDEURS CARACTERISTIQUES

- . Production d'une unité classique : 6 millions de tonnes/an
- . Besoins en matière première : 6 millions de tonnes/an de pétrole brut
- . Création d'emplois : 150 personnes

## UTILITES

2.1 Consommation d'énergie

- . Fuel lourd :
- . Vapeur : 2 x 120 t/h à 65 bars
- . Energie électrique
  - Puissance installée P : 20 000 kVA (EDF + secours)
  - Taux d'utilisation = NkWh par an/PkW : voisin de 1
  - Intérêt vis-à-vis de l'énergie excédentaire modulée : aucun

2.2 Superficie occupée : 228 ha

2.3 Débit d'eau douce :

Débit d'eau de mer : 20 000 m<sup>3</sup>/h

2.4 Débit et nature des rejets liquides

8400 m<sup>3</sup>/jour } station de 15 000 m<sup>2</sup> - incinération : 135 m<sup>3</sup>/j de boues huileuses  
9600 m<sup>3</sup>/jour } 50 m<sup>3</sup>/j

Débit et nature des rejets gazeux : 1 cheminée h  $\gg$  100 m

2.5 Arrivée et sortie des matières premières et produits

2.51 Besoins portuaires

- . Accueil de pétrolier de 100 000 à 300 000 tonnes
- . 6 stockages de 90 000 m<sup>3</sup>
- . Pipe de 20" du port à la raffinerie

2.52 Besoins en voie ferrée

- . Centre de chargement avec 8300 m de voies ferrées

2.53 Besoins en transport routier

- . 6 ha de centre de chargement de camions-citernes



### 3. CRITERES DE CHOIX D'IMPLANTATION

. Favorables

. Défavorables

### 4. CONTRIBUTION FINANCIERE

4.1 Souscription d'énergie : 20 000 kVA

4.2 Superficie - foncier : 228 ha

4.3 Participation aux charges communes

. Portuaire :

- quai de déchargement de pétrolier de 100 000 à 300 000 t

- stockages

. Adduction d'eau : 20 000 m<sup>3</sup>/h d'eau de mer

. Rejets : 18 000 m<sup>3</sup>/jour

. Chemin de fer : 8300 m de voies ferrées pour centre de chargement

## Annexe DMS 4

Fiche type "but multiple" - CHAUSEY

R. DESPLANS

## 1. NATURE DE L'ACTIVITE : Centrale nucléaire

- Produits : énergie électrique

- Procédés : PWR

## 2. GRANDEURS CARACTERISTIQUES

- Production d'une unité classique : 1000 MW x 2

- Besoins en matière première : néant

- Création d'emplois : 50

## UTILITES

2.1 Consommation d'énergie

- Fuel lourd : néant

- Vapeur : vecteur intermédiaire de la production d'énergie électrique

2.2 Superficie occupée : 40 ha

2.3 Débit d'eau douce : < 10 m<sup>3</sup>/h

Débit d'eau de mer : 60 m<sup>3</sup>/s

2.4 Débit et nature des rejets liquides : 60 m<sup>3</sup>/s

Débit et nature des rejets gazeux : néant

2.5 Arrivée et sortie des matières premières et produits

2.51 Besoins portuaires

Néant

2.52 Besoins en voie ferrée

} Transport composants centrale  
} Transport combustible irradié  
(20 transports/an)

2.53 Besoins en transport routier

### 3. CRITERES DE CHOIX D'IMPLANTATION

- Favorables

Proximité rivage.

Existence d'un débit de circulation de l'ordre de 100 000 m<sup>3</sup>/s réduisant probablement à néant le problème d'évacuation des calories en mer.

- Défavorables

Pas plus que les autres sites en bord de mer.

### 4. CONTRIBUTION FINANCIERE

4.1 Souscription d'énergie : 0

4.2 Superficie - foncier : 40 ha

4.3 Participation aux charges communes

- Portuaire : 0

- Adduction d'eau : < 10 m<sup>3</sup>/h

- Rejets : spécifique donc 0.

- Chemin de fer :

## 5. EXIGENCES ET CONTRAINTES SPECIFIQUES - INTERLIAISONS OU EXCLUSIONS

- . Façade d'environ 1 km sur la mer
- . Côte insubmersible et protégée contre la houle
- . Zones d'éviction réglementaires
- . Problèmes spécifiques liés à une installation sur les digues

oOo

## Annexe BME 5

Ressources en eau dans la Baie du Mont St-Michel

d'après une étude 1968 de la Mission Technique de l'Eau de Basse-Normandie  
DATAR

R. DESPLATS

## 1. DEPARTEMENT DE LA MANCHE

De Pontorson à Granville, il y a trois bassins sous-versants :

## . La Selune (se jette au sud d'Avranches)

- Surface du bassin : 731 km<sup>2</sup> à Vezins  
1011 km<sup>2</sup> au total
- Débit moyen annuel : 11,9 m<sup>3</sup>/s limité à 9,1 m<sup>3</sup>/s à Vezins ;  
375,3 millions m<sup>3</sup>/an à l'embouchure
- Débit minimal : 30 jours consécutifs : 1,8 m<sup>3</sup>/s à Vezins ;  
6,2 millions m<sup>3</sup>/mois à l'embouchure
- Débit maxi maximorum : 105,5 m<sup>3</sup>/s
- Débit minimum journalier : 0,3 m<sup>3</sup>/s
- Hauteur moyenne de précipitation : P = 955,0 mm à Vezins  
P = 934,3 mm au total
- Hauteur moyenne de lame à l'exutoire : Q = 391,5 mm
- Evapotranspiration = déficit d'écoulement : 563,5 mm soit un coefficient de ruissellement :  $Q/P = 391,5/955 = 41 \%$
- Besoins en eau des industries (St Hilaire du Harcouet)

| 1965                      | 1975                      | 1985                      |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 61 000 m <sup>3</sup> /an | 76 250 m <sup>3</sup> /an | 91 500 m <sup>3</sup> /an |

• La Sée (se jette à Avranches)

- Surface de bassin : 461 km<sup>2</sup>
- Débit moyen annuel : 9,2 ou 11 m<sup>3</sup>/s - 290,1 millions m<sup>3</sup>/an
- Débit minimum 30 jours consécutifs : 1,4 m<sup>3</sup>/s - 4,8 millions m<sup>3</sup>/an
- Lamme d'eau précipitée moyenne : 1208,8 mm
- Besoins en eau des industries (Avranches)

| 1965                         | 1975                         | 1985                         |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 500 000 m <sup>3</sup> /an | 2 000 000 m <sup>3</sup> /an | 2 200 000 m <sup>3</sup> /an |

• L'ensemble Tard + Boscq + Sianne

- Le Tard (ou Thar) se jette à quelques km au sud de Granville  
débit d'étiage : 0,3 m<sup>3</sup>/s
- Le Boscq se jette à Granville  
débit d'étiage : 0,055 m<sup>3</sup>/s
- La Sianne (ou Sienne) se jetant près de Coutances au Nord de Granville  
débit d'étiage : 0,04 m<sup>3</sup>/s

A Granville, pour Le Thar et le Boscq, les besoins en eau des industries sont :

| 1965                         | 1975                         | 1985                         |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 500 000 m <sup>3</sup> /an | 1 900 000 m <sup>3</sup> /an | 2 100 000 m <sup>3</sup> /an |

Données globalisées pour la zone 1 (Manche)

- Précipitations : 923 mm/an, soit 245 m<sup>3</sup>/s - 7 728 millions m<sup>3</sup>/an
- Lames d'eau - exutoire, c'est-à-dire  $\Sigma$  débits de ruissellement : 2697 millions m<sup>3</sup>/an soit 35 % des précipitations dont :
  - 290,1 pour la Sée
  - 375,3 pour la Selune
  - 3,5 pour Thar et Boscq
- $\Sigma$  Débits minima 30 jours consécutifs = 49,4 millions m<sup>3</sup>/mois dont
  - 4,8 pour la Sée
  - 6,2 pour la Selune
  - 0,1 pour Thar et Boscq

## 2. DEPARTEMENT D'ILLE ET VILAINE

(D'après l'Agence de Bassin Loire-Bretagne)

### 2.1 Le Guyoult (à Epiniac)

- . 0,39 m<sup>3</sup>/s débit moyen interannuel
- . 0,048 m<sup>3</sup>/s débit d'étiage
- . 3 m<sup>3</sup>/s débit maximal

### 2.2 Le Couesnon (à Romazy)

- . 4,940 m<sup>3</sup>/s : débit moyen interannuel
- . 18,600 m<sup>3</sup>/s : débit maximal
- . 0,360 m<sup>3</sup>/s : débit du mois le plus sec
- . 0,145 m<sup>3</sup>/s : débit minimal

## 3. UTILISATIONS ACTUELLES ET FUTURES - COMPARAISON AUX RESSOURCES

### Consommations

La zone 1 (essentiellement la Manche) consommait 44 millions m<sup>3</sup>/an en 1965 dont :

- . 33,9 % pour l'industrie
- . 7,8 % pour l'agriculture
- . 58,3 % pour l'eau domestique

et les prévisions sont de 70 millions m<sup>3</sup>/an en 1985 ; dans les prévisions, la progression des consommations d'eau pour l'industrie est le doublement en 20 ans.

### Taux d'utilisation

Si on prend les débits des 30 jours minima, le taux d'utilisation évolue de 1/6,8 (1965) à 1/5,1 (1975) et 1/4,4 (1985).



#### 4. BESOINS EN EAU DOUCE D'UN COMPLEXE INDUSTRIEL ASSOCIE A UNE USINE MAREMOTRICE

- Sidérurgie : 3,5 Mt/an d'acier - 3000 m<sup>3</sup>/h
- Raffinerie : 6 Mt/an - 300 m<sup>3</sup>/h
- Centrales nucléaires 2000 MW - de l'ordre de 10 m<sup>3</sup>/h
- Autres industries : à préciser

#### Conclusion provisoire

A priori, les principaux débits minima de 30 jours consécutifs disponibles dans la Baie du Mont St-Michel :

- 0,36 m<sup>3</sup>/s : le Couesnon
- 1,80 m<sup>3</sup>/s : la Selune
- 1,40 m<sup>3</sup>/s : la Sée
- 0,10 m<sup>3</sup>/s : le Thar et le Boscq

sont très dispersés et nettement insuffisants pour alimenter les besoins minima d'un gros complexe industriel en façade maritime.

La création de bassins-réservoirs peut faire gagner un facteur 2 à 4 ; le recours à l'eau de mer pour les circuits de réfrigération est possible mais coûteux ; de plus, il faut de l'eau douce pour les chaudières et les "process" chimiques notamment.

Les ressources souterraines sont apparemment inexistantes, insignifiantes, pour une échelle industrielle.

oOo

NOTE PRELIMINAIRE AU SUJET DES REPERCUSSIONS  
DU PROJET DES ILES CHAUSEY  
SUR LES EAUX SOUTERRAINES

F. BAZIN

INTRODUCTION

Dans la zone intéressée on trouve :

- à l'Ouest de Cancale et sur la côte du Cotentin vers Granville, une côte rocheuse, affleurements de terrains primaires cristallophyliens, pratiquement imperméables. Une modification du niveau marin n'y aura pratiquement aucune répercussion sur les eaux souterraines exploitables, sauf points tout à fait exceptionnels ;
- de Cancale au fond de la baie, une côte basse dont la position a été fixée artificiellement par un endiguement, et le long de laquelle les eaux souterraines risquent d'être affectées par l'aménagement ;
- le long de la cote du Cotentin, de petites dunes cotières qui contiennent peut être des petites ressources locales d'eau douce posant aussi des problèmes.

Seules ces deux dernières zones sont examinées ci-dessous.

1. Les sédiments marins argilo-tourbeux de la plaine du marais de Dol, se prolongent en parfaite continuité sous la baie. Un endiguement a limité l'extension des grandes marées, réalisant ainsi des polders dont l'altitude est à peine plus élevée que le niveau moyen de la mer.

Un drainage évacue en mer (machines et pompes) l'excédent d'eau de pluie reçu par ces surfaces ; le débit d'infiltration d'origine marine est limité par la faible perméabilité des sédiments.

A l'avenir le niveau marin moyen sera soit plus bas, soit plus haut que le niveau actuel et les amplitudes des fluctuations seront très réduites.

a. cas du bassin bas

Le niveau marin moyen sera à -4 NGF soit près de 7 mètres sous les points bas des marais. Le niveau maximum marin sera encore à -1,50 NGF. Cet abaissement facilitera considérablement le drainage en saison humide. Mais le niveau moyen des eaux souterraines pourra s'abaisser de plusieurs mètres en saison sèche, avec diminution de la réserve d'eau facilement utilisable pour les plantes. Certains types de cultures, tels que les prairies risquent d'en souffrir temporairement.

b. cas du bassin haut

Le niveau moyen dans le bassin sera au-dessus du niveau du sol et l'amplitude du marnage étant réduite, il ne descendra qu'exceptionnellement en dessous.

La faible perméabilité du terrain limitera l'invasion marine. A long terme cependant, on risque d'avoir une salinisation générale des eaux souterraines dont il importera de combattre les effets nuisibles :

- en organisant le drainage des eaux apportées par les pluies de saison humide de telle façon que la couche superficielle du sol soit lessivée régulièrement ;
- en coupant si possible les infiltrations d'eau salée au moyen de drains profonds ou de canaux d'eau douce au pied de l'endiguement.

2. Les dunes culminent au-dessus des marées hautes ;

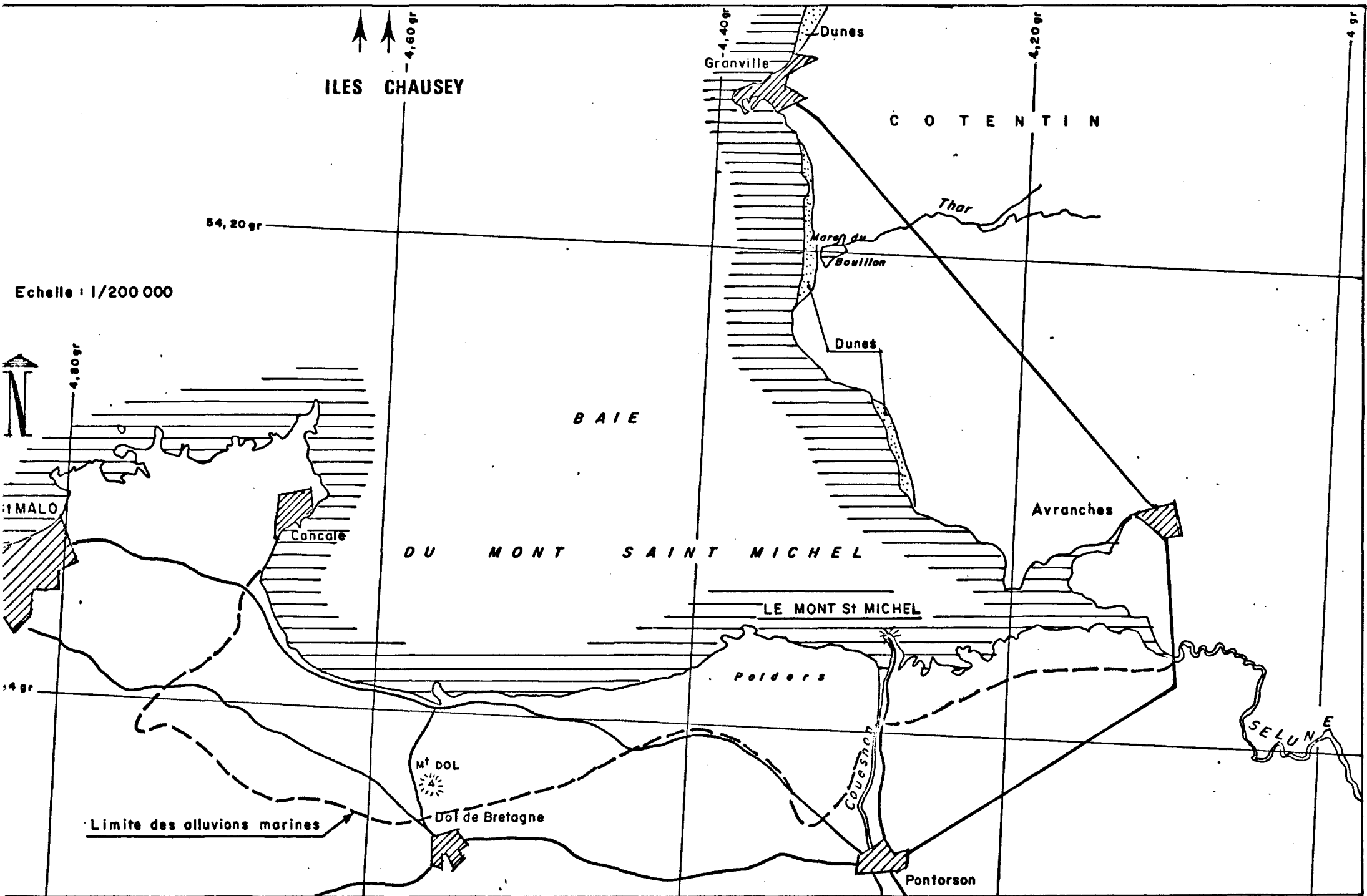
Elles renferment probablement des lentilles d'eau douce flottant sur l'eau salée, bien que les grandes fluctuations du niveau marin risquent de causer un certain mélange des eaux douces et salées.

Dans l'hypothèse d'un bassin haut, l'élévation du niveau marin moyen va réduire le volume disponible pour l'eau douce, mais en même temps, la réduction du marnage va diminuer l'importance du processus de mélange-diffusion.

Dans l'hypothèse d'un bassin bas on aura un accroissement du volume susceptible de se saturer d'eau douce et aussi une réduction du processus de mélange, sauf si une couche imperméable se situait au niveau de la mer actuel.

De toute façon les problèmes ainsi créés devraient rester peu importants car ces dunes sont de petite extension et ne sont probablement que peu exploitées actuellement.

oOo



## Annexe BME 7

## BAIE DE CHAUSEY

INFLUENCE DE L'AMENAGEMENT DES ILES CHAUSEY  
SUR LE DEVELOPPEMENT DU TOURISME

J.M. ALLARD

La fermeture de la baie de CHAUSEY en vue de la réalisation d'une usine marémotrice aura des conséquences importantes sur l'activité économique de la région.

On peut classer les secteurs dans lesquels s'exercera cette influence en trois grandes catégories : le tourisme, la pêche et la conchyliculture, l'environnement. Mais il est certain que les modifications des conditions nautiques dans la baie auront une influence prépondérante sur le tourisme.

## 1 CONSIDERATIONS GENERALES

La région Ouest Cotentin et Nord Bretagne attire une clientèle touristique très importante, cependant il faut remarquer que la localisation de cette clientèle est limitée d'une part, sur la côte Ouest du Contentin (jusqu'à la Pointe de Champeaux au Sud de GRANVILLE) et d'autre part, à l'Ouest de CANCALE (St MALO - DINARD).

Le fond de la baie est donc peu fréquenté en raison de l'envasement très important de cette portion de Côte, mis à part le MONT-St-MICHEL qui constitue un cas particulier.

On peut classer le tourisme en trois types suivant l'activité pratiquée : le tourisme de passage, le tourisme de vacances, le tourisme nautique.

## 2 TOURISME DE PASSAGE

Ce type de tourisme est particulièrement important dans la région grâce aux deux pôles d'attraction que constituent le MONT-SAINT-MICHEL et la ville de SAINT-MALO.

Actuellement le MONT-SAINT-MICHEL est le 4ème monument le plus visité en FRANCE (450 000 entrées en 1970) après la Tour EIFFEL (2 750 000 entrées), le Louvre (1 250 000 entrées) et le Château de VERSAILLES (1 200 000 entrée).

L'usine marémotrice et la digue constitueraient un complément très important de l'attrait touristique de la région et on peut penser que la fréquentation des touristes de passage pourrait être assez sensiblement augmentée.

L'effet économique sur la région serait largement bénéfique par les retombées directes et indirectes sans qu'il en résulte de contraintes particulières sur le plan de la réalisation de l'ouvrage. Bien plus, les taxes perçues à l'occasion de la visite de l'usine ou d'un péage sur la digue permettraient de couvrir certains frais liés à l'amélioration de l'environnement (accès sur la terre ferme) ou à l'entretien des installations (route de couronnement des digues, parkings).

Le moment venu il serait peut-être intéressant de savoir quel est l'importance des redevances de visite perçues par E.D.F. pour la visite de l'usine de la Rance (si cette redevance existe).

## 3 MONT-SAINT-MICHEL

On a vu que le MONT St MICHEL est un élément très important de l'attrait touristique de la région. En principe la réalisation des digues, situées très au large, ne perturbera pas l'environnement du site.

Cependant à ce sujet on peut faire deux réflexions :

- Ne serait-il pas possible de prévoir dans le cadre du fonctionnement de l'usine une cote du niveau du ou des bassins qui permettrait de redonner au MONT St MICHEL son caractère d'île, tout au moins temporairement au cours d'un cycle de marée. Il y aurait dans ce cas une possibilité d'accroître l'attrait du site en offrant aux visiteurs le vrai visage du MONT St MICHEL tel qu'il se présentait autrefois.
- Dans le cas de la fermeture de la baie n'y aura t-il pas accélération de l'envasement du fond de la baie par suite de la suppression ou de l'atténuation des courants de marée ?

Il serait nécessaire de déterminer quel est l'origine et le processus de la formation des dépôts actuels et quels sont les phénomènes qui accélèrent ou au contraire qui empêchent la formation de ces dépôts (courants côtiers longitudinaux Nord-Sud par exemple).

A la suite de la fermeture de la baie et de la modification du régime des courants une étude devrait préciser l'importance des modifications à attendre dans la formation des dépôts.

Toute modification qui aurait tendance à éviter la formation des dépôts aura évidemment une influence bénéfique pour la protection du site du MONT-ST-MICHEL.

Il faut signaler en outre que dans ces deux cas (surélévation du plan d'eau - accélération de l'envasement) les modifications de la cote du plan d'eau auront des répercussions non seulement sur le site du MONT-St MICHEL, mais également sur les zones de production d'huitres et de moules, très importantes dans la région côtière comprise entre CHERRUEIX et CANCALE.

#### 4 TOURISME DE VACANCES

Les centres de villégiature estivale sont importants sur la côte Ouest du Cotentin principalement entre CARTERET et GRANVILLE ainsi que dans la zone comprise entre CANCALE et la baie de ST BRIEUX.

La position de la digue à l'Ouest, qu'elle parte de la pointe du GROUIN ou de la pointe de MEINGA n'aura pratiquement pas d'impact direct sur les aménagements touristiques de la zone Ouest puisque les fortes concentrations touristiques de cette zone commencent à ROTHENEUF, donc à l'extérieur de la digue.

Par contre la côte Ouest Cotentin subira directement l'influence de l'aménagement tout au moins dans la partie comprise à l'intérieur des digues. On a dit par ailleurs que dans cette zone, la côte était actuellement dans un état d'équilibre très précaire par suite des érosions provoquées par la houle et les courants; on peut penser qu'après endiguement la partie de la côte située à l'intérieur du plan d'eau pourra être mieux protégée par réduction des courants côtiers et diminution du marnage. S'il se confirme que les érosions côtières pourront être arrêtées ou tout au moins fortement réduites, il serait possible alors d'envisager la création d'un complexe touristique situé de préférence au Sud de GRANVILLE (entre GRANVILLE et la pointe de CHAMPEAUX).

Bien que limitée, cette zone côtière au Sud de GRANVILLE représente le seul emplacement disponible pour la réalisation d'un ensemble touristique intégré, car la côte plus au Nord est en partie occupée par des élevages d'huitres et de moules.

De plus, il n'est pas pensable d'envisager la création d'équipements touristiques lourds dans le fond de la baie du MONT-St-MICHEL (partie comprise entre la pointe de CHAMPEAUX et CANCALE) pour trois raisons principales :



- 1/- Le fond de la baie est vaseux et en partie pollué par les arrivées de la Sée, de la Sélune et du Couesnon,
- 2/- Il faut préserver le site du MONT-SAINT-MICHEL
- 3/- Entre le MONT SAINT MICHEL et CANCALE existe une concentration importante de concessions pour élevage d'huitres et de moules.

Ce complexe touristique présenterait de plus l'intérêt de s'appuyer sur des centres existants : GRANVILLE d'une part, comme centre commercial et les stations littorales actuelles : DONVILLE, REGNEVILLE au Nord SAINT PAIR - JULLOUVILLE au Sud.

Dans le cadre de cette promotion touristique de la côte, il serait sans doute souhaitable de remodeler ponctuellement le tracé des plages pour tenir compte à la fois des nouvelles conditions de courant et de marnage provoquées par l'usine et d'autre part, pour offrir aux touristes un ensemble d'aménagements bien adaptés aux besoins : plages plus larges et plus stables, havres aménagés pour l'évolution et l'échouage des petits dériveurs (en particulier le havre de REGNEVILLE qui se trouve en dehors des zones de production conchylicoles).

## 5 TOURISME NAUTIQUE

En raison des difficultés de navigation dans cette zone (hauts fonds - courants - marées) la navigation de plaisance côtière est peu développée à l'Est de SAINT-MALO. Seuls les bateaux d'un certain tonnage montés par des équipages expérimentés peuvent évoluer sans danger mais il s'agit dans la plupart des cas d'unités importantes qui naviguent en général loin des côtes.

La création d'un grand plan d'eau à l'abri de digues modifierait radicalement les conditions de navigation et permettrait le développement d'une flotte de bateaux de plaisance plus légers (bateaux de moins de 2 tonnes ou dériveurs) qui pourraient alors évoluer en toute sécurité dans un bassin suffisamment étendu bien protégé des fortes houles et des courants côtiers.

Pour ces unités légères, il faudrait créer des infrastructures d'accueil mais qui ne nécessitent pas des investissements lourds (de simples bassins d'échouage suffisent la plupart du temps pour les dériveurs).

Cependant la présence de la digue de fermeture du plan d'eau formant brise lame permettrait de réaliser facilement et à peu de frais des ports en eau profonde pour les bateaux plus lourds (> 2 tonnes) ce qui augmenterait la capacité d'accueil de la région et permettrait de faire face à l'augmentation prévisible de la flotte de plaisance à long terme.

### 5.1 Evolution de la flotte de plaisance

Une étude récente effectuée par le Commissariat Général au Tourisme (1) donne des renseignements sur l'évolution passée et les prévisions d'avenir de la flotte de bateaux de plaisance en FRANCE.

Les évaluations qui sont faites ci-après ne peuvent concerner que l'horizon long terme (au-delà de 1985) car il est évident que la durée de maturité d'un ouvrage de l'importance de celui qui est prévu dans la zone des îles CHAUSEY demandera au minimum une dizaine d'années avant de voir un début de réalisation concrète.

Il faut donc interpréter les prévisions avec beaucoup de prudence et ne prendre les chiffres annoncés que comme des ordres de grandeur.

#### 5.11 Evolution de la flotte de plaisance de moins de 2 tonnes

On regroupe dans cette catégorie les dériveurs et les bateaux qui n'exigent pas une place à quai en eau profonde toute l'année. Il s'agit donc en fait de bateaux qui peuvent se contenter de havres d'échouage ou qui peuvent plus ou moins facilement être sortis et mis à l'eau à l'occasion de promenades et de séjours.

(1) Statistique du tourisme n°2 - 2ème trimestre 1974 Commissariat Général au Tourisme

L'évolution des immatriculations en FRANCE depuis 1965 se présente de la manière suivante :

| Années                         | 1965   | 1966    | 1967    | 1968    | 1969    | 1970    | 1971    | 1972    | 1973    |
|--------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Nombre de bateaux              | 92 000 | 118 280 | 141 500 | 164 630 | 177 410 | 192 140 | 207 400 | 224 060 | 242 350 |
| Augmentation en valeur absolue |        | 26 280  | 23 220  | 23 130  | 22 490  | 16 640  | 15 260  | 16 660  | 18 290  |
| Augmentation en %              |        | 28,6    | 19,6    | 16,3    | 13,0    | 9,4     | 7,9     | 8,0     | 8,2     |

Ainsi on peut dire que depuis 1970 le nombre de bateaux de plaisance de moins de 2 tonneaux augmente assez régulièrement de 8 % par an ce qui représente pour l'année 1973 une progression en valeur absolue de 18 000 bateaux environ.

Pour prévoir l'évolution de cette flotte au cours des 20 prochaines années on peut faire deux hypothèses :

- une hypothèse basse (H1) reposant sur une progression constante du nombre de bateaux en valeur absolue soit 18 000 unités par an.
- une hypothèse forte (H2) basée sur le prolongement du taux de croissance observée au cours de ces dernières années soit 8 % par an.

On obtient ainsi les chiffres suivants :

|  | Hypothèse basse | Hypothèse forte |
|--|-----------------|-----------------|
| 1973   | 242 000         | 242 000         |
| 1985   | 458 000         | 610 000         |
| 1995   | 638 000         | 1 310 000       |
| Nombre d'unités supplémentaires entre 1985 et 1995 | 180 000         | 700 000         |

Entre 1985 et 1995 il y aurait donc une progression de 180 000 bateaux en hypothèse basse et 700 000 bateaux en hypothèse haute pour l'ensemble de la FRANCE.

Actuellement la part de la Bretagne et de la Basse Normandie représente environ 20 % du total des bateaux immatriculés en FRANCE, et on peut supposer que la répartition actuelle ne se modifiera pas sensiblement dans les années à venir compte tenu de l'attrait du littoral de l'Ouest français.

Cela représenterait pour ces deux régions une augmentation entre 1985 et 1995 de :

36 000 bateaux en hypothèse basse  
140 000 bateaux en hypothèse haute

On sait d'autre part que les aménagements portuaires dans ces régions sont coûteux en raison des protections importantes qu'il faut envisager contre la houle et les courants. On aura donc intérêt à orienter les centres de développement touristique vers les zones les plus faciles à aménager.

On peut donc supposer que l'aménagement de la baie absorbera une part importante de l'augmentation du parc de bateaux de plaisance des deux régions de Bretagne et de Basse Normandie, part que l'on peut évaluer entre 7 et 10 %. Ainsi grâce à la réalisation des digues de fermeture de la baie du MONT-SAINT-MICHEL, on pourrait accueillir sur le plan d'eau ainsi créé entre 3 000 et 10 000 bateaux de moins de 2 tonneaux.

A titre de comparaison, on peut signaler que le bassin d'ARCACHON d'une superficie approximative de 200 km<sup>2</sup> accueille à l'heure actuelle environ 14 000 bateaux de plaisance dont les 2/3 sont représentés par des unités de moins de 2 tonneaux.

### 5.12 Evolution de la flotte de plaisance de plus de 2 tonneaux

L'évolution du nombre de bateaux de plaisance de plus de deux tonneaux a été faite également en partant des deux hypothèses :

- Hypothèse basse (H1) reposant sur le prolongement de la croissance du nombre de bateaux en valeur absolue  
croissance retenue 6 000 bateaux par an
- hypothèse haute (H2) basée sur la projection à taux constant du taux d'augmentation du nombre de bateaux observé au cours de ces dernières années  
le taux retenu est de 10,5 % par an.

En partant de ces deux hypothèses, on obtient les chiffres suivants pour les deux régions de programme concernées :

| Régions         | 1973   | 1980   |        | 1985   |        | 2000   |         |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
|                 |        | H1     | H2     | H1     | H2     | H1     | H2      |
| Basse Normandie | 3 184  | 5 284  | 6 100  | 6 784  | 10 000 | 11 284 | 41 000  |
| Bretagne        | 10 680 | 17 680 | 20 800 | 22 630 | 33 500 | 37 630 | 140 000 |

Parallèlement à ces hypothèses d'évolution, on peut comparer les chiffres obtenus avec le nombre de postes d'amarrage qu'il sera possible d'offrir à l'avenir grâce au recensement des projets connus (il s'agit de projets qui ont déjà fait l'objet d'une pré-étude et qui dans la plupart des cas ne seront réalisés qu'après 1980).

| Régions         | Évaluation du nombre de postes offerts |       |       |                |        |
|-----------------|--|-------|-------|----------------|--------|
|                 | 1967                                   | 1971  | 1973  | Projets connus | Total  |
| Basse Normandie | 1 860                                  | 2 250 | 4 609 | 4 048          | 8 657  |
| Bretagne        | 5 820                                  | 7 360 | 9 410 | 13 220         | 22 630 |

De cette comparaison on peut en tirer les conclusions suivantes :

- En hypothèse basse (H1) le nombre de postes offerts permet de faire face à la demande :
  - jusqu'en 1985 en Bretagne
  - jusqu'en 1992 en Basse Normandie
- En hypothèse forte (H2) l'offre et la demande s'équilibrent
  - en 1981 pour la Bretagne
  - en 1983 pour la Basse Normandie

Même en hypothèse basse, il sera nécessaire de prévoir de nouveaux projets d'aménagements portuaires en Bretagne à partir de 1985 pour faire face à la demande prévisible au-delà de cet horizon. Pour cette seule région, la progression du nombre de bateaux entre 1985 et 2000 est de 15 000 unités.

Compte tenu du coût d'aménagement de ports en eau profonde, et des difficultés de trouver de nouveaux sites faciles à aménager, on peut supposer que la zone des îles CHAUSEY pourrait offrir dès 1985 une part importante des postes à quai nouveaux qu'il faudrait mettre à la disposition des plaisanciers pour l'ensemble de la Bretagne. Cette part pourrait représenter 10 % soit 1 500 places.

Pour ce qui concerne la Basse Normandie, les places disponibles actuellement et les projets en cours permettent de faire face à la demande jusqu'en 1992 en hypothèses basse. Mais il faut remarquer que la quasi totalité des disponibilités actuelles et futures doivent se situer sur la Côte Est Contentin et surtout sur la côte Nord Calvados (DEAUVILLE - TROUVILLE).

Il n'est pas impensable de supposer que l'aménagement projeté et la concentration touristique qui en résultera aura un retentissement certain sur le développement de la plaisance dans la zone Ouest du Contentin. On peut évaluer les besoins dans cette zone à environ 500 places à partir de l'année 1985.

En résumé la demande en postes d'amarrage pour les bateaux de plus de 2 tonnes dans la zone des îles CHAUSEY serait de :

1 500 pour la partie Bretonne  
500 pour la partie Normandie  
soit 2 000 postes à partir de 1985.

Dans ces conditions on peut envisager de réaliser à l'abri des digues deux ports en eau profonde, un à chaque extrémité des ouvrages, de 500 places chacun en première phase, avec possibilité de doubler la capacité de réception en phase ultérieure au-delà de l'horizon 1990 et suivant l'importance de la demande constatée à cette époque.

## 5.2 CONSIDERATIONS ECONOMIQUES SUR L'AMENAGEMENT DE PORTS DE PLAISANCE

Les ports de plaisance peuvent être réalisés soit par des promoteurs privés soit par des collectivités. Dans le premier cas, l'opération est presque toujours associée avec un programme immobilier qui permet au promoteur d'amortir les investissements importants effectués pour la création du port grâce aux bénéfices réalisés dans la vente des logements.

De plus ces opérations s'effectuent toujours dans les régions où existe une forte demande touristique ce qui permet d'amodier les places à quai à un tarif élevé qui concoure également à l'amortissement des investissements portuaires. C'est le cas de DEAUVILLE sur la Manche, mais surtout des ports privés de la côte Méditerranéenne qui s'adressent à une clientèle aisée.

Dans les zones de la Manche et de l'Atlantique par contre, les promoteurs sont assez peu intéressés à la réalisation des équipements nautiques en raison de la faible rentabilité de la promotion immobilière. Aussi les aménagements touristiques sont-ils dans la plupart des cas pris en charge par les collectivités (municipalités - Chambre de Commerce). Ces dernières, soucieuses de promouvoir un tourisme plus social, ne veulent pas, en général, imposer des tarifs de location des postes d'amarrage trop élevés.

Compte tenu du coût des investissements d'infrastructure, cette politique conduit tout naturellement à ne faire supporter aux usagers qu'une part, en général assez faible, des frais d'amortissement, la plus grande partie restant à la charge des collectivités promoteurs, ce qui représente en fait une véritable subvention. Le cas du nouveau port des Bas-Sablons près de ST MALO est à ce titre assez caractéristique : en fin de programme (300 à 900 places) l'opération aura exigé une dépense de l'ordre de 20 millions de francs dont les deux tiers environ resteront à la charge de la Municipalité de ST MALO et du Département d'Ille-et-Vilaine.

Dans le cas de la fermeture de la baie par une digue de grand développement, on crée un véritable brise-lame à l'abri duquel peut se réaliser un port en eau profonde.

Dans les infrastructures de base, il sera en outre nécessaire de prévoir des écluses à travers la digue pour le passage des bateaux de pêche de CANCALE et de GRANVILLE dont les activités s'étendent bien au-delà de la baie du MONT-ST-MICHEL.



Ainsi la plaisance bénéficiera-t-elle des infrastructures créées de toute manière pour la réalisation de l'usine marémotrice (digues et écluses). Seuls resteront à la charge de l'activité plaisance les aménagements portuaires, qui peuvent être assez légers (pannes flottantes), les terres pleines et les investissements nécessaires pour la gestion, l'animation et les services du port.

Les tarifs de location pratiqués actuellement dans la plupart des ports de plaisance en FRANCE devraient permettre de réaliser assez facilement l'équilibre financier de l'opération.

### 5.3 Avantages et inconvénients de l'aménagement sur le développement du tourisme

En partant de ces quelques considérations générales on peut énumérer succinctement les avantages et les inconvénients de ce projet d'aménagement sur le développement du tourisme dans cette zone.

Il semble en première analyse que les avantages l'emportent nettement sur les inconvénients car les contraintes imposées par le tourisme et en particulier par le tourisme nautique n'auront que peu d'incidence sur le programme général d'aménagement.

#### 5.31 Avantages

Ces avantages peuvent s'analyser en fonction des différents types de tourisme :

- Sur le tourisme de passage :

- . Renforcement de l'attrait touristique de la région dont la conséquence prévisible est une augmentation du nombre de touristes transitant dans la région comprise entre GRANVILLE et ST MALO,
- . Réanimation des villes de CANCALE et de GRANVILLE qui peuvent devenir les deux centres secondaires de l'animation touristique après le MONT-ST-MICHEL et ST MALO,
- . Réduction de la longueur de trajet entre CANCALE et GRANVILLE (25 km par la digue au lieu de 85 km par PONTORSON et AVRANCHES),

- . Accessibilité des îles CHAUSEY dans le cas où les digues prendraient appui sur les îles favorisant la pêche à pied (mollusques - coquillages) à marée basse.

- Sur le tourisme de vacances :

- . La limitation des courants côtiers générateurs d'érosions le long de la côte Ouest du Cotentin permettra de stabiliser les plages, et d'offrir aux estivants des aménagements de qualité qui faciliteraient la création d'un complexe touristique intégré, protégé par les digues de fermeture de la baie. Cela renforcerait l'image de la région et augmenterait la fréquentation touristique d'été sur toute la côte Ouest du Cotentin même au-delà de la zone du plan d'eau.

- Sur le tourisme nautique

- . L'environnement touristique de l'aménagement est particulièrement attractif sur le plan de la navigation de plaisance grâce aux possibilités de relâche dans les ports d'escales (ST MALO, ST BRIEUX, PAIMPOL, îles Anglo-Normandes) et dans les ports-abris répartis tout le long de la côte d'Emeraude (de ST MALO à LANION).

- . A l'intérieur du futur plan d'eau (Baie du MONT-ST-MICHEL) le tourisme nautique est actuellement extrêmement réduit en raison des forts courants de marée.

La fermeture de la baie et la réduction des houles et des courants ne pourront donc avoir que des répercussions bénéfiques pour le développement de la plaisance à l'intérieur de l'enceinte.

Seules quelques zones devront être protégées au voisinage immédiat des installations (usine et écluses) et au voisinage des zones de production de moules et d'huitres mais les contraintes de navigation qui en résulteront resteront très réduites par rapport à la surface d'évolution disponible.

- . La création d'un plan d'eau bien protégé de 400 à 500 km<sup>2</sup> permettrait vraisemblablement d'envisager des manifestations de régates sur le plan international. La Fédération Française de voile n'a pu en effet, sélectionner que 4 plans d'eau sur l'ensemble du territoire pour l'organisation de ces manifestations.

- . Grâce à la dimension exceptionnelle du plan d'eau, le seuil de saturation ne pourra sans doute jamais être atteint. (Ce seuil est évalué à environ 60 000 bateaux).

- Les aménagements portuaires prenant appui sur les digues de fermeture de la baie seront peu coûteux puisque les investissements de protection seront pris en charge par ailleurs. Il sera ainsi vraisemblablement possible d'équilibrer financièrement les opérations de construction du ou des ports par des tarifs de location de places à quai relativement bas.
- En réalisant des aménagements portuaires à l'abri des digues de fermeture, on pourra ainsi décongestionner le port de ST MALO actuellement sursaturé (380 bateaux actuellement pour 250 places) et prendre le relais du nouveau port des bas-Sablons à ST SERVAN (800 places) qui lui même sera saturé d'ici une dizaine d'années.
- Enfin il est certain que l'augmentation du nombre de bateaux qui stationneront dans les nouveaux aménagements portuaires aura une incidence très importante sur l'activité directement liée à la construction et à l'entretien de la flotte de plaisance. Les entreprises actuellement implantées à ST MALO et à ST SERVAN en bénéficieront directement et pourront voir leur chiffre d'affaire augmenter d'une manière assez sensible. D'autre part, des entreprises nouvelles pourraient se créer soit à CANCALE soit à GRANVILLE permettant ainsi de renforcer l'activité économique de ces centres.

### 5.32 Inconvénients

- En réalisant des aménagements nautiques à l'abri des digues de fermeture, on s'éloigne des principaux centres d'animation touristique actuels représentés par ST MALO et la baie de la Rance.

Aussi pour éviter de créer des réalisations nautiques qui risquent de rester trop artificielles est-il nécessaire de s'appuyer le plus possible sur les deux ports situés aux extrémités de la digue : CANCALE et GRANVILLE.

Les aménagements portuaires devraient donc se localiser le plus près possible de ces deux centres qui pourraient ainsi devenir des centres d'animation touristique et de fourniture de services (réparation et entretien des bateaux).

- Le développement de la plaisance dans la baie du MONT-ST-MICHEL et la création de ports de plaisance à proximité de CANCALE et de GRANVILLE ne devront pas perturber les activités traditionnelles de ces deux ports :

- . CANCALE arme 45 bateaux de pêche de 10 à 25 tonneaux, spécialisés dans la pêche aux poissons plats (soles-limandes) aux crustacés et aux coquillages. Les zones de pêche se limitent en général à la baie du MONT ST MICHEL et la zone des Chausey.
- . GRANVILLE est un port plus actif 130 bateaux de pêche dont une grande partie de chalutiers. Les lieux de pêche se situent au large des îles Anglo-Normandes.

Dans la réalisation des complexes nautiques, il sera donc nécessaire de séparer très nettement la plaisance et la pêche afin d'éviter les conflits toujours possibles entre touristes et pêcheurs professionnels.

- Il existe dans la baie entre CANCALE et CHERRUEIX et sur la Côte du Cotentin entre GRANVILLE et le havre de GEFFOSSES de très grandes concessions d'élevages d'huitres et de moules.

La zone de CANCALE produit annuellement 5 000 t de moules et 2 000 t d'huitres.

La zone Nord de GRANVILLE actuellement en cours d'aménagement et d'extension produira d'ici quelques années 10 000 t de moules et 5 000 t d'huitres. Il s'agit donc d'une activité très importante en voie d'extension rapide.

Là encore il est important que le développement de la plaisance dans la baie du MONT ST MICHEL ainsi que les centres touristiques que l'on pourrait aménager sur la côte Ouest du Cotentin ne viennent pas perturber les activités conchylicoles de la région :

- . les zones de bouchots ou de parcs à huitres devront être interdites à la navigation en particulier une large bande côtière de 1 à 2 km de profondeur s'étendant entre CANCALE et CHERRUEIX.

Pour les aménagements à terre (centres touristiques, plages) les implantations seront possibles au Sud de GRANVILLE car il n'existe dans cette zone aucune activité conchylicole. Par contre au Nord de GRANVILLE les aménagements ne seront possibles le long de la côte que très ponctuellement entre les zones de production qui ont plutôt tendance à s'étendre. Le havre de REGNEVILLE pourrait cependant représenter un des points important de l'aménagement touristique de cette partie de la côte (accueil des bateaux légers).

- Dans le cas d'un aménagement prenant appui sur les îles CHAUSEY, l'accès de ces îles sera très facile en voiture grâce à la route située sur la digue. On peut craindre alors une arrivée massive de touristes en période d'été ce qui ne manquera pas de perturber très profondément l'équilibre écologique de cette zone actuellement protégée du fait de son isolement.
- Enfin, débordant le cadre strict de l'activité touristique, il serait nécessaire de connaître l'incidence de la fermeture de la baie sur les cotes des marées à l'extérieur de l'enceinte. N'y aura-t-il pas des modifications des conditions de marnage le long de la côte et dans ce cas quel en sera l'incidence sur les aménagements actuels (entrée dans le bassin Vauban à ST MALO et dans le port des Bas-Sablons à ST SERVAN) ainsi que sur les plages du littoral (érosion, stabilité, mouvement des sables etc.). Une attention particulière devra être portée pour la protection des lieux habités et plus particulièrement à PARAME et à DINARD où les érosions du littoral menacent actuellement les villas du bord de mer.

*littoral*

## 6 CONSIDERATIONS SUR LES CRITERES ECONOMIQUES QU'IL FAUDRAIT PRENDRE EN COMPTE POUR EVALUER LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DE L'AMENAGEMENT SUR LE DEVELOPPEMENT DU TOURISME

L'impact de l'aménagement sur le tourisme local devrait se traduire par une fréquentation touristique nettement plus importante que celle qui existe actuellement. Les critères économiques qu'il faudrait dégager seront donc basés sur ce supplément de fréquentation et sur les conséquences économiques qui en découlent.

### 6.1 Tourisme de passage

- Evaluation du nombre de touristes supplémentaires transitant dans la région attirés par la réalisation de l'usine marémotrice. Cette évaluation pourrait être basée sur le nombre d'entrées enregistrées pour la visite du MONT-ST-MICHEL et dans les différents monuments de ST MALO (Château - Aquarium - Musée)
- Evaluation des dépenses effectuées par les touristes de passage permettant de faire un bilan des retombées directes des dépenses touristiques sur l'activité locale.

### 6.2 Tourisme de vacances

- Evaluation du nombre de touristes supplémentaires venant passer des vacances dans la région grâce aux aménagements réalisés à l'abri des digues (côte Ouest du Cotentin et éventuellement zone côtière entre ST MALO et CANCALE). L'importance de la fréquentation supplémentaire sera évidemment fonction de la qualité des ouvrages nouvellement créés (plages - ports) et de l'importance des infrastructures (nombre de lits supplémentaires)
- Evaluation des dépenses par journée-touriste (logement - nourriture - dépenses diverses).

### 6.3 Tourisme de plaisance

- Evaluation du nombre de bateaux de plaisance accueillis dans les nouveaux aménagements portuaires (ports en eau profonde et havres d'échouage).
- Evaluation des dépenses effectuées par les plaisanciers pour l'entretien et la réparation des bateaux (il faut compter en moyenne une dépense annuelle de 10 % de la valeur des bateaux)
- Evaluation du nombre de journée-touriste pour les plaisanciers logeant à bord de leur bateau et faisant escale dans les ports nouvellement créés.
- Evaluation des dépenses effectuées par les plaisanciers faisant escale dans les ports.
- Evaluation du nombre de touristes et des dépenses correspondantes à l'occasion de manifestations importantes (régates internationales).

### 6.4 Incidence sur la pêche

- Evaluation de la déséconomie liée à la baisse de l'activité de la pêche dans la baie du MONT ST MICHEL.

Cette baisse de l'activité de la pêche, prévisiblement dans le cas de la fermeture de la baie, n'est que très indirectement influencée par le développement de la plaisance.

Tout au plus pourrait-on parler de gêne de l'évolution des bateaux de pêche en cas de forte concentration de bateaux de plaisance ou de perte de temps au passage des écluses en cas d'affluence.

Par contre la fermeture de la baie aura une influence beaucoup plus directe pour plusieurs raisons :

- . épuisement des fonds qui ne se renouvelleront pas naturellement par suite de la modification des régimes des courants,

- . modification des conditions naturelles de salinité et de température de l'eau,
- . accélération de l'envasement et de la pollution du plan d'eau dont la masse se renouvellera moins souvent.

Compte tenu de la faible incidence de la plaisance sur la pêche, on peut considérer que les inconvénients provoqués par le développement du tourisme nautique dans la baie sont pratiquement négligeables par rapport aux modifications très importantes qui seront imposées au milieu naturel par la fermeture du bassin.

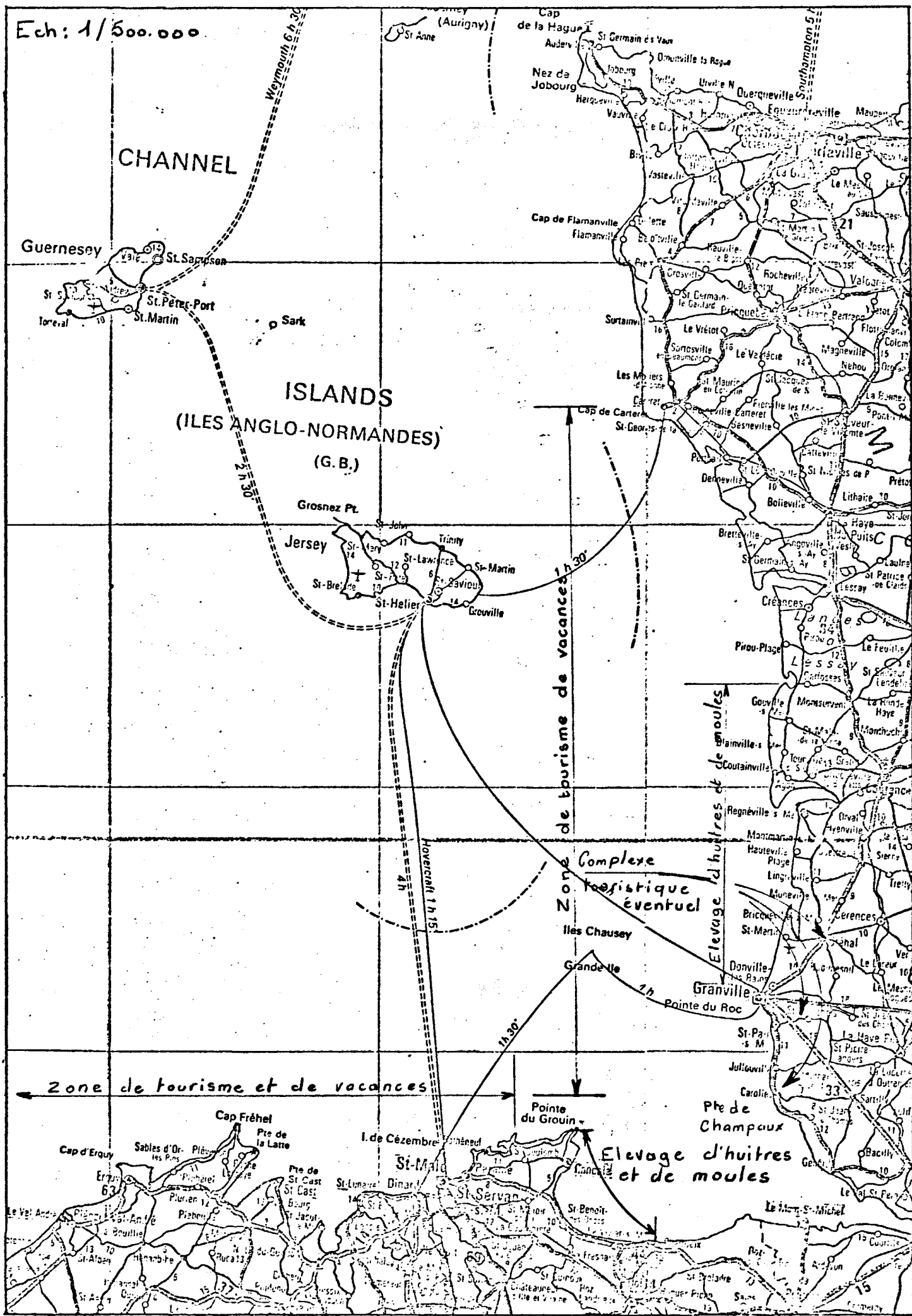
Il est bien certain que toutes ces évaluations seront difficiles à préciser surtout dans l'optique d'un aménagement qui ne se réalisera qu'au mieux dans une dizaine d'année.

Mais il est non moins certain que ce type d'aménagement aura un retentissement très important sur le développement touristique et que l'incidence économique directe et indirecte de cette activité supplémentaire débordera très largement sur toute la région côtière de l'Ouest Cotentin et du Nord de la Bretagne.



# MAREMOTRICES DES ILES CHAUSEY ET TOURISME.

Ech: 1/500.000



11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

Annexe BME 8

BAIE DE CHAUSEY

Quelques considérations sur l'influence  
que pourrait avoir sur le littoral Ouest du Cotentin  
l'aménagement d'une centrale marémotrice dans la zone des Iles Chausey

Avril 1975

L. TOURMEN

La création d'une telle centrale et surtout la mise en place des digues de grand développement que nécessiterait un tel aménagement provoqueraient des modifications profondes des conditions océanographiques dans toute la zone concernée : c'est ainsi que le marnage pourrait être, dans certains cas, atténué et que les courants de marée et les houles seraient profondément remaniés.

Ces modifications auraient bien entendu des répercussions directes ou indirectes sur l'environnement et l'écologie de la zone intéressée dont le caractère et la physionomie opéreraient une véritable mutation.

Dans ce qui suit nous aborderons deux aspects importants de ces répercussions :

- . la stabilité du littoral,
- . les conséquences sur la navigation et les infrastructures portuaires.

Il est bien évident que les répercussions seraient d'autant plus profondes que l'aménagement intéresserait une zone plus vaste. Dans ce qui suit nous nous baserons sur deux hypothèses :

- . 1ère hypothèse (restreinte) : enceinte reliant la pointe du Grouin au littoral voisin de Granville en passant au voisinage des îles Chausey.
- . 2ème hypothèse (étendue) : enceinte reliant le littoral voisin de la Pointe du Méinga au littoral voisin de Gouville en passant par un certain nombre de hauts-fonds : les Sauvages, les Caux des Minquiers, la Chaussée des Bocufs et Le Senequet.

La 2ème hypothèse pourrait être d'ailleurs renforcée par une digue reliant les hauts-fonds des Dirouilles et des Ecrehou au littoral voisin de Carteret ; cette digue aurait pour effet de renforcer le marnage dans la zone où seraient situées les turbines.

## 1. LA STABILITE DU LITTORAL

Le littoral Ouest du Cotentin se trouve actuellement dans un état d'équilibre très précaire. Ceci se traduit par des évolutions dont certaines peuvent être réversibles jusqu'à un certain point, mais d'autres définitives comme les érosions qui intéressent par exemple le secteur s'étendant de Carteret à Port Bail.

On peut distinguer deux types d'évolutions :

- a. Les évolutions, érosion généralement, qui intéressent les littoraux ouverts directement vers le large : la houle et les courants de marée en combinant leurs effets de manière complexe, sont alors les principaux facteurs de ces évolutions. Les érosions insidieuses et permanentes de ce type sont d'autant plus accentuées en première analyse, que l'on se déplace vers le Nord.
- b. Les évolutions qui intéressent les débouchés des "havres" (havre de Carteret, de Saint-Germain, de Regnéville, etc.) pour lesquels le facteur dominant est le courant de jusant, très érosif pour les avancées sableuses situées au Sud des débouchés. Cette érosion est maximale lors des vives eaux qui permettent une attaque sensible des hauts de plage à hautes mers et une reprise des sédiments par les plus grandes vitesses de jusant.

Tout aménagement qui tendrait donc à réduire les houles et les courants de marée tendrait donc à réduire les évolutions du premier type. Les évolutions du deuxième type seraient plus sensibles à une réduction du marnage.

On peut donc dire que la création d'une centrale marémotrice devant le littoral considéré serait certainement bénéfique sur les évolutions du premier type surtout si c'est la 2ème hypothèse qui est retenue (y compris la digue complémentaire enracinée au voisinage de Carteret).

En ce qui concerne les évolutions du deuxième type, elles seraient surtout atténuées dans le cas d'un aménagement à bassins multiples ce qui est le cas de la 2ème hypothèse.

Les considérations ci-dessus sont bien entendu des indications de tendances qui devraient être contrôlées et précisées par des études détaillées des divers phénomènes. Il faudrait également se préoccuper des conséquences que pourraient avoir les digues de l'aménagement sur les littoraux extérieurs aux bassins et notamment sur ceux où la marée pourrait se trouver renforcée.

Il faut noter que le cas de la Baie du Mont-Saint-Michel mériterait un examen particulier car les évolutions dans ce secteur pourraient être très importantes dans la mesure où le marnage serait modifié.

Enfin il faut remarquer que les travaux d'établissement des divers ouvrages s'étaleraient sur une durée de l'ordre de 5 à 10 ans. Il serait donc essentiel de tenir compte des phases transitoires qui pourraient avoir une influence déterminante et irréversible sur les évolutions des littoraux concernés.

En conclusion on peut donc dire que l'aménagement d'une centrale marémotrice dans ce secteur devrait pouvoir apporter des solutions définitives aux graves problèmes d'érosion qui sensibilisent actuellement les populations locales. Cependant, afin de pouvoir tirer le profit optimal de cette opportunité, il serait indispensable de prévoir un programme d'études complet et bien adapté.

On peut ajouter que dans le cas d'une réduction d'un marnage, des techniques modernes permettraient de reconstituer des plages bien adaptées aux besoins, qui ne pourraient que renforcer la réputation actuelle des nombreuses stations balnéaires situées sur le littoral du Cotentin Ouest.

## 2. LES CONSEQUENCES SUR LA NAVIGATION ET LES INFRASTRUCTURES

Il n'existe pas dans ces parages de trafic maritime commercial ni de port important. Cette zone est plutôt le domaine de la pêche et de la plaisance. Il est bien évident que les modifications de marée, de courants et de houle provoqués par l'aménagement d'une centrale marémotrice auraient une profonde influence sur ces activités.

En fait, la zone considérée est une zone où la navigation est difficile et même dangereuse pour les non-initiés ; les forts courants de marée, les hauts-fonds de courants, les lames déferlantes sont autant de difficultés qui rebutent les plaisanciers novices, mais qui par contre, attirent certains marins très expérimentés et sportifs.

Un aménagement qui atténuerait le marnage, les courants et les houles conduirait à favoriser les évolutions d'un plus grand nombre de plaisanciers.

On pourrait ainsi définir un bassin d'évolution exceptionnel autour duquel pourraient s'organiser les activités de plaisance de la région. On peut d'ailleurs faire facilement l'hypothèse que les digues de fermeture des bassins supporteraient des routes d'accès qui permettraient d'aménager le long de ces digues, de multiples infrastructures portuaires qui accentueraient encore la vocation de plaisance du bassin. Des écluses situées à proximité de ces installations portuaires permettraient un accès depuis la haute mer.

En conclusion, on peut dire que l'aménagement d'une centrale marémotrice dans la zone des Iles Chausey constituerait une opportunité exceptionnelle de création d'une activité de plaisance qui pourrait devenir l'une des vocations principales de la région ; on y trouverait en effet réunis :

- des infrastructures bien adaptées, accessibles, tout au moins pour certaines d'entre elles, à toute heure de marée depuis la haute mer ;

- un bassin relativement protégé mais où subsisteraient, bien qu'atténués, les courants, les houles de formation locale, un certain marnage qui constituent des éléments d'attrait pour la navigation de plaisance sportive ;
- enfin, des possibilités de mini-croisières en mer semi-ouverte (avec sortie en haute mer possible facilement), dans un environnement très agréable, sur une étendue d'eau variée, vivante, bien surveillée et donc sûre.

En ce qui concerne la pêche, des infrastructures portuaires spécialisées pourraient être aménagées le long des digues avec l'avantage d'un accès à toute heure de marée et une desserte terrestre facile vers le littoral.

On peut noter également qu'il serait assez aisé de créer les terres-pleins éventuellement nécessaires aux activités de plaisance, de tourisme ou de pêche par remblai à l'abri des digues en profitant de l'atténuation du marnage pour surbaisser la cote d'arase de ces terres-pleins.

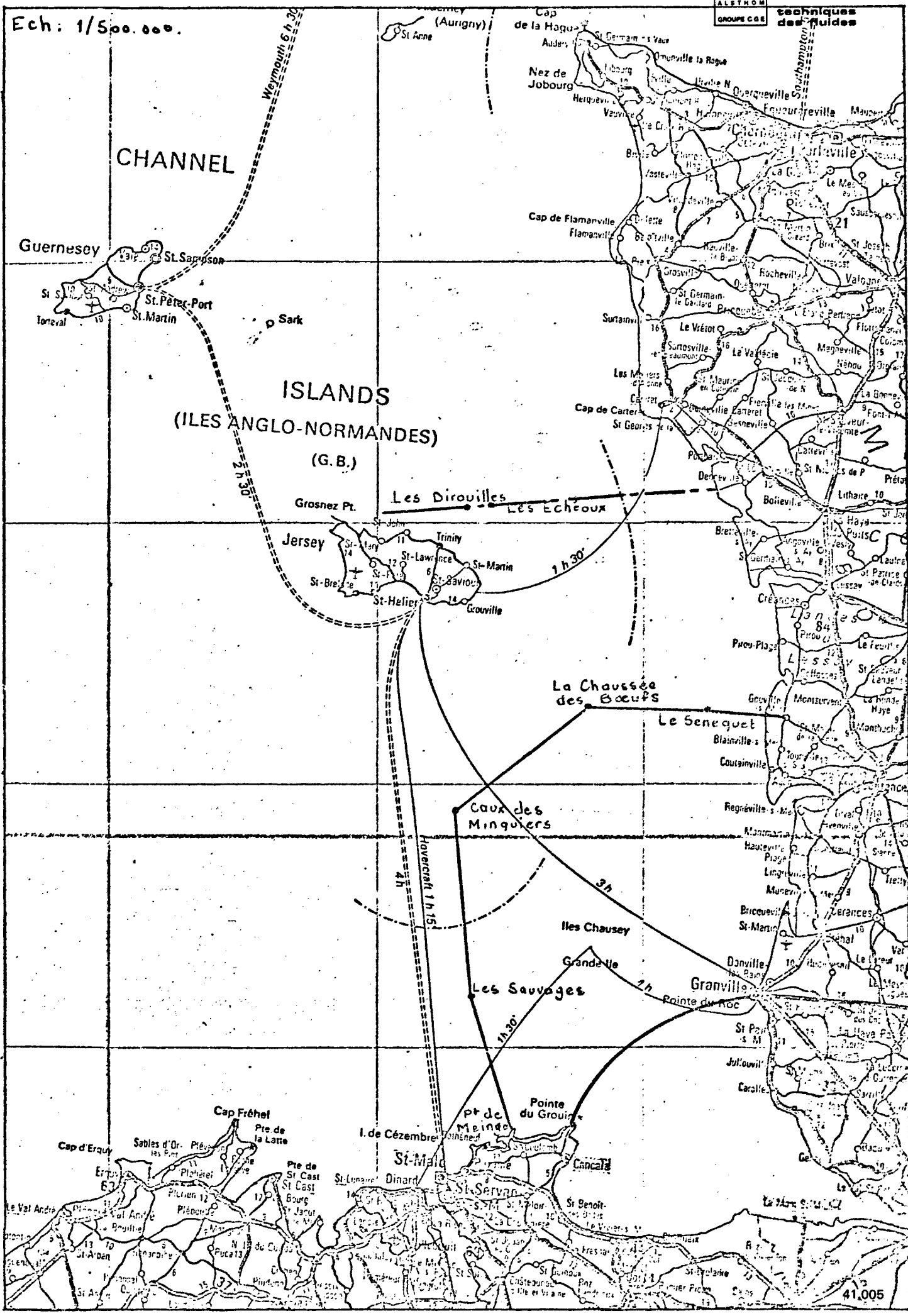
On peut d'ailleurs, à la limite envisager la création de même type de terres-pleins surbaissés et de vaste dimension, qui permettraient d'implanter certaines activités, que l'on a intérêt à éloigner des centres habités comme par exemple : aéroport d'éclatement des vols supersoniques, centrales nucléaires utilisant les débits turbinés pour son refroidissement et même, complexe industriel comportant son propre port de desserte, etc..

oOo



techniques des fluides

Ech: 1/500.000.



Annexe D'11

Annexe BME 9

BAIE DE CHAUSEY

Economies dues au projet  
en matière de défense des côtes

R. PORTUGAL

JUIN 1975



## ETAT ACTUEL

Dans l'état actuel, le littoral bordé par des matériaux mobiles est principalement constitué de sable. Le profil des plages est assez variable suivant leur situation, leur orientation et leur constitution. Cependant les problèmes d'érosion, sur la face Ouest du Cotentin ont tous une certaine ressemblance entre eux. Le profil de la plage est très doux sur tout l'estran et à la partie haute, des dunes représentent le stock de sable dans lequel les tempêtes viennent éroder.

Les tempêtes d'Ouest à Nord-Ouest (périodes fréquentes : 7 à 12 s et amplitude pouvant atteindre 4,5 m près du littoral) érodent fortement la dune au niveau de pleine mer. Le sable étalé sur le haut de l'estran est soit entraîné plus bas par la houle quand le niveau descend, soit entraîné latéralement par le courant de flot qui peut dépasser 1 à 1,5 m/s en certains points.

Dans le cas d'une protection artificielle de la côte, l'ouvrage à prévoir doit pouvoir résister à ces mêmes houles et de plus risquer de gros affouillements en pied.

## APRES REALISATION DU PROJET

Dans le cas de la plage naturelle non protégée, les nouvelles conditions de houles deviennent pour un fetch d'environ 20 km :

- amplitude : 1,6 à 2,0 m
- période : environ 4 s.

Dans ces conditions le sable du haut de l'estran doit tendre vers un nouvel équilibre qui peut être stable.

Deux cas sont possibles :

- la dune est érodée et le sable ainsi déplacé permet de confectionner un haut de plage à l'équilibre. Le recul observé est donc le dernier et il ne se passe plus rien ;
- la houle de courte période remonte un peu du sable de l'estran et le nouveau profil se reconstruit avec plutôt un léger engraissement.

On peut remarquer que dans le cas du bassin haut, la plage située au-dessous du niveau moyen ne sera presque plus sollicitée par la houle puisque toujours immergée. Il serait alors possible de prélever du sable dans cette partie pour le déposer en haut de l'estran. Dans ce même bassin la vitesse de descente du niveau de l'eau est plus lente que dans l'état actuel. Ceci est favorable pour diminuer les courants qui érodent le bas des plages surtout devant le débouché des havres et des cours d'eau.

Dans le cas du bassin bas il ne devrait plus exister de problème d'érosion du littoral puisque ce problème existe presque toujours au haut de l'estran. Dans ce bassin c'est le remplissage qui est plus lent que dans l'état actuel. Ce phénomène peut nuire principalement aux débouchés. En effet, le sable entraîné rapidement au jusant va se déposer dans les grands fonds mais ne sera plus mis en suspension dans le courant de flot pour remonter dans le havre ou le cours d'eau.

On pourrait donc s'attendre dans ce bassin à une aggravation des érosions par le courant de marée.

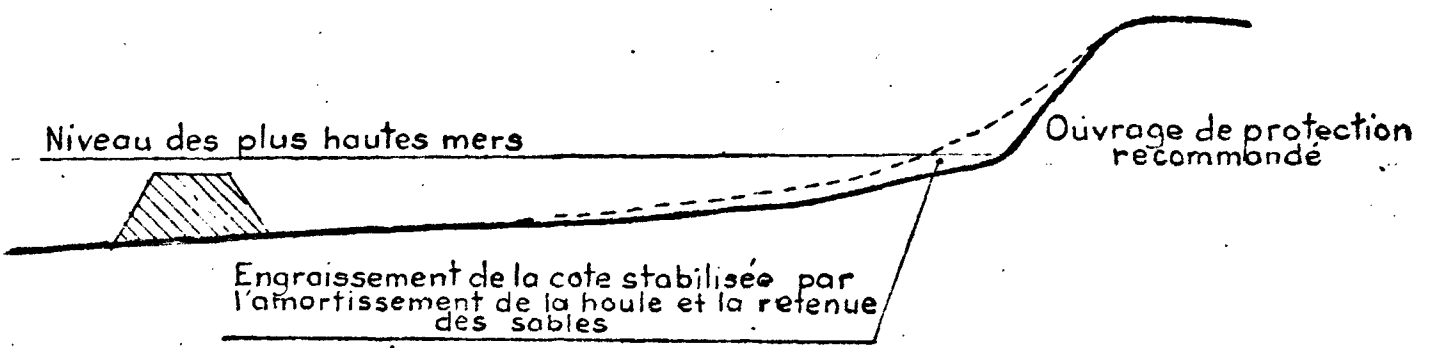
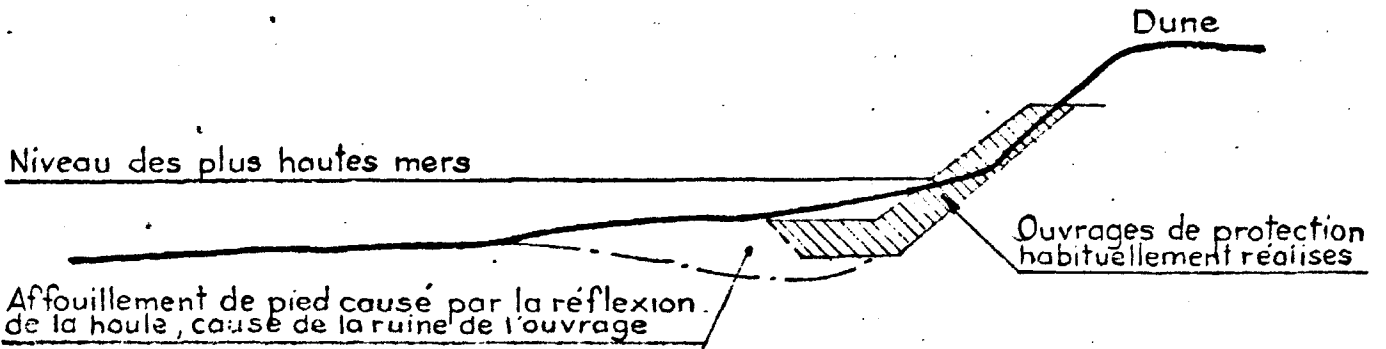
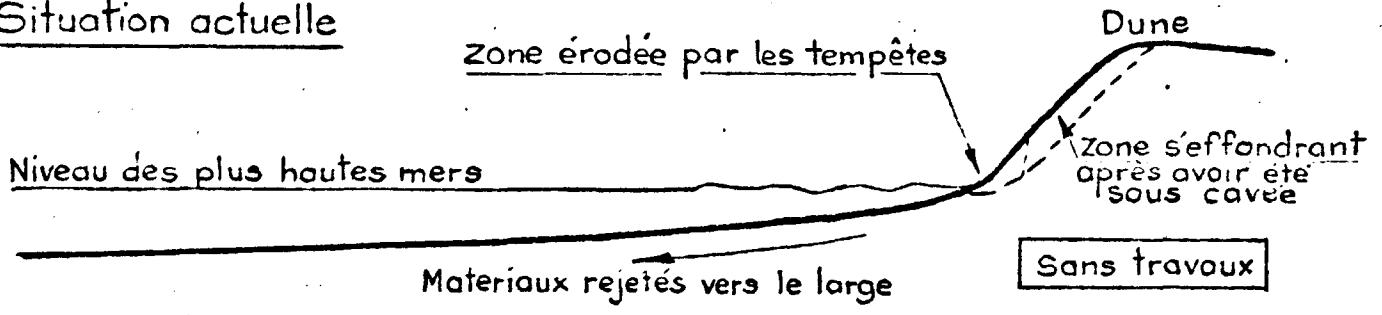
Dans le cas d'un bassin unique on retrouve les phénomènes du bassin haut.

D'une manière générale il semble que beaucoup de problèmes de défense des côtes pourraient trouver leur solution par une adaptation du littoral aux nouvelles conditions locales de houles et de courants. Il n'est pas possible de préciser les économies que l'on peut faire car le littoral est très vaste et les problèmes très variables en chaque point. Il serait nécessaire de connaître le tracé des bassins et les nouveaux courants généraux de marée dans ces mêmes bassins.

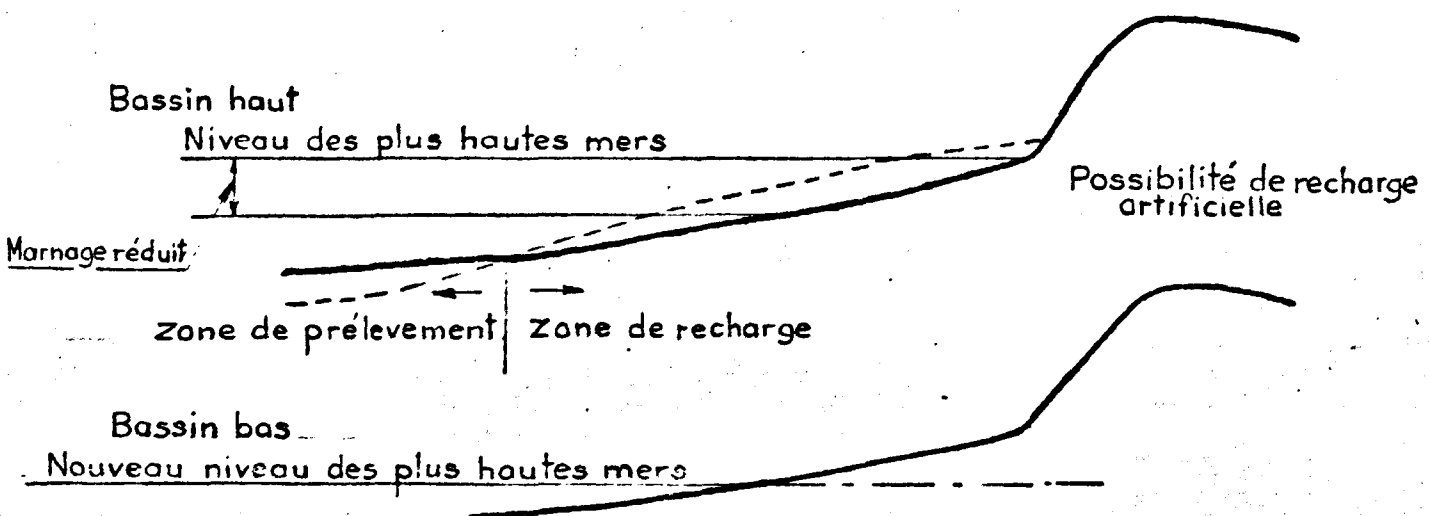
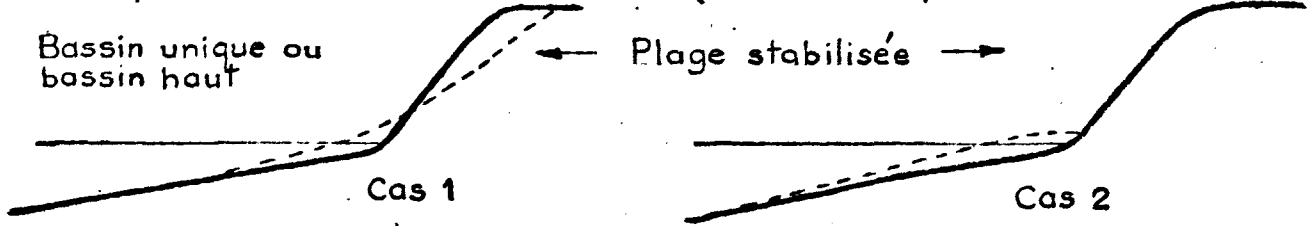
Le problème d'ensablement du mont St-Michel est un problème particulier dont il n'est pas parlé ici.

# EROSION DES PLAGES DU COTENTIN.

## Situation actuelle



## Après réalisation du projet (houle de tempête réduite)



R 12341 - 1 Annexe B.M.E.S

Annexe BME 10

BAIE de CHAUSEY

—

Considérations sur l'édification  
d'une marémotrice et d'un port  
dans la baie

—

R. PORTUGAL  
J. RUEFF

Juin 1975

La baie du Mont Saint-Michel envisagée pour l'aménagement d'une centrale marémotrice ne comporte actuellement ni trafic maritime commercial, ni port d'une certaine importance.

Dans toute la baie du Mont St. Michel, limitée à Granville à l'est, et à la Pointe du Grouin à l'ouest, les deux seules villes qui peuvent prétendre au titre de port sont Granville et Cancale.

Granville présente un bassin à flot alors que Cancale n'a qu'un mouillage.

Dans les deux cas ce sont les profondeurs qui font défaut; cependant on peut remarquer que la ligne (0.00) du nivellement hydrographique passe devant Granville et devant Cancale, alors qu'au Sud de la ligne Granville-Cancale, les profondeurs sont bien plus éloignées de la côte et dans la situation actuelle tout port serait tributaire de chenaux de navigation très importants à établir, puis à protéger.

Voyons ce qu'il en serait si un aménagement marémoteur était réalisé.

Tout d'abord, pour une des raisons mêmes qui favorise l'installation d'une marémotrice (des profondeurs très modérées sur plus de 30 km) le site avec ou sans marémotrice ne se prête pas à l'accès des gros navires que devrait accueillir un grand port pétrolier ou industriel moderne. Seul pourrait donc être envisagé un grand port de commerce par exemple.

Pour un tel port établi dans le bassin haut (ou le bassin unique, s'il y a un seul bassin à simple effet), le fait que le plan d'eau ne descendrait jamais en dessous de (zéro hydrographique + 8 m) alors qu'il peut actuellement descendre jusqu'au voisinage du zéro, est évidemment favorable. Cependant, pour bénéficier de cette situation, le navire doit obligatoirement franchir une écluse (à établir pour la circonstance).

Or, un navire ne peut franchir une écluse avec sécurité que si l'entrée de celle-ci est protégée des houles du large par un avant-port, naturel ou artificiel.

L'avant-port ne peut évidemment pas être constitué par le bassin de la marémotrice puisqu'il y a obligation, pour l'avant-port, de communiquer directement avec la mer. L'avant-port devrait donc obligatoirement être constitué par un endiguement spécial construit à l'intérieur ou à l'extérieur de l'endiguement principal du bassin et s'appuyant sur cet endiguement.

...

Remarquons que l'écluse du port de commerce ne devrait pas être empruntée par les bateaux de pêche. Une écluse (ou plusieurs) indépendante et de dimensions plus modestes, devrait être construite pour la pêche.

Les navires ayant franchi l'écluse, reste à savoir si le bassin peut offrir une protection suffisante à des navires de commerce à quai, ou si des protections complémentaires sont indispensables. En effet, le plan d'eau intérieur du bassin donne des fetchs de l'ordre de 10 miles marins au moins et sous de tels fetchs des houles importantes peuvent se former.

Il semble qu'une conjonction de circonstances favorables permettraient d'établir un port de commerce sans avoir recours à des protections complémentaires :

- . l'examen des fréquences annuelles de vents d'une intensité donnée montre que, à Chausey, la fréquence des vents forts est bien moindre pour le secteur Sud Est que pour les autres secteurs.

Il y aurait donc intérêt, du point de vue de la protection, à construire un port dans une localisation telle que le fetch le plus important soit du secteur sud est.

Cela veut dire que le port éventuel de commerce devrait être adossé à la digue de fermeture du bassin.

Une telle disposition n'est pas habituelle à l'heure actuelle car :

- . on cherche à réduire les distances de transport à terre;
- . le coût d'établissement de terre-pleins dont les ports de commerce sont grands consommateurs est très élevé car les terre-pleins doivent alors être entièrement construits en remblais depuis les zones les plus profondes;
- . les brise-lames sont souvent très perméables et il n'est pas gratuit de leur incorporer un "noyau" d'étanchéité.

Cependant :

- le dernier problème ne se pose pas dans le cas présent;
- le transport maritime commercial s'oriente de plus en plus vers la solution Ro/Ro.

Avec cette solution :

- . les temps de chargement/déchargement sont évidemment très réduits
- . les chargements très facilités
- . pour un port spécialement orienté vers le Ro/Ro la demande en terre-pleins serait certainement moindre à tonnage égal que dans la plupart des ports actuels; on a moins besoin de réduire la distance de transport terrestre avec trafic plus normalisé.

Ainsi il semble qu'un port orienté vers la solution Ro/Ro puisse être adossé à la digue principale du "bassin" (avec quai en dents de scie ou quai rectiligne et appontements perpendiculaires) et le trafic ne devrait pas y être interrompu, par suite de l'agitation intérieure, plus de quelques jours par an.

Il faut cependant remarquer que les conditions de navigation imposent d'établir l'accès de l'avant-port dans les zones de plus grande profondeur, or c'est aussi ces zones où il y aurait lieu de construire la centrale. La présence d'une centrale de cette importance au voisinage de l'entrée d'un port pose des problèmes, certes pas insolubles, mais nécessitant pour le moins des ouvrages supplémentaires.

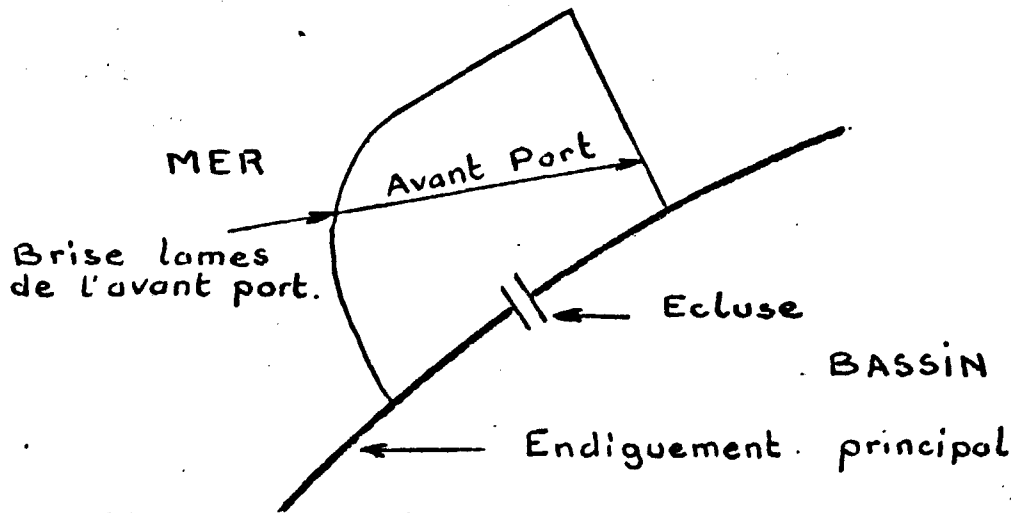
Contrairement aux apparences, la présence des blocs vannes ne pose pas de problèmes parce qu'on peut les établir dans des zones de moindre profondeur hors des zones de navigation.

Si l'on devait établir un grand port de commerce dans la région autrement qu'adossé à l'endiguement d'une marémotrice (que l'on construise ou non ladite marémotrice) la zone à l'ouest de Cancale semble la plus favorable.

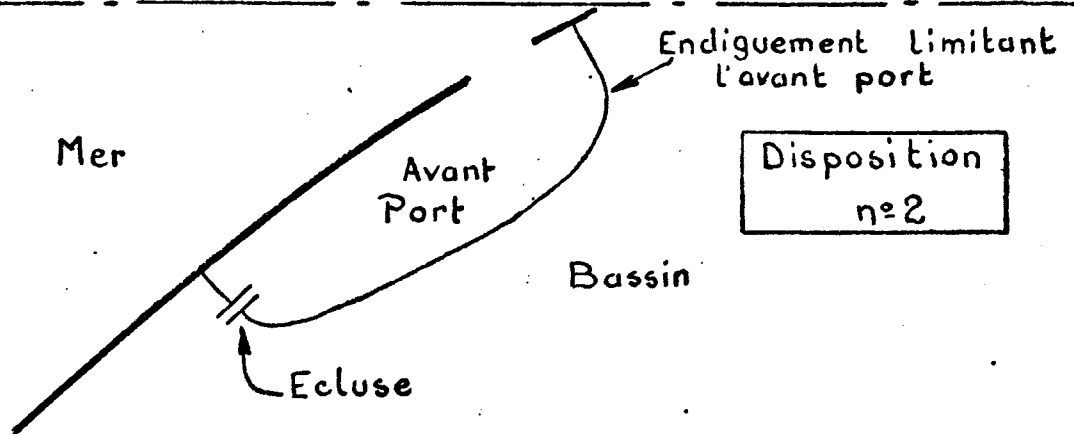
- . les profondeurs et les accès maritimes y sont meilleurs que vers Granville,
- . la desserte terrestre n'est pas pire,
- . on dispose à proximité de matériaux de construction,
- . si marémotrice et grand port de commerce devaient être construits, il serait relativement facile avec un port extérieur au bassin de la marémotrice d'éloigner l'accès au port des zones soumises aux plus forts courants dûs au fonctionnement de la marémotrice.

# MAREMOTRICE DES ILES CHAUSEY.

Schemas  
d'avant port

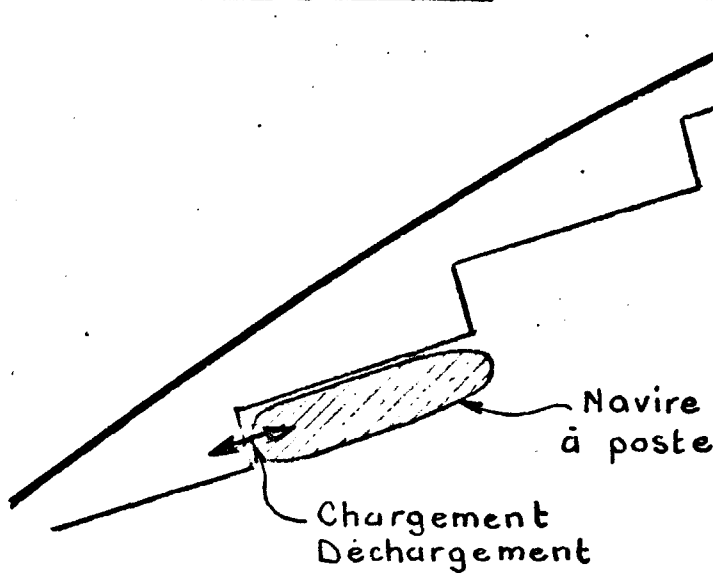


Disposition  
n°1

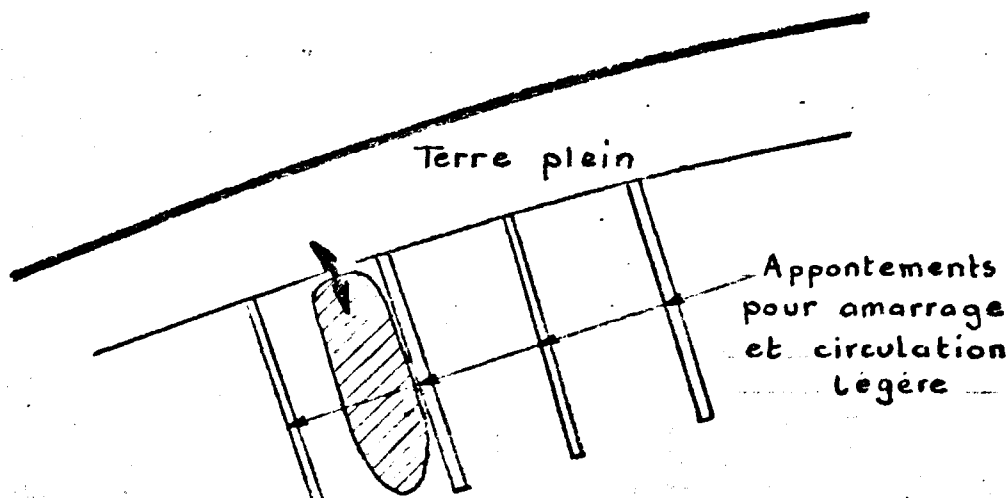


Disposition  
n°2

Schemas  
de poste  
pour navire Ro/Ro



Disposition  
n°1



Disposition  
n°2

R 12341-1 Annexe BME 10 FIG 1.

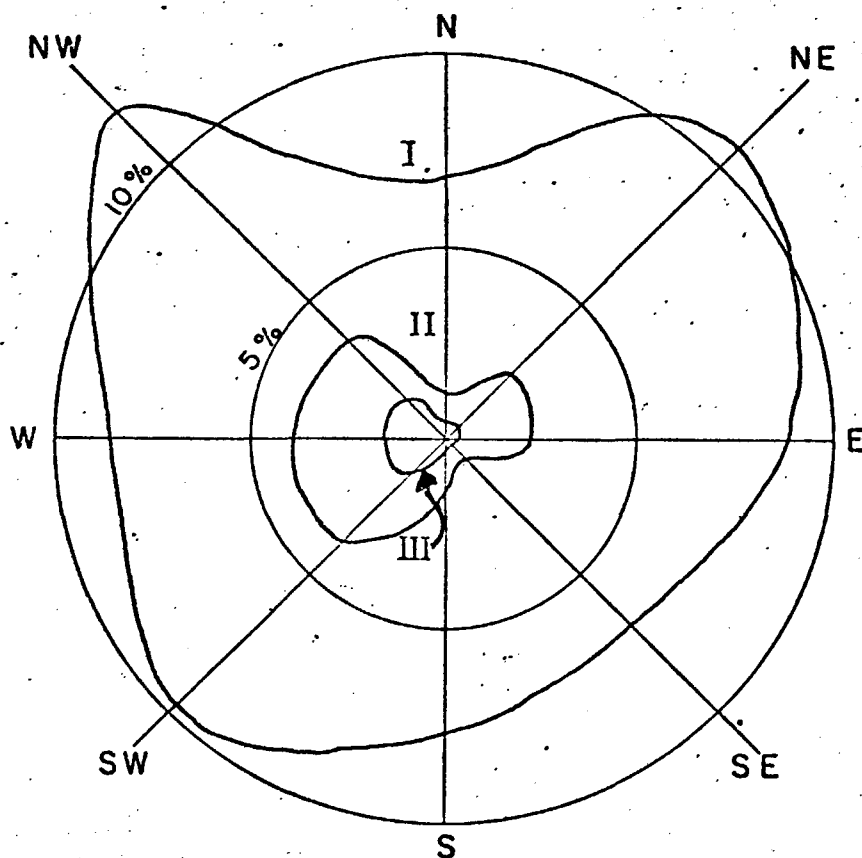


# LITTORAL OUEST DU COTENTIN

## ILES CHAUSEY

### Diagramme des vents

*Moyennes annuelles*



D'après la "Notice Météorologique" de M.J.ROUCH

- I : Force 1 à 4 de l'échelle BEAUFORT
- II : " 5 et 6 "
- III : " 7 et plus "

R 12341-1 Annexe BME 10 - FIG 2

SUR L'ENERGIE MAREMOTRICEANNEXE BME 11

G. DIEULOT

ASPECTS RELATIFS A L'ENVIRONNEMENTGENERALITES

Un aménagement tel que celui de la Baie de Chausey et qui comporterait autour d'une usine marémotrice de grande puissance, un certain nombre d'industries associées ne serait pas sans avoir des répercussions sur l'environnement. Notons immédiatement que ces répercussions seraient, en majorité, bénéfiques ce qui n'est pas le cas actuellement quand on évoque les problèmes d'environnement.

Il est nécessaire ensuite de décrire l'état actuel de l'environnement "l'état-zéro" pour pouvoir définir les éventuelles modifications apportées par l'aménagement de la Baie de Chausey.

I - ESSAI DE DEFINITION ET ETAT ACTUEL DE L'ENVIRONNEMENT DANS LA REGION DE CHAUSEY

L'environnement c'est le milieu dans lequel vit l'homme ; ce milieu a plusieurs composantes :

- le milieu naturel (la terre, la mer, l'atmosphère, la flore et la faune, les eaux douces) ;
- le milieu humain comportant :
  - le cadre matériel créé par l'homme (habitations, réseaux de communication, aménagements industriels, portuaires, etc...) ;
  - le cadre sociologique (mode de vie, niveau de vie, etc...).

## 1. MILIEU NATUREL

### 1.1. TERRE

Le continent et les îles sont bien connus. La côte du Cotentin, au nord de Granville est soumise actuellement à une forte érosion marine.

Un autre point particulier : les marais de Dol dont le niveau moyen régulé par un jeu de digues et de vannes se situe nettement au-dessous de la cote des pleines mers et sont donc particulièrement sensibles aux variations du niveau de la mer.

### 1.2. MER

Le milieu marin est caractérisé par son niveau (la marée), par les courants, par la houle, les mouvements de sédiments, la composition de l'eau de mer, sa température et sa pollution (teneur en corps ou substances étrangers)..

Les valeurs actuelles de ces caractéristiques sont en grande partie connues dans le secteur intéressé, grâce en particulier aux études réalisées par le SEUM d'EDF dans les années 50 pour le projet de Chausey.

### 1.3. ATMOSPHERE

Les conditions météorologiques du secteur - vent en direction, force et fréquence, température, pression, visibilité, précipitations - sont connues grâce en particulier aux observations systématiques des phares et sémaphores de la région. La pollution atmosphérique est insignifiante.

### 1.4. FLORE - FAUNE

Il s'agit ici aussi bien de la flore et de la faune terrestres que de la flore et de la faune marines, et bien sûr de la flore et de la faune de l'estran. Elles sont toutes bien connues ainsi que leurs habitats respectifs et leurs conditions de vie.

## 1.5. EAUX DOUCES

### 151 - Eaux de surface

Leur recensement avec leurs caractéristiques de débit en fonction du temps, leur composition et leur pollution actuelles sont bien connues. Rappelons l'existence des marais de Dol.

### 152 - Eaux souterraines

Elles semblent mal connues et peu exploitées.

## 2. MILIEU HUMAIN

### 2.1. CADRE MATERIEL

Il est évidemment bien connu. La région est peu industrialisée, les réseaux de communications routiers et ferrés sont insuffisants, les communications aériennes inexistantes. La région possède quelques sites remarquables dont le Mont-Saint-Michel. Seules Granville et Cancale possèdent un embryon de port de pêche (échouage à Cancale, bassin à flot à Granville).

### 2.2. CADRE SOCIOLOGIQUE

La région est peu industrialisée ; elle a un caractère essentiellement rural avec faible densité de population et des activités complémentaires : pêche et tourisme. Il semble qu'elle aspire au "désenclavement", sans pour autant en apercevoir la voie aujourd'hui.

## II - REPERCUSSIONS EVENTUELLES DE L'AMENAGEMENT DE LA BAIE DE CHAUSEY SUR L'ENVIRONNEMENT

### 1. MILIEU NATUREL

#### 1.1. TERRE

Un certain nombre de points ont été examinés.

##### 1.1.1. Lutte contre l'érosion marine du Cotentin

La note SOGREAH (RPI juin 1975) montre que la création d'un bassin protégé par des digues à une vingtaine de kilomètres de la côte aura pour effet d'arrêter l'érosion et même de permettre le réengraissement naturel ou artificiel des plages actuellement érodées, d'une part, par la suppression des houles dangereuses venant du large et, d'autre part, par la modification du niveau moyen de la mer au droit de la plage.

##### 1.1.2. Marais de Dol

La modification du niveau moyen de la mer dans le cas d'une usine à bassins conjugués amènerait à modifier la régulation actuelle du niveau des marais de Dol, de façon différente du reste si le bassin jouxtant le fond de la Baie est le bassin haut (niveau moyen au-dessus du NGF et plusieurs mètres au-dessus du point bas du marais) ou le bassin bas (-4 NGF soit 7 mètres sous le point bas du marais). La note SOGREAH (F. BAZIN, juin 1975) pose les données du problème.

##### 1.1.3. Site du Mont-Saint-Michel

La seule répercussion sur le site du Mont-Saint-Michel pourrait être une modification du nombre annuel d'heures pendant lesquelles le rocher est complètement entouré d'eau. L'ouvrage le plus proche du rocher serait sans doute l'emplanture de la digue à la Pointe du Grouin soit à plus de 25 kilomètres, donc pratiquement invisible du Mont-Saint-Michel.

#### 1.1.4. Modifications des plages

La variation du niveau moyen et de l'amplitude de la marée apporteront, dans le cas de bassins conjugués, une diminution de la largeur de l'estran et de la force des courants, ce qui ajouté à la suppression de toutes les houles de grandes longueurs d'onde (lames de fond) augmentera la sécurité des plages.

#### 1.1.5. Poldérisation

L'abaissement du niveau moyen et de la cote des pleines mers dans les bassins bas permet d'envisager des opérations de poldérisation ou d'aider de telles entreprises (essai de poldérisation du Havre de Lessay, par exemple). Dans le cas d'utilisation d'un bassin hyperbas, il s'agirait quelques dizaines de milliers d'hectares gagnés sur la mer.

#### 1.1.6. Site des îles Chausey

Les répercussions de l'aménagement sur le site des îles Chausey dépend de son type et du tracé de ses digues. Il est cependant probable que les digues s'accrocheront sur les îles ou passeront à proximité.

### 1.2. MER

#### 1.2.1. Marée

La modification de l'espace géométrique naturel, dans lequel se propage, se réfléchit et s'amplifie l'onde de marée atlantique le long de la face ouest du Cotentin, peut entraîner une variation de l'amplitude de la marée. Cette variation dépend de la position et de l'orientation des digues : une digue morte nord-sud entre Chausey et le Grouin entraînant une diminution du marnage de l'ordre de 4,5 % soit 50 cm environ en vive eau moyenne. Par contre, une digue est-ouest entre Jersey et le Cotentin compenserait cette diminution.

De plus, l'injection ou l'absorption au droit de la digue-usine de débits correspondant au fonctionnement de l'usine superpose à cette diminution une variation grossièrement proportionnelle au débit et fonction approximativement sinusoïdale du déphasage du débit sur l'heure de la pleine mer, atteignant 50 cm pour un déphasage de 7 h et un débit de 200 000 m<sup>3</sup>/s, soit 1 m au total. Ces évaluations sont données dans la note IMG du 21.7.1975 de G. CHABERT D'HIÈRE, résumant les études correspondantes faites de 1960 à 1962 sur le modèle tournant de Grenoble.

### 1.2.2. Courants

Les courants marins se trouveront perturbés à la fois par la modification de l'espace géométrique de propagation de l'onde de marée et de l'amplitude de celle-ci, ainsi que par les débits positifs ou négatifs de l'usine et des vannes, ce qui rend cette perturbation fonction à la fois du tracé des digues, des positions de (ou des) l'usine et des vannes ainsi que de l'équipement et du cycle de fonctionnement de celles-ci. Une évaluation du champ perturbé devra être faite pour chaque projet.

### 1.2.3. Houle

Les digues, l'usine et les vannes forment une barrière infranchissable aux houles incidentes venant du large (4 à 5 m d'amplitude, période 7 à 12 s), par conséquent on ne trouvera à l'intérieur des bassins que les houles créées sur place - la mer du vent - ayant pour caractéristiques moyennes à 20 km des digues : amplitudes inférieures à 2 m, période de l'ordre de 4 secondes, donc suppression le long des plages des houles dangereuses (lames de fond).

.../...

#### 1.2.4. Sédiments

Le mouvement général des sédiments dans la Baie de Chausey n'a pas fait l'objet d'études systématiques et reste donc mal connu. On observe cependant une grande stabilité des fonds (peu de différences ont été relevées entre les levés hydrographiques de Beautemps Baupré en 1830 et les levés d'EDF en 1953-56) ce qui incite à penser que comme en Rance les mouvements de sédiments sont dans l'ensemble peu importants.

#### 1.2.5. Pollution chimique de l'eau de mer

L'usine marémotrice est exempte de toute pollution chimique. Toutefois, au cas où un complexe industriel y serait associé une attention toute particulière devrait être apportée au traitement des rejets liquides. Cette préoccupation vaut à la fois pour l'environnement et pour l'aquaculture.

#### 1.2.6. Pollution thermique de l'eau de mer

L'usine marémotrice ne crée aucune pollution thermique, néanmoins, au cas où une centrale nucléaire y serait associée, la question se poserait. Celle-ci a déjà fait l'objet d'études notamment à l'IMG sur modèle hydraulique dans le cas de centrales nucléaires. Le réchauffement de l'eau de mer dans les échangeurs des centrales ou des usines donne naissance à une "tache chaude" dont l'évolution en dimensions, en température et en position dépend notamment des courants et des échanges atmosphériques. Nous sommes ici dans un cas exceptionnellement favorable, où l'on est pratiquement maître du brassage de l'eau chaude dans les débits considérables de l'usine (plusieurs centaines de milliers de m<sup>3</sup>/s).

.../...



De plus, contrairement au cas général, où l'augmentation de température de l'eau de mer est considérée comme néfaste, on peut envisager d'utiliser pour l'aquaculture cette eau chaude, ou le gradient de température correspondant.

### 1.3. ATMOSPHERE

#### 1.3.1. Facteurs physiques

Les deux facteurs physiques pouvant avoir une influence pour les conditions météorologiques sont :

- la variation du niveau moyen de la mer pouvant entraîner des microvariations barométriques susceptibles de perturber le régime des brises ;
- l'augmentation de la température superficielle de la mer dans le cas d'usines nucléaires associées.

Les services compétents de la Météorologie Nationale ont été saisis de la question.

#### 1.3.2. Pollution atmosphérique

Il est évident que bien que l'usine marémotrice soit absolument exempte de pollution, que ce soit chimique, thermique, atmosphérique, la question se poserait en cas de complexe industriel associé.

### 1.4. FLORE - FAUNE

Les éventuelles répercussions des variations de niveau moyen et d'amplitude de la "marée" à l'intérieur des bassins et des variations de courants correspondants, à l'intérieur et à l'extérieur des bassins ainsi que d'une éventuelle augmentation de la température de l'eau de mer ne seraient ressenties que par la flore et la faune de l'estran et dans une moindre mesure par la flore et la faune sous-marines.

Une évaluation des répercussions éventuelles ne pourra être faite que sur chaque projet particulier.

### Aquaculture - Conchyliculture

Le (ou les) plan d'eau protégé et régulé offre des conditions uniques pour la création de bassins d'aquaculture d'ampleur inégalée et pour le développement de la conchyliculture déjà importante dans la région.

## 1.5. EAUX DOUCES

### 1.5.1. Eaux de surface

Les éventuelles répercussions climatiques évoquées au paragraphe 1.3.1. ci-dessus ne sauraient avoir d'influence significative sur le régime des eaux en surface.

Par contre, au cas où des industries seraient associées à l'usine marémotrice, la ponction nécessaire à leur alimentation pourrait être ressentie de façon significative compte tenu de la faible importance des ressources en eaux douces de la région.

Enfin, les répercussions éventuelles sur les eaux souterraines examinées ci-dessous en 1.5.2. pourraient évidemment modifier l'équilibre du régime des eaux de surface, notamment dans le cas des marais de Dol.

Une note TDF "ressources en eau dans la Baie du Mont-Saint-Michel" fait le point de la question.

### 1.5.2. Eaux souterraines

La note SOGREAH (F. BAZIN) déjà citée en 1.1.2. distingue, en plus des marais de Dol déjà évoqués, les zones rocheuses à l'ouest de Cancale et autour de Granville et la zone de dunes côtières du Cotentin. Elle conclut que seule cette dernière pourrait présenter des lentilles eau douce - eau de mer (non exploitées actuellement) où une variation de niveau moyen de la mer pourrait modifier le processus actuel de mélange.

## 2. MILIEU HUMAIN

### 2.1. CADRE MATERIEL

La répercussion essentielle de l'aménagement de la Baie de Chausey sur le cadre de vie matériel des hommes dans la région serait sans doute un développement spectaculaire de l'infrastructure qu'il s'agisse des réseaux de communication (air, terre, fer, téléphone), du milieu urbain, de l'approvisionnement en énergie (électricité, gaz naturel, etc...) ou de l'équipement industriel de la région.

Les répercussions sur les industries actuelles de la pêche et de la conchyliculture entraîneraient une adaptation au nouveau milieu.

En effet, les ports d'échouage pourraient être remplacés par des bassins à flot parfaitement protégés permettant l'entrée et la sortie des bateaux à toute heure.

### 2.2. CADRE SOCIOLOGIQUE

Le cadre de vie sociologique est certainement l'un des domaines où les répercussions de l'aménagement de la Baie de Chausey seraient les plus importantes.

Ces répercussions intéressent d'abord la création d'emplois d'une part pendant la phase de construction (10 ans sans doute) de l'usine et éventuellement d'industries associées d'autre part pendant l'exploitation de celle-ci. La poldérisation entraînerait la culture de primeurs et l'implantation de nombreuses exploitations agricoles.

Il est certain que la création d'usines associées et des réseaux de communication correspondants, ainsi que la disponibilité d'énergie induirait la création d'industries et d'activités tertiaires dans toute la région allant de Cherbourg à Saint-Malo.

L'amélioration des plages, la création de bassins favorables à la navigation de plaisance et à la pêche, l'attrait d'un aménagement unique au monde et de "routes de haute mer" aurait certainement pour conséquence d'attirer des touristes et des vacanciers comme ce fut le cas de la Rance avec les répercussions que l'on sait sur l'industrie hôtelière et le commerce local. La note SOGREAH JMA de juin 1975 analyse en détail "l'influence de l'aménagement des îles Chausey sur le développement du tourisme".

### 3. CONCLUSION

L'aménagement de la Baie de Chausey aurait des répercussions à la fois sur le milieu naturel et sur le milieu humain. Ces répercussions ont, en général, un caractère nettement positif et sont porteuses de promesses et d'améliorations.

Une évaluation précise de ces répercussions ne pourra être faite que dans le cadre de projets précis en utilisant les méthodes et les moyens bien au point dont disposent dès à présent les organismes publics et privés créés à cet effet.

G. DIEULOT

## Annexe OE 1

## Aménagement marémoteur

TRACE DES DIGUES  
PROGRAMME D'OPTIMALISATION

J.F. DENOYELLE

## 1. GENERALITES

Le choix de l'implantation d'une usine marémotrice est déterminé évidemment par l'existence de marées de forte amplitude, mais également par la possibilité de procéder à des endiguements dans des conditions économiques acceptables. La productivité d'une usine marémotrice dans un site (donc une marée) donné est, si l'on fait abstraction des effets de remous, proportionnelle à la surface des bassins. Comme d'autre part le prix de l'équipement est également proportionnel à la surface des bassins, on peut dire que le prix de l'unité d'énergie produite sera une fonction monotone croissante du rapport :

$$R = \frac{\text{Prix des digues}}{\text{Surface des bassins}}$$

Pour avoir l'énergie la moins chère possible il convient donc de minimiser le rapport R.

Pratiquement les choses ne sont pas si simples, en effet :

- l'implantation de l'équipement électromécanique impose certaines restrictions au tracé optimal
- dans le cas du fonctionnement à deux bassins, ce n'est pas seulement la surface totale des deux bassins qui influe sur la production, mais également la répartition de la surface entre les deux bassins
- enfin il faut remarquer que même si R diminue, on ne peut augmenter indéfiniment la surface des bassins sans revoir un certain nombre de problèmes tels que le risque de modification des courbes de marée par l'implantation de l'usine, l'incidence

sur l'environnement, la possibilité de réaliser encore un investissement de taille rapidement démesuré, etc ...

Une autre question est celle de savoir comment déterminer le prix de la digue. Ici nous admettons que le prix d'un petit élément de digue de longueur  $\delta s$  est égal à  $\delta s$  multiplié par un prix unitaire dépendant du lieu (ce prix unitaire peut dépendre de la profondeur locale, de la profondeur du bed-rock, de l'intensité des courants de marée, de la distance à tel point de la cote, etc ...).

La détermination optimale du tracé des digues résulte, dans le cas d'une topographie compliquée, comme celle de la baie de Chausey d'une série d'essais répétés. Nous n'avons pas encore défini de façon précise la conduite de ces essais ; mais il est déjà possible de définir un certain nombre de voies d'approche permettant d'aborder le problème.

Tout d'abord il faut remarquer que la solution optimale (c'est-à-dire celle qui minimise le rapport R est incluse dans les solutions du problème partiel suivant :

- La surface des bassins étant donnée, trouver le tracé des digues correspondant à un coût minimal quand on fait varier (dans des limites acceptables) la surface des bassins.

Or il se trouve que le problème partiel est un problème classique de la théorie des variations (problème isopérimétrique) et conduit à une équation différentielle du tracé des digues. C'est le problème qui est exposé dans le § 2.

Le § 3 expose comment les solutions de l'équation différentielle peuvent être utilisées pour résoudre les problèmes posés.

Le § 4 décrit sommairement les principes de l'intégration numérique des équations différentielles.

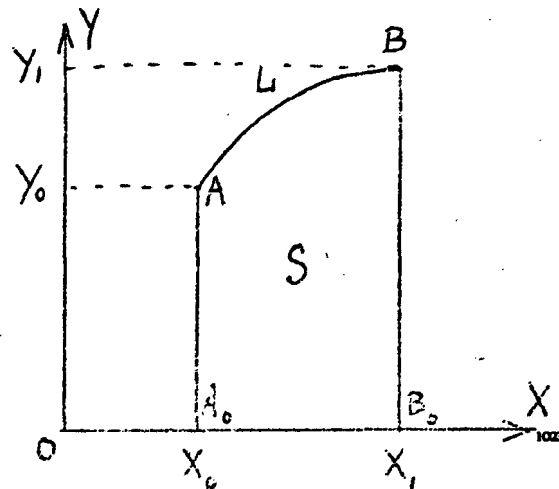
## 2. LE PROBLEME ISOPERIMETRIQUE

Le problème isopérimétrique classique se pose comme suit :

Soit un point A de coordonnées  $X_0, Y_0$  et un point B de coordonnées  $X_1, Y_1$ . Joindre ces deux points par une courbe L telle que :

- a/ la surface comprise entre les lignes  $X=X_0, Y=0, X=X_1$  et la courbe L soit donnée égale à  $S_0$

$$\int_{X_0}^{X_1} Y \, dX = S_0$$



b/ l'intégrale :

$$T = \int_{X_0}^{X_1} P(X,Y) ds = \int_{X_0}^{X_1} P(X,Y) \sqrt{1 + Y'^2} \cdot dX$$

où  $P(X,Y)$  est une fonction connue des variables  $X$  et  $Y$ .  
soit un minimum.

Une méthode utilisée couramment pour la détermination des extrema avec contraintes consiste à transformer le problème en utilisant les multiplicateurs de Lagrange. Le nouveau problème s'écrit :

Rendre minimale l'intégrale  $T + \lambda S$ , la valeur  $\lambda$  étant déterminée par la condition  $S = S_0$ .

Or l'équation d'Euler correspondant au minimum de l'intégrale  $T + \lambda S$  s'écrit :

$$\frac{\partial}{\partial Y} (P(X,Y) \sqrt{1 + Y'^2} + \lambda Y) - \frac{d}{dX} \left( \frac{\partial}{\partial Y'} (P(X,Y) \sqrt{1 + Y'^2} + \lambda Y) \right) = 0$$

soit en développant :

$$(1) \quad \frac{\partial P}{\partial Y} \sqrt{1 + Y'^2} + \lambda - \frac{d}{dX} \left( P(X,Y) \frac{Y'}{\sqrt{1 + Y'^2}} \right) = 0$$

En introduisant comme variable indépendante la longueur d'arc  $s$  et comme variable auxiliaire l'angle  $\alpha$  de la tangente à la courbe avec la direction positive de l'axe des  $X$ , on obtient le système d'équation suivant :

$$(2) \quad \begin{cases} P(X,Y) \frac{d\alpha}{ds} + \frac{\partial P}{\partial X} \sin \alpha - \frac{\partial P}{\partial Y} \cos \alpha - \lambda = 0 \\ \frac{dX}{ds} = \cos \alpha \\ \frac{dY}{ds} = \sin \alpha \end{cases}$$

$$\text{ou : } P(X,Y) \frac{d\alpha}{ds} + (\eta \cdot \text{grad } P) = \lambda$$

$\eta$  étant le vecteur unitaire de la normale à la courbe.

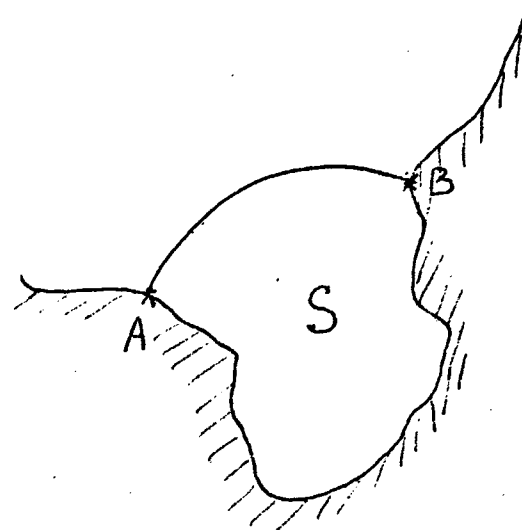
L'avantage du système (2) par rapport à l'équation (1) c'est qu'on s'est libéré du système particulier des axes de coordonnées (avec l'équation (1) il y aurait eu des difficultés lorsque  $Y'$  devient infini).

Remarquons que  $\frac{d\alpha}{ds}$  est simplement la courbure de la ligne  $Y = Y(X)$ . Lorsque le prix du mètre courant de digue est indépendant du lieu  $P(X, Y) = P_0$  (constant)  $\frac{\partial P}{\partial X} = \frac{\partial P}{\partial Y} = 0$  et  $\frac{d\alpha}{ds} = \frac{\lambda}{P_0}$ . Les solutions du système d'équations (2) correspondent à des cercles de rayon  $\frac{P_0}{\lambda}$  (problèmes isopérimétriques classiques).

Le système (2) donne la courbure de la courbe cherchée en fonction de la position du point et de la direction de la tangente. Pour une valeur donnée de  $\lambda$ , une solution du système (2) est donc donnée si on fixe un point et la direction de la tangente en ce point.

On remarquera que les solutions du système (2) avec  $\lambda$  donné constituent une famille de courbes à deux paramètres (point de départ et tangente de départ). Si on fait en outre varier  $\lambda$  on obtient une famille à trois paramètres. La détermination de ces trois paramètres dépend des conditions imposées. Par exemple, on peut se poser le problème :

- Trouver la digue de coût minimum joignant le point A au point B, délimitant une surface donnée S.



Le nombre de conditions imposées au tracé de la digue est de trois :

- passer par le point A
- passer par le point B
- délimiter une surface donnée.

Il y aura donc, en général, une solution au problème de détermination des paramètres. Mais la détermination pratique n'est pas simple. En effet, on peut calculer un tracé partant du point A lorsqu'on donne la direction de départ et le paramètre  $\lambda$  mais si l'on fixe ces dernières valeurs on n'arrivera pas en général au point B et on ne délimitera pas la surface donnée.



Le problème cité plus haut peut être modifié ainsi. En maintenant le point A, trouver le point B tel que le coût de la digue soit minimum. Il s'agit de résoudre le problème précédent pour diverses positions du point B et de choisir la position qui donne le coût minimum.

De la même façon on pourra faire varier également le point de départ A et on aurait à résoudre le problème :

- . Quel est le tracé de la digue à coût minimum permettant de délimiter une surface S donnée ?

On peut en outre faire varier la surface délimitée S et chercher le tracé qui donne le minimum du rapport :

$$\frac{\text{Coût de la digue}}{\text{Surface du bassin}}$$

Remarques :

- 1/ D'après ce qui précède le tracé dans les problèmes pratiques qui peuvent se poser requiert non seulement l'intégration du système d'équations différentielles (2) mais également une procédure pour satisfaire aux conditions aux limites et à une condition intégrale (valeur de la surface délimitée). Dans le cas de la détermination de deux bassins conjugués le problème se complique encore. Néanmoins -dans tous les cas- les tracés appartiennent à la famille à trois paramètres des solutions des équations (2).
- 2/ Le système (2) donne le tracé correspondant à un minimum local du coût des digues pour une surface de bassin donnée ; c'est-à-dire que le coût des digues est inférieur à celui de tout autre tracé dans un voisinage infinitésimal de la solution de (2). La question du minimum global est beaucoup plus difficile à traiter d'un point de vue théorique.
- 3/ Lorsque le coût unitaire  $P(X,Y)$  devient nul (cas d'une file) la courbure du tracé devient indéterminée et il faut prévoir une procédure spéciale. Lorsque ce coût devient très faible, la courbure peut devenir très grande, ce qui peut conduire à des solutions inacceptables.
- 4/ Certaines circonstances dont nous ne pourrions pas tenir compte dans le calcul, peuvent restreindre le choix de la solution. C'est ainsi que, pour des raisons liées à la cavitation, il est nécessaire d'immerger suffisamment les turbines. Mais également d'autres circonstances (écologiques, historiques, etc ...) peuvent exclure un choix.

### 3. PROGRAMME DE CALCUL DE TRACE

#### a/ Définition du coût unitaire de la digue

Le coût d'un mètre de longueur de digue est la seule grandeur à fournir pour pouvoir procéder à l'intégration du système (2). Le coût unitaire dépend en particulier de la profondeur des fonds et de la profondeur du bed-rock. Or un examen de la carte des fonds révèle une très grande variabilité de la profondeur. Pour pouvoir intégrer le système (2) il faut être capable de déterminer en chaque point non seulement la valeur  $P(X,Y)$ , mais aussi les dérivées partielles  $\frac{\partial P}{\partial X}$  et  $\frac{\partial P}{\partial Y}$ . Nous avons choisi le procédé suivant de définition des fonds :

La surface de la mer considérée est divisée en triangle. La quantité  $P$  est donnée aux sommets des triangles; à l'intérieur du triangle la quantité  $P(X,Y)$  dépend linéairement des coordonnées  $X$  et  $Y$ . La quantité  $P$  est ainsi définie dans tout le domaine.  $P(X,Y)$  est continu mais ses dérivées sont discontinues le long des arêtes du triangle. A l'intérieur d'un triangle, les dérivées partielles  $\frac{\partial P}{\partial X}$  et  $\frac{\partial P}{\partial Y}$  sont constantes.

Les triangles devront être choisis de telle façon que la côte (à la hauteur des digues) soit constituée par une série d'arêtes des triangles.

#### b/ Procédé d'intégration

Il faut remarquer tout d'abord que, du fait de la définition des fonds, il y a en général discontinuité de courbure lorsque le tracé de la digue traverse une arête de triangle. Il faut tenir compte de ce fait lors de l'intégration numérique.

Le procédé d'intégration prévu à l'intérieur d'un triangle est un procédé prédicteur correcteur, c'est-à-dire que, ayant la position d'un point de tracé  $P_0$  et de sa tangente (donnée par  $\alpha_0$ ) on calcule pour une longueur d'arc  $\Delta s$  donnée la position d'un point  $P_1$  à la distance curviligne  $\Delta s$  en admettant que la courbure est restée celle du point  $P_0$  (donnée par l'équation différentielle). On calcule alors au point  $P_1$  l'angle  $\alpha_1$  et la courbure au point  $P_1$ . On recommence alors (éventuellement plusieurs fois) le calcul du point  $P_1$  en admettant que la courbure sur le tronçon est la courbure moyenne aux points  $P_0$  et  $P_1$ .

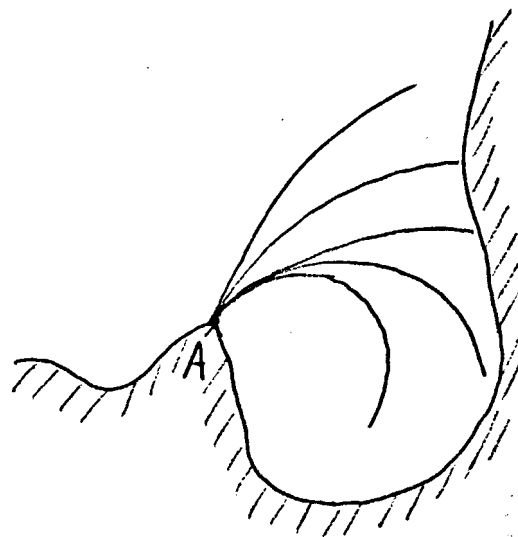
L'intervalle  $\Delta s$  sera choisi de façon :

- . qu'on ne sorte pas du triangle
- . que la différence de direction entre  $P_0$  et  $P_1$  soit inférieur à une quantité qui dépend de la précision désirée.

#### 4. ENCHAINEMENT DES CALCULS

En tenant compte des différentes remarques qui ont été faites plus haut il apparaît judicieux, afin de pouvoir se faire une idée de la localisation possible des bassins, de procéder à la détermination d'un assez grand nombre de tracés appartenant à la famille à trois paramètres des solutions du système (2). Le choix des tracés peut dépendre de conditions imposées. Ainsi, par exemple, si on estime judicieux de construire des digues partant d'un point A de la cote, on pourra tracer des représentants de la famille de courbes passant par A, cette famille est à deux paramètres (angle de départ et  $\lambda$ ).

Il sera possible de choisir à l'intérieur de cette famille le tracé qui semble convenir le mieux. Il ne nous semble pas possible, pour l'instant, de définir de manière précise la façon d'enchaîner les calculs pour obtenir le meilleur tracé d'une façon entièrement automatique ; ceci pourra, si c'est réalisable et intéressant, être élaboré directement à la suite des toutes premières exploitations.



oOo

## Annexe OE 2

## PROGRAMME DE TRACE DE DIGUES

## (Problème isopérimétrique)

J.F. DENOYELLE

Le problème isopérimétrique, les équations qui en résulte et le procédé d'intégration utilisé ont déjà été décrits dans une précédente note (10 Janvier 1975). Nous n'y reviendrons pas. Nous nous contenterons de préciser un certain nombre de points (maillage, coût unitaire de la digue) et de donner un exemple d'application du programme.

## 1. MAILLAGE

Le domaine de calcul a été décomposé en 3545 petits triangles de 1 km de côté. La surface ainsi couverte (1770 km<sup>2</sup>) s'étend de la chaussée des Beufs au Nord jusqu'à la pointe du Grouin et au Mont Saint-Michel au Sud. Elle borde le plateau des Minquiers à l'Ouest et englobe toute la côte du Cotentin correspondante à l'Est.

Les sommets de ces triangles définissent 1873 points dont on a relevé systématiquement les coordonnées x et y, la cote du fond et la cote du bed-rock ...

Toutes les données disponibles ont été enregistrées sur une bande magnétique qui servira de point de départ pour tous les calculs ultérieurs.

## 2. PRIX UNITAIRE DE LA DIGUE

C'est là que réside encore la seule inconnue du problème.

Ce prix unitaire peut en effet être une fonction de la hauteur d'eau, de la profondeur du bed-rock, de la distance à la côte ou à un point d'approvisionnement en matériaux. Il peut même dépendre de la fonction même de la digue : zone d'implantation des turbines, zone d'implantation des vannes ou zone de digue morte.

Il faudrait pouvoir définir le coût unitaire de la digue par une fonction pas trop compliquée si possible des différents paramètres cités ci-dessus ou même d'autres paramètres auxquels nous n'aurions pas pensé.

Lors des tests du programme nous avons pris comme coût unitaire la profondeur d'eau existante en un point lors d'une pleine mer de vive eau de coefficient 120. Elle se déduit de la hauteur enregistrée précédemment sur bande magnétique par addition d'une constante.

### 3. ESSAI DU PROGRAMME TRACE DE DIGUE

Les solutions du problème isopérimétrique ( voir note précédente) forment une famille de courbes à 3 paramètres :

- . le point de départ  $M_0$
- . l'angle de départ  $\alpha_0$  avec l'axe des x
- . un paramètre  $\lambda$  qui permet de faire varier la surface comprise entre la digue et la terre.

Nous avons choisi de partir de la pointe du Grouin avec un angle de départ de  $45^\circ$ .

Nous avons alors tracé 11 digues correspondant à des valeurs de  $\lambda$  allant de - 1,5 à - 0,5. Les surfaces englobées correspondantes sont données dans le tableau ci-dessous.

| $\lambda$            | -0,5 | -0,6 | -0,7 | -0,8 | -0,9 | - 1 | -1.1 | -1.2 | -1.3 | -1.4 | -1.5 |
|----------------------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| S<br>km <sup>2</sup> | 470  | 458  | 442  | 409  | 368  | 350 | 360  | 401  | 389  | 384  | 377  |

On constate que la surface ne dépend pas linéairement de  $\lambda$  et que plusieurs valeurs de  $\lambda$  peuvent correspondre à la même surface. Cela tient à l'allure assez tourmentée des fonds dans la région choisie et au fait que le coût unitaire de la digue a été pris égal à la profondeur d'eau. Une configuration de prix plus "lisse" conduirait à des résultats plus réguliers.

Le programme comporte un tracé automatique qui permet de visualiser sur papier millimétré le dessin de la digue dès que celle-ci est déterminée. Ce tracé représente aussi la côte en la schématisant par un ensemble de segment de droites. La planche ci-jointe montre le résultat obtenu pour les 11 digues précitées. Le fait que certaines digues se coupent tient à l'allure tourmentée des fonds citée précédemment.

La courbure locale de la digue est en effet une fonction inverse de la profondeur moyenne sur un carreau. Si localement cette profondeur devient faible (petite île, affleurement rocheux) la courbure devient grande et la digue prend un virage "serré" qui l'amène à couper les digues voisines qui n'ont pas rencontré cette singularité au cours de leur tracé.

#### 4. DEFINITION D'UNE METHODOLOGIE DE TEST ET D'UTILISATION DU PROGRAMME

##### 4.1 Test

Nous pensons tester complètement la validité du modèle en le comparant à un projet déjà existant (le projet EDF par exemple).

Nous essayerons de voir si à surface équivalente un autre tracé permet de diminuer sensiblement le prix de la digue ou encore si à prix équivalent on peut augmenter la surface du bassin. Pour cela il faudra connaître la fonction "coût unitaire de la digue" fournie par ailleurs.

##### 4.2 Tracé d'une digue optimum de surface donnée

Il faut faire varier les trois paramètres ( $M_0$  point de départ de la digue,  $\alpha_0$  angle de départ, ).

Le principe consiste à se donner  $M_0$  et  $\alpha_0$  et à faire varier le paramètre  $\lambda$  pour obtenir la surface cherchée  $S_0$ . On obtiendra une digue  $D_0$  de coût  $P_0$ .

Puis on fera varier  $M_0$  et  $\alpha_0$  de façon à couvrir tout le champ de variation de ces deux paramètres compte tenu des contraintes imposées à la digue (point de départ dans une certaine plage ; angle  $\alpha$  correspondant à la direction de la mer) on obtiendra des digues  $D_1$  de coût  $P_1$ ,  $D_2$  de coût  $P_2$  ...

Parmi toutes ces digues on choisira celle de coût minimum.

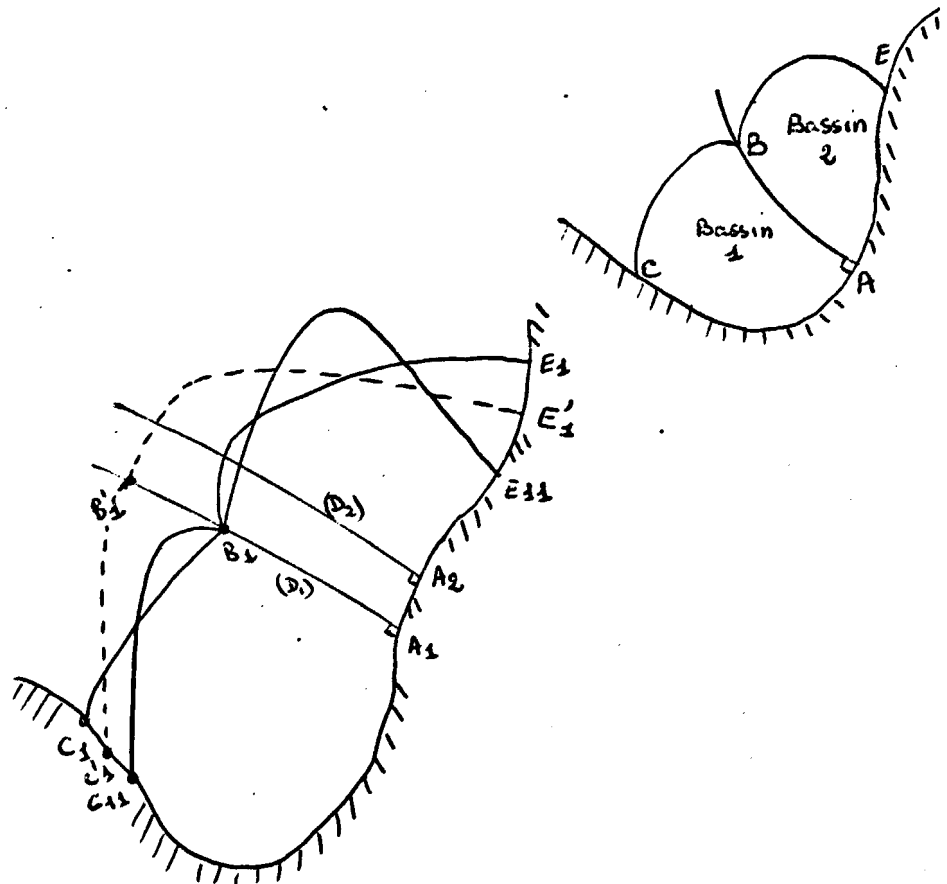
##### 4.3 Utilisations du programme

Deux cas très différents apparaissent au niveau de l'utilisation du programme suivant le type de bassins envisagés ; en effet ou bien les 2 bassins s'appuient sur la côte, ou bien un seul des bassins touche la côte, l'autre étant tracé au large.

(Nous partons de l'hypothèse qui semble actuellement admise d'un groupe de deux bassins de surface sensiblement égale : l'un de niveau haut et l'autre de niveau bas).

#### 4.31 Deux bassins à la côte

Ces deux bassins s'appuient sur la côte et ont une digue commune pour les séparer.



Les digues seront découpées en trois tronçons AB, BC et BE.

Le premier tronçon calculé sera AB.

On choisira un certain nombre de points de départ  $A_1$ ,  $A_2$  ... sur la côte et on partira perpendiculairement à la côte. On déterminera dans ces conditions la digue de prix optimal sans se soucier de la surface ( $\lambda = 0$ ). On obtiendra un certain nombre de digues ( $D_1$ ) ( $D_2$ ) ...

Ceci étant fait on choisira un certain nombre de points  $B_1, B'_1 \dots$  sur la digue  $D_1$  et on tracera les digues  $B_1 E_1, B_1 E'1, B'_1 E'_1 \dots B_1 C_1 \dots B_1 C'1, B'_1 C'_1 \dots$  correspondant respectivement aux surfaces cherchées pour les deux bassins (deux paramètres pourront donc varier : l'angle de départ et  $\lambda$ . On ne retiendra que les digues englobant la surface considérée). On recommencera avec la digue ( $D_2$ ) puis ( $D_3$ ).

Parmi tous les résultats obtenus on choisira celui correspondant au coût minimum compte tenu d'un certain nombre de contraintes telles que :

- distance suffisante entre A et B pour implanter les turbines
- distance suffisante entre B et C d'une part et B et E d'autre part pour implanter les vannes
- profondeur suffisante entre A et B pour que les travaux de dérochement nécessaires pour implanter les turbines ne coûtent pas trop chers (cette contrainte n'existera pas si on peut d'une manière ou d'une autre l'inclure dans le prix unitaire de la digue).

#### 4.32 1 bassin à la cote - 1 bassin au large

Un des deux bassins, le bassin haut probablement, s'appuie sur la côte. Il est limité par une digue AB. Le bassin bas est au large et s'appuie sur une portion CE de la digue précédente. (Voir page suivante).

On cherchera d'abord les digues AB englobant la surface demandée pour le bassin haut. On pourra donc avoir plusieurs points de départ possibles A, A' et pour chaque point de départ plusieurs angles possibles

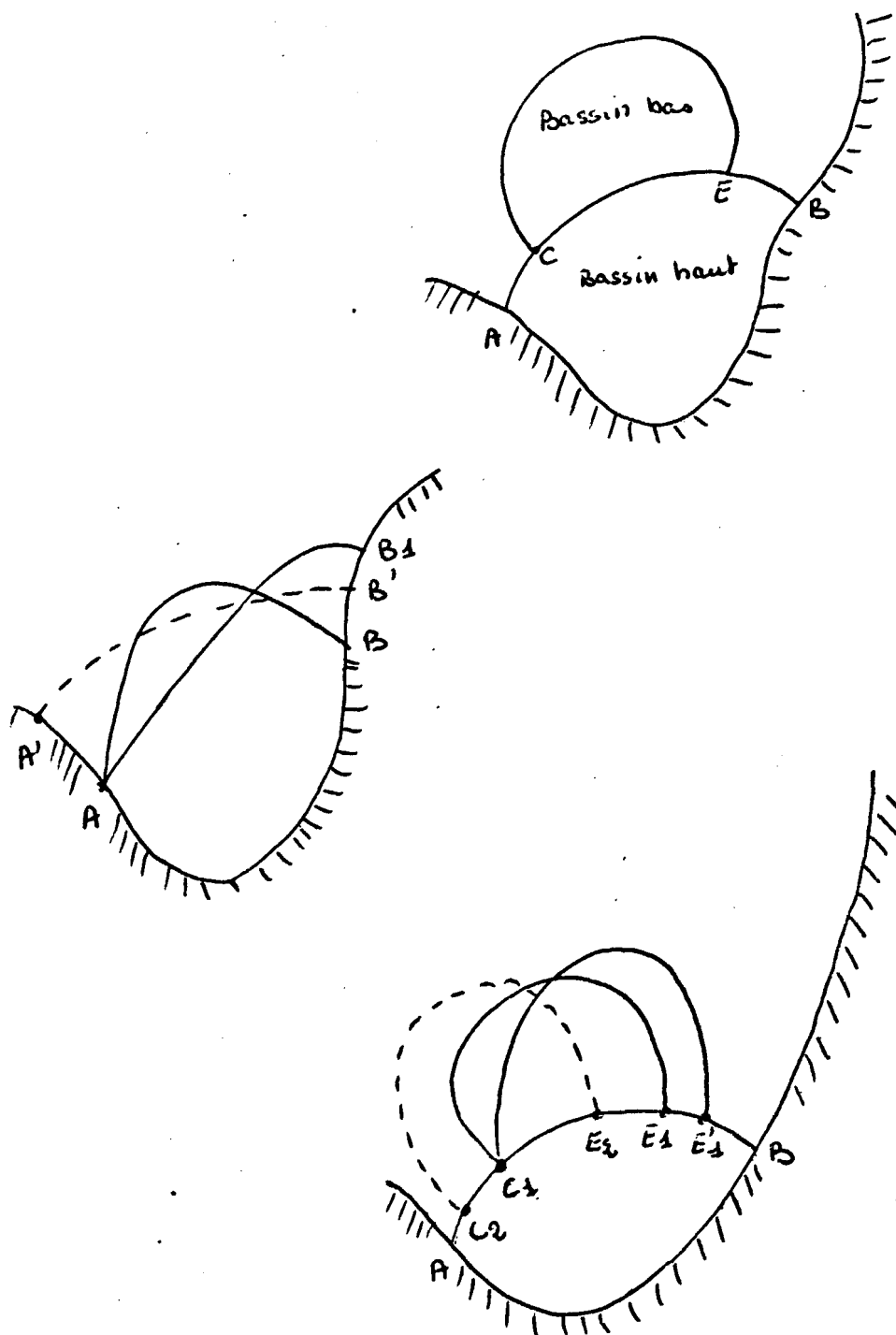
On fera varier le paramètre  $\lambda$  et on ne retiendra que les digues correspondant à la surface voulue.

On aura donc un certain nombre de digues AB, AB<sub>1</sub>, A'B' ...

On choisira alors sur chacune des digues précédentes un certain nombre de points C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> ...

On fera pour chacun de ces points de départ quelques essais d'angle de départ et on ne retiendra que les digues correspondant à la surface cherchée pour le bassin bas soit C<sub>1</sub>E<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>E'<sub>1</sub> ... C<sub>2</sub>E<sub>2</sub> ...





Parmi tous les résultats obtenus on choisira celui de coût minimum compte tenu là aussi d'un certain nombre de contraintes telles que :

- distance suffisante entre C et E pour implanter les turbines entre le bassin haut et le bassin bas.
- distance suffisante soit entre A et C, soit entre B et E pour implanter les vannes du bassin haut.

On éliminera éventuellement les digues qui correspondraient à une arrivée (point E) située sur la côte.

Compte tenu de la variété des situations rencontrées et de la forme plus ou moins irrégulière que peut prendre la fonction prix unitaire de digues selon les lieux choisis, il nous a semblé très prématurée de mettre dans un seul et même algorithme les diverses logiques ci-dessus.

On se bornera donc pour l'instant à utiliser le programme pour tracer l'extrémale pour un ensemble de valeurs des paramètres  $(M_0, \alpha_0, \lambda)$ . Ce tracé étant extrêmement rapide (de l'ordre de la seconde) un grand nombre de possibilités peut être examiné, le choix restant in fine entre les mains de l'ingénieur qui pourra faire intervenir toute considération plus ou moins particulière ou imprévue qu'il serait fastidieux de rentrer dans une logique unique ordinateur.

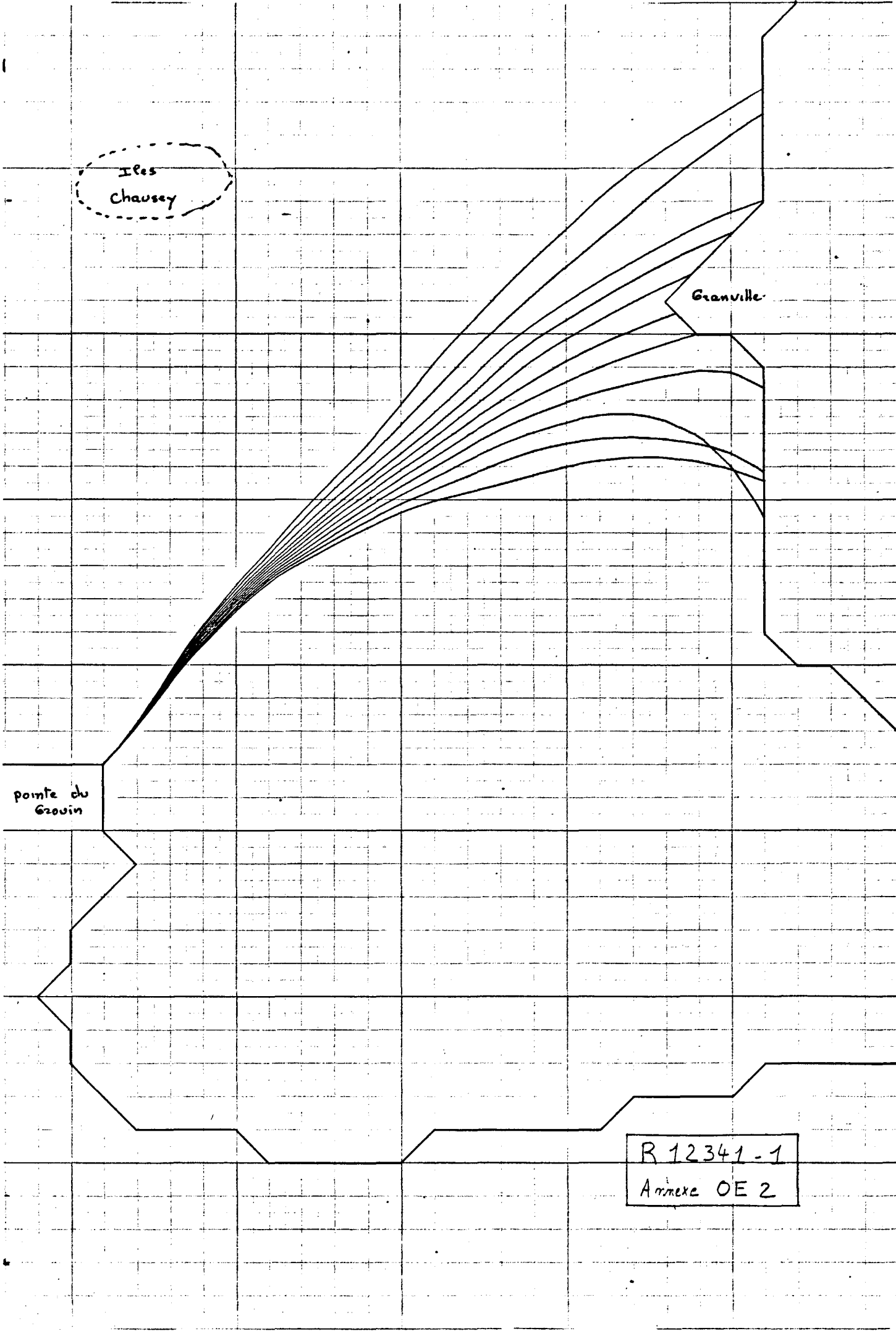
oOo

Iles  
Chausey

Granville

pointe du  
Grouin

R 12341-1  
Annexe OE 2



Avril 75

## Annexe OE 3

MAREMOTRICE DES "ILES CHAUSEY"

Quelques considérations générales  
et préévaluation sommaire des digues mortes

J. RUEFF

1. Fixer des ordres de grandeurs. On raisonne sur 3 tailles d'aménagement dont les limites ont été fixées plus ou moins arbitrairement par T.d.F. Les aménagements correspondants sont désignés par solutions mini, moyenne et maxi.
2. La longueur approximative de la fermeture (y compris l'espace occupé par la centrale et le bloc vannage) et l'ordre de grandeur des surfaces de bassin sont les suivants :

| Taille                            | mini | moy. | maxi |
|-----------------------------------|------|------|------|
| Développement total (km)          | 24,5 | 30   | 67   |
| Surface bassin (km <sup>2</sup> ) | 400  | 560  | 1400 |

A titre indicatif la surface de bassin de la Rance est de 22 km<sup>2</sup>.

3. Pour avoir un ordre de grandeur de la longueur totale des digues courantes et des profondeurs atteintes je pars des hypothèses arbitraires suivantes :
  - a - Groupes  $\beta = 8$  m (Rance  $\beta = 5,35$ ) = Entr'axe 20 m = Niveau de fondation 19,5 à 20 m hydro
  - b - Mode d'exploitation, niveaux de fonctionnement (extérieurs et intérieurs) et taille individuelle des vannes, identiques à ceux de la Rance, soit vannes de 15 m x 10 m dans des blocs de 21 m.
  - c - Demande de puissance et d'énergie non limités.

Le nombre de groupes et de vannes est alors fixé par le volume des bassins, c'est-à-dire en première approximation par leur surface.

En similitude on a pour chaque groupe :

$$Q_{\text{Chausey}} = \left(\frac{8}{5,35}\right)^2 Q_{\text{Rance}} = 2,23 Q_{\text{Rance}}$$

Débit de chaque vanne identique à Chausey et la Rance.

## 4. Sur ces bases on a :

| Aménagement                  | mini | moyen | maxi |
|------------------------------|------|-------|------|
| Nombre de groupes            | 196  | 275   | 685  |
| Longueur centrale (km)       | 4    | 5,7   | 14   |
| Nombre de vannes             | 109  | 153   | 382  |
| Longueur bloc vannes (km)    | 2,3  | 3,3   | 8    |
| Total centrale + vannes (km) | 6,3  | 9     | 22   |

(valeurs obtenues en partant 24 groupes + 6 vannes à la Rance)

## 5. Profil Type des digues courantes

On a pris pour base :

|                                   |                              |
|-----------------------------------|------------------------------|
| Cote du couronnement              | 20 m au dessus du zéro hydro |
| Largeur couronnement              | 8 m                          |
| Fruit côté large                  | 2/1                          |
| Fruit entre couronnement et route | 2/1                          |
| Cote de la route                  | 17,5 m                       |
| Largeur plateforme route          | 20 m                         |
| Fruit côté bassin                 | 3/1                          |

(Protection en gros blocs disons 6 - 10 T entre 20 au dessus et 6 en dessous du zéro hydro sur 5 m d'épaisseur côté large - Protection plus légère en dessous et côté bassin).

## 6. Surfaces des sections droites des digues courantes

| Cote du fond (hydro.)     | 0    | 5    | 10   | 12   | 12,5 | 13,5 | 15   | 16   | 17   | 17,5 | 20   |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Surface (m <sup>2</sup> ) | 1463 | 2153 | 2968 | 3329 | 3422 | 3613 | 3908 | 4111 | 4319 | 4425 | 4973 |

## 7. Volume des endiguements courants

Base carte hydrographique au 1/117300. On a admis que le bloc centrale était placé dans la zone de plus grande profondeur. Les surfaces moyennes sont calculées par la formule du tonneau, elles diffèrent peu de la surface à la profondeur moyenne.

## a. Aménagement mini

|                                   |      |       |      |      |
|-----------------------------------|------|-------|------|------|
| cote du fond                      | 0-10 | 12-15 | 5    | 0-5  |
| section moyenne (m <sup>2</sup> ) | 2174 | 3615  | 2153 | 1702 |
| longueur (m)                      | 4350 | 6350  | 3180 | 3300 |

volume d'endiguement courant 44,81 millions de m<sup>3</sup> pour une longueur de 18,2 km env.

## b. Aménagement moyen

|                                |      |      |       |       |        |      |
|--------------------------------|------|------|-------|-------|--------|------|
| cote du fond                   | 0-10 | 10   | 10-20 | 15-17 | faible | 2    |
| section moy. (m <sup>2</sup> ) | 2174 | 2968 | 3929  | 4112  | 1800   | 1724 |
| longueur (m)                   | 1762 | 705  | 2470  | 8230  | 2350   | 6700 |

volume d'endiguement courant 65,25 millions de m<sup>3</sup> pour une longueur de 21 km env.

## c. Aménagement maxi

|                                |      |       |       |      |       |      |        |
|--------------------------------|------|-------|-------|------|-------|------|--------|
| cote du fond                   | 0-10 | 10-15 | 15-20 | 20   | 10-20 | 15   | 10     |
| section moy. (m <sup>2</sup> ) | 2174 | 3428  | 4430  | 4973 | 3929  | 3908 | 2968   |
| longueur (m)                   | 1530 | 1760  | 3530  | 4710 | 4710  | 8940 | 3880   |
|                                |      | +9060 |       |      |       |      | + 6940 |

volume d'endiguement courant 165,04 millions de m<sup>3</sup> pour une longueur de 45 km env.

d. A titre indicatif le volume de matériaux meubles du barrage de Serre-Ponçon ou du Mont-Cenis est de 14 millions de m<sup>3</sup> env.

8. Au vu des quantités énormes de matériaux nécessaires, on peut dire que le problème essentiel ne doit pas résider dans les prix de l'endiguement courant (qui, si les matériaux existent en quantité suffisante à une distance raisonnable, seront très loin de constituer la part la plus importante de l'investissement total) mais concerne plus spécialement la disponibilité des matériaux de construction.
9. La disponibilité de sables ne doit pas poser de problèmes spéciaux si l'on peut compter sur une épaisseur moyenne de 5 m de matériaux de qualité suffisante. Les besoins pour le profil considéré correspondent à une bande de 250 à 300 m en moyenne.
10. Il risque de ne pas en être de même pour les enrochements. Il faut en effet de l'ordre de 300 m<sup>3</sup>/m d'enrochements 6-10<sup>T</sup>, soit environ :

|  |                |
|--|----------------|
| 5,5 millions de m <sup>3</sup> net pour la solution mini |                |
| 6,5  | - - - - - moy. |
| 13,5   | - - - - - maxi |

et pour les enrochements de calibre plus modeste et le tout venant de carrière :

|   |                |
|---|----------------|
| 25 millions de m <sup>3</sup> pour la solution mini |                |
| 40  | - - - - - moy. |
| 100   | - - - - - maxi |

(Ces quantités ne comprennent pas celles nécessaires aux blocs usine et vannes).

Le problème est de trouver à distance raisonnable les quantités de matériaux dans la qualité voulue, c'est-à-dire des matériaux suffisamment denses et durs, la région ne semblant pas à priori très favorable de ce point de vue.

11. Remarquons qu'il ne s'agit pas pour le moment de faire le projet mais d'obtenir des ordres de grandeur et de recenser les problèmes.

Le projet pourra toujours être adapté aux matériaux disponibles qu'il y aura lieu de reconnaître en temps opportun (Matériaux de surface et sous-marins).

Dans l'intervalle, le profil considéré doit constituer une base raisonnable pour des estimations préliminaires. C'est donc cette base que nous retenons pour le moment.

12. Le coût moyen, hors taxes, tout compris de l'endiguement courant peut être estimé à 40 F/m<sup>3</sup>.

Ainsi, à titre indicatif, l'ordre de grandeur du coût de l'endiguement courant ressortirait à :

1800 MF pour la sol. mini

2600 MF pour la sol. moy.

6600 MF pour la sol. maxi

---  
Juin 75

## Annexe OE 4

## MAREMOTRICE des "ILES CHAUSEY"

Aspects Génie Civil et considérations  
relatives aux Procédés de ConstructionJ. DELAUZUN  
J. RUEFF

1. Les digues de fermeture diffèrent d'un classique brise lame de port sur les points suivants :
  - . on veut créer une retenue. Une pression hydrostatique importante agit donc en quasi permanence sur l'endiguement, alors qu'un brise lame serait seulement soumis à l'effet hydrodynamique des houles.
  - . Les longueurs d'endiguement sont considérables.
2. Le comportement des digues se rapprocherait plutôt de celui d'un barrage soumis côté mer à l'effet des houles longues du large (1) Mais cependant des différences importantes existent parce que :
  - . bien qu'existant, le problème d'étanchéité (aspect pertes d'eau) est moins aigu; des "pertes" relativement importantes peuvent rester négligeables vis-à-vis des volumes d'eau mis en jeu par les cycles de fonctionnement. Du point de vue des possibilités de renard et effet des "vidanges rapides" (fondations et parties en matériaux meubles), les problèmes d'étanchéité et surtout de gradation des perméabilités gardent leur importance.
  - . les niveaux statiques côté bassin (s) et mer peuvent à certains moments être inversés.
  - . dans les zones les plus profondes, il s'exerce sur la face "aval" une contre-poussée sur une hauteur de l'ordre de la moitié de la hauteur du barrage.
  - . l'endiguement pendant sa construction (et son exploitation) est soumis aux aléas de tout ouvrage maritime, soumis de plus à des marées très importantes.

---

Note (1) Côté bassin, les houles seront plus semblables à celles agissant normalement sur un barrage, mais leur amplitude pourra être plus importante (amortissement moindre, etc...)



3. Compte tenu des remarques ci-dessus, le choix du type d'endigement, pour être optimum, sera déterminé par :
- a - les matériaux disponibles au plus faible coût
  - b - les conditions de fondation
  - c - l'équipement disponible pour la construction
  - d - le comportement de la mer dans les différentes zones de construction.

Il faut bien s'entendre sur la signification du point c; il ne s'agit pas de disponibilité matérielle chez un entrepreneur donné comme ce serait le cas pour un petit chantier, mais plutôt de maturité technique. L'importance des travaux que requièrerait le projet Chausey justifie en effet par elle-même l'achat ou l'étude et la fabrication de l'équipement spécial nécessaire à la construction d'un projet économique parce que bien adapté aux conditions locales.

4. On peut distinguer deux grandes classes de digues :
- a - les digues en matériaux sans cohésion, enrochements et sable
  - b - les digues constituées par des ouvrages en béton (remplis ou non de matériaux meubles), plus des sous-classes qui combinent les 2 classes principales.

En fait, compte tenu des profondeurs de fondation très variables (quelques tronçons fondés au-dessus des plus hautes mers; d'autres entre le niveau des plus hautes mers et le zéro; la plupart fondés sous le zéro hydrographique par des fonds pouvant atteindre la cote 20 hydrographique), il semble certain que l'on devrait utiliser plusieurs sections types de digue et implanter chaque section type dans la zone où elle se révèle être la plus économique sur la base des facteurs énumérés en 3 a, b, c, d

5. Construction d'une digue en matériaux sans cohésion

Dans notre note JRF du 3.4.75 nous nous posons des questions relatives à la disponibilité de matériaux. Un examen complémentaire de cette question montre que l'on trouvera vers Cancale et à l'ouest d'une part et vers Granville d'autre part, des enrochements d'excellente qualité. Il est cependant à craindre que dans leur ensemble les blocs que l'on pourra extraire des carrières ne dépassent guère un poids individuel de quelques 300 kg. Des études détaillées et essais de carrières

seraient nécessaires pour examiner la possibilité d'obtenir en grande quantité des blocs de 6-10 T.

Dans la mesure où la disponibilité de matériaux ne pose pas de problèmes spécialement aigus, l'économie de la construction d'une digue souple en mer est liée avant tout aux moyens de transport et de mise en place : transports adaptés à la taille de l'ouvrage, mise en place permettant dans la mesure du possible de s'affranchi des aléas des constructions maritimes.

**a - Problème du transport des matériaux des lieux d'extraction au site**

Vu les volumes importants de matériaux à transporter, la situation de la carrière de matériaux rocheux est très importante eu égard aux délais de construction et aux routes d'accès. Actuellement, des dumpers de 110 T de charge utile sont disponibles sur le marché mais il est impensable de les utiliser sur des chaussées normales, même renforcées; d'un autre côté si on se limite à des dumpers de 20 T avec une carrière éloignée de plusieurs km, on risque de se trouver avec une flotte très importante de dumpers posant des problèmes d'exploitation et conduisant à des coûts plus élevés.

Dans cette alternative l'utilisation de très gros dumpers semble raisonnable et possible en construisant des pistes.

Même si l'on utilise la voie maritime il faudra transporter le matériaux rocheux jusqu'au point de chargement; dans ce dernier cas on pourrait utiliser des bandes transporteuses de grande largeur et à gros débit. Le développement des performances de ce type d'équipement au cours des dernières années justifie d'ailleurs d'examiner son utilisation en concurrence ou en association avec d'autres modes de transport, même si la voie maritime n'est pas utilisée. Ce point sera repris plus loin au sujet de la mise en place. La bande transporteuse de grande largeur et à grand débit a été utilisée dans la construction d grands barrages en enrochements.

En ce qui concerne les sables, l'augmentation de la puissance des dragues suceuses et l'augmentation de profondeur de dragage que celles-ci permettent (35 m n'est plus exceptionnel) devrait permettre de trouver sans difficulté les zones d'emprunt souhaitable.

**b - Problème de mise en place des matériaux rocheux et sableux.**

Pour assurer l'étanchéité requise, une digue en matériaux sans cohésion devra présenter des talus en enrochement et noyaux plus ou moins épais en sable. Cette nécessité compliquera la construction car il faudra prévoir des filtres aux contacts sable-enrochement. Il est en effet très peu probable que le gradient hydraulique eu égard à la granulométrie des sables permette de se passer de filtres.

Les pentes des talus, la forme, en un mot la conception de la digue résulteront à la fois d'une étude de la stabilité d'ensemble de l'ouvrage et d'une étude de la stabilité locale des talus soumis aux effets dynamiques des vagues.

Tant que les digues sont construites par faibles profondeurs il est possible de donner aux talus les pentes recherchées en opérant par déversement à l'avancement, mais dès que l'on dépasse quelques mètres de profondeur les matériaux se disposent suivant la pente naturelle,  $\# 1.3/1$  pour des enrochements, et il n'est plus possible d'opérer avec des dumpers; on devra alors utiliser des barges à déversement par le fond ou latéral et des bandes transporteuses.

L'utilisation de barges de grandes capacités, 2 à 3000 T, équipées de 2 moteurs, peut se concevoir si l'état de la mer le permet. Dans tous les cas il faut combiner l'utilisation des barges avec celle des bandes transporteuses ou des dumpers, à cause de l'impossibilité d'utiliser les barges par des fonds inférieurs à 4 m. Les progrès enregistrés dans la technique des bandes transporteuses pourraient permettre une liaison directe entre les lieux d'extraction et le site; suivant le profil en long imposé aux bandes et la granulométrie des enrochements utilisés fonction de l'état de la mer, des cadences de 1500 à 2000 m<sup>3</sup>/heures pourraient être aisément obtenues (8000 m<sup>3</sup>/h ont été régulièrement atteints pour du sable).

Reste le problème de la distribution des enrochements sur le site. Une méthode qui pourrait être utilisée serait la suivante  
La construction des digues en enrochements progresse à l'avancement avec des barges jusqu'à la cote hydro 5 m ou même une altitude supérieure si l'expérience montre que c'est possible et que les massifs ne sont pas dérangés par l'agitation de la mer.

La partie comprise entre 5 hydro et le couronnement serait effectuée à l'aide de bandes transporteuses. A cet effet on aurait disposé sur le tracé des digues une série de pieux forés de gros diamètres  $\emptyset 2,5$  m environ qui supporteraient la charpente des bandes transporteuses montée à l'avancement. Entre les pieux, les bandes transporteuses seraient raccordées à une plateforme auto-élevatrice qui assurerait la distribution des matériaux. L'utilisation de plateforme auto-élevatrice rendrait le chantier indépendant des fluctuations de la marée et de l'état de la mer.

Quand les digues seraient hors d'eau le travail pourrait se continuer avec des dumpers jusqu'à la cote requise. Le sable serait mis en place par remblayage hydraulique à l'avancement entre les massifs d'enrochement.

## 5. Construction d'une digue mixte Béton-enrochement

Il se peut qu'une solution économique à partir d'une certaine profondeur, consiste à mettre en place un massif en enrochement et sable jusqu'à un niveau à déterminer au-dessus duquel seraient mis en place des caissons préfabriqués, béton armé ou précontraint.

Le problème avec cette solution serait le réglage économique et précis du massif en enrochements. Pour obtenir un réglage précis il faut se mettre à l'abri des mouvements de la mer; on peut concevoir une plateforme auto-élévatrice équipée d'une drague à godets qui ferait le réglage et une autre plateforme assurerait la mise en place des caissons. Le travail pourrait se faire comme suit :

- . mise en place du massif en enrochement à l'aide de barges
- . réglage du massif à l'aide d'une plateforme auto élévatrice équipée d'une drague à godets.
- . les caissons préfabriqués à terre seraient mis en place à l'aide d'une plateforme auto élévatrice spécialement équipée à cet effet. Ils seraient ensuite remplis de sable par remblayage hydraulique.

## 6. Construction d'une digue en béton

Une partie en béton est certainement indispensable, ne serait-ce que pour les blocs vannes et usine.

La solution pourrait se concevoir comme suit :

- . Exécution de pieux forés à l'aide d'une machine montée sur une plateforme auto élévatrice.
- . Les pieux seraient ensuite recépés sous l'eau à la cote adéquate pour servir d'appui aux caissons qui seraient mis en place comme dit plus haut.
- . On procéderait ensuite avec du sable ou du béton, selon le cas, au remplissage de l'espace entre le fond du caisson et la fondation. Le massif ainsi constitué, s'il est de sable, serait ensuite protégé par des filtres et des enrochements pour le soustraire aux effets de renard.

## 7. Conclusions

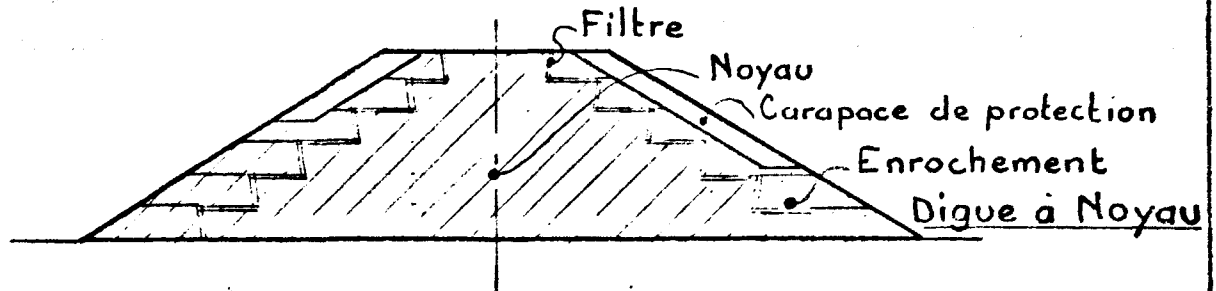
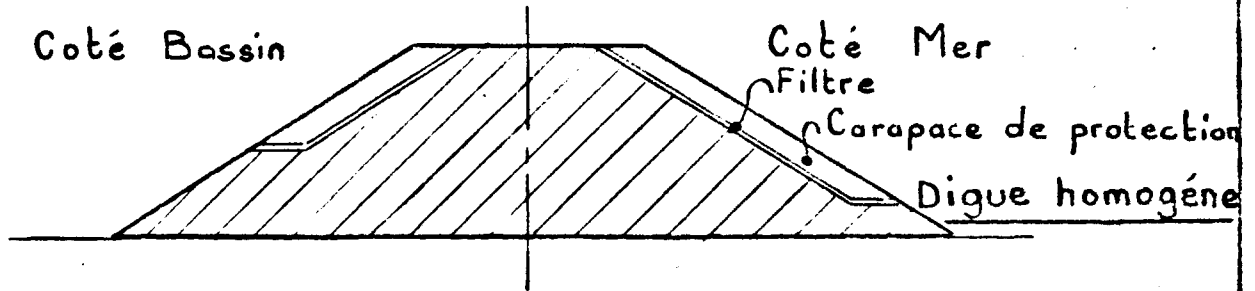
Nous avons essayé de passer en revue quelques types de digues et les moyens de construction y afférent. Les équipements les plus intéressants, qui ont progressé le plus ces dernières années et qui sont donc susceptibles de diminuer les coûts concurrents principalement :

- . les dumpers à très grande capacité (qui nécessitent la construction de pistes spéciales)
- . les bandes transporteuses à grande largeur et grand débit qui concurrencent efficacement les dumpers quand de grand volumes

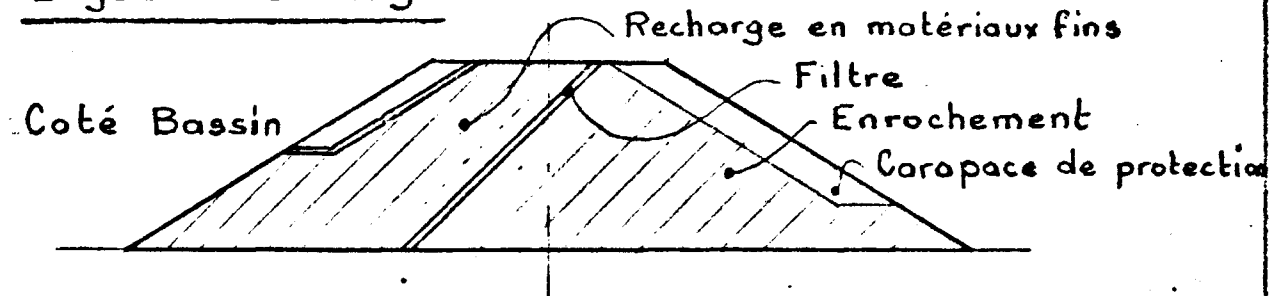
d'enrochements sont à distribuer et qui permettent une distribution plus adéquate des matériaux.

- Les plateformes auto-élévatrices qui permettent d'être moins assujetti aux contingences et aléas dûs à la mer pour des travaux comme :
  - exécution de pieux forés en gros diamètre
  - mise en place d'enrochements
  - mise en place de caissons préfabriqués.

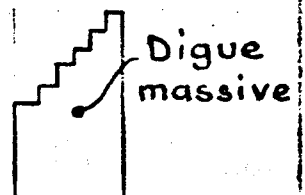
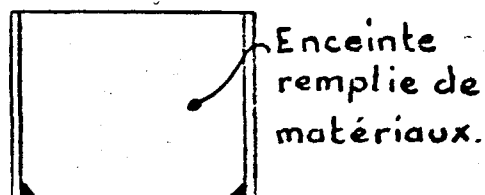
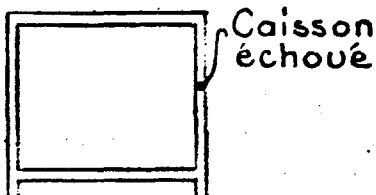
# DIGUE EN MATERIAUX SANS COHESION



## Digue à recharge

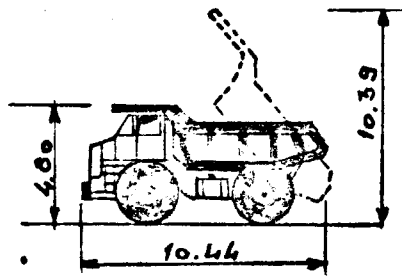


## Digues en béton

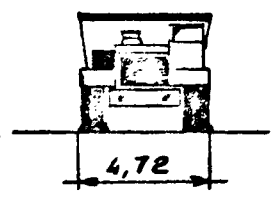


R 12341 - 1 Annexe OE 4 FIG 1

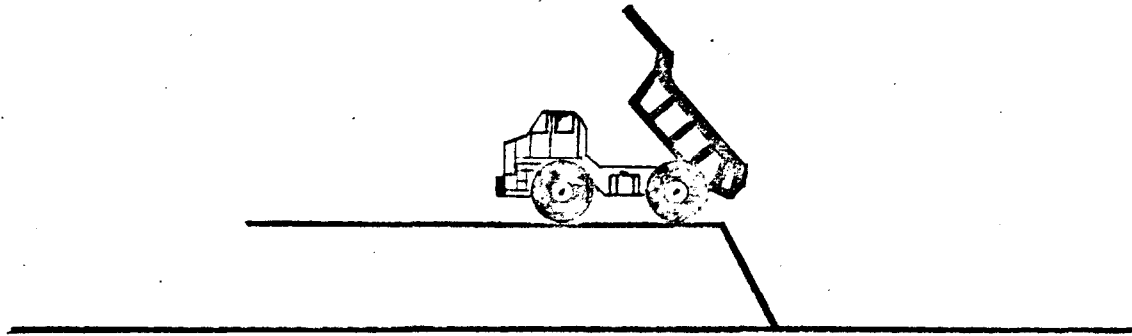
DUMPER DE 110<sup>T</sup> DE CHARGE UTILE



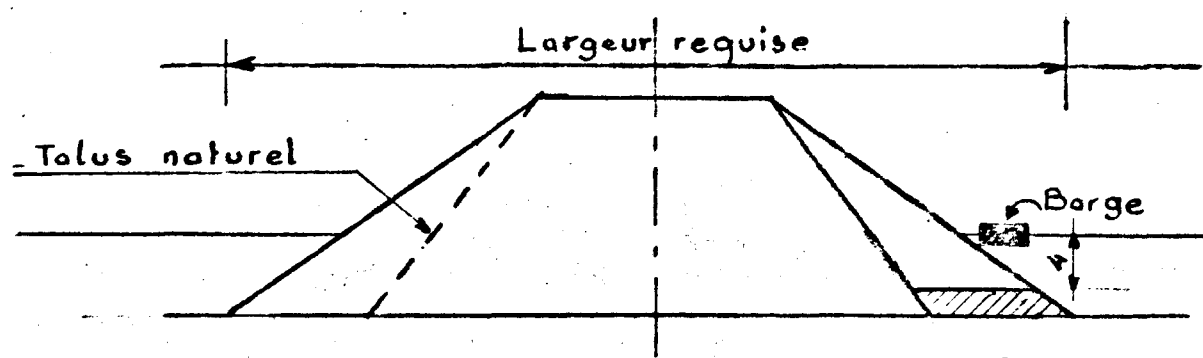
Nota: le catalogue  
EUCRID monte  
même jusqu'à 210<sup>T</sup>  
de charge utile.



DUMPER CONSTRUISANT A L'AVANCEMENT

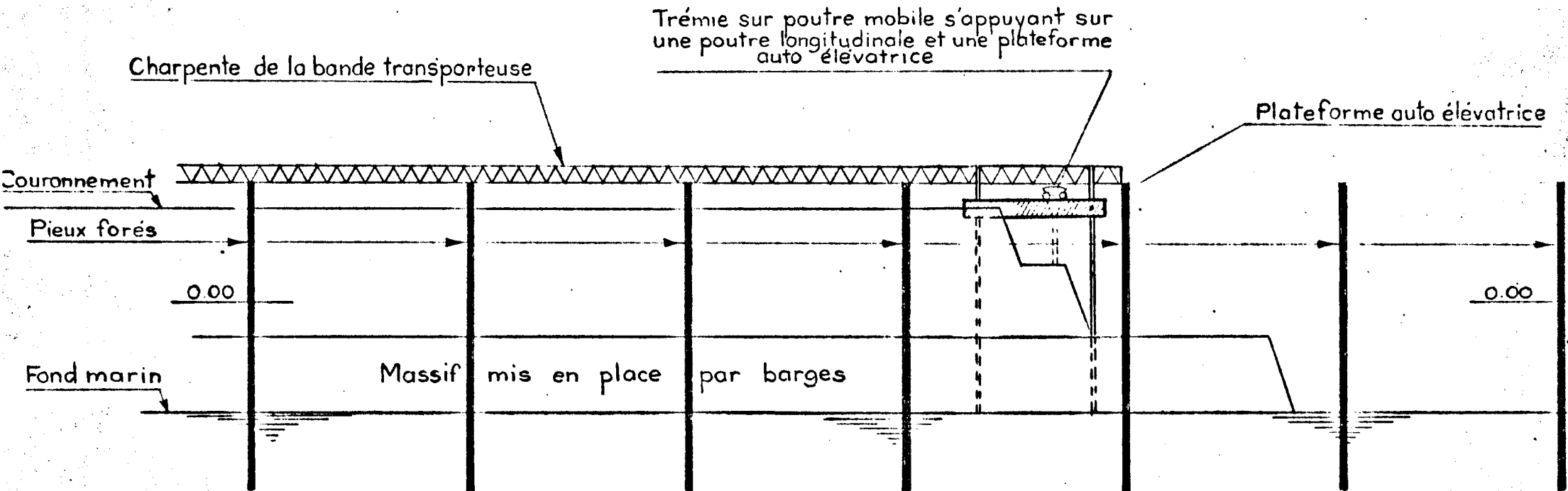


MISE EN PLACE PAR BARGE



R 12341-1 Annexe OE4 FIG 2

# CONSTRUCTION D'UN ENDIGUEMENT PAR BARGES PUIS BANDE TRANSPORTEUSE



Nota : Des solutions analogues sans pieux peuvent être envisagées en s'appuyant sur deux plateformes par exemple.



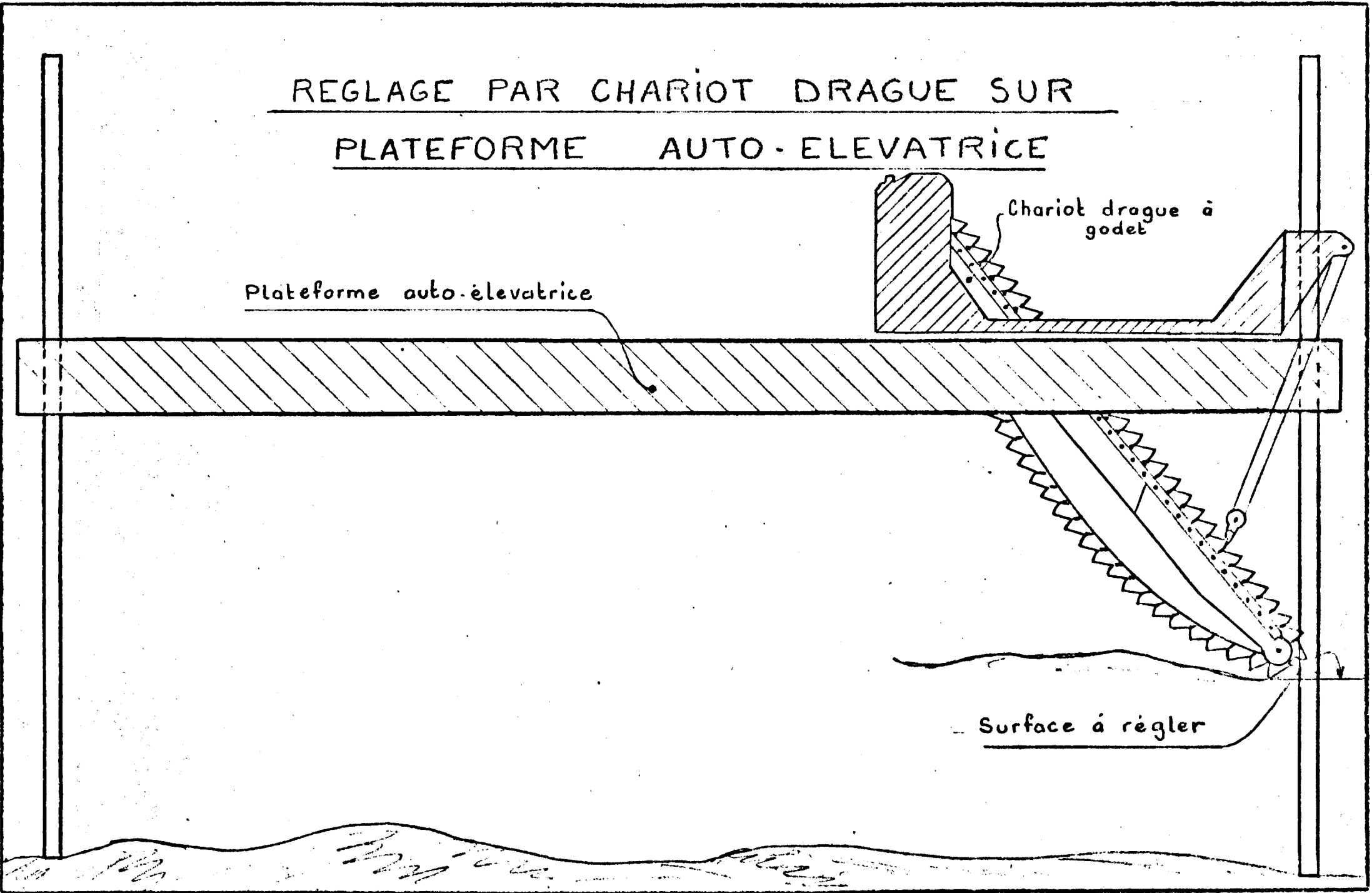
R 12341-1 Annexe OE 4 . FIG 4

REGLAGE PAR CHARIOT DRAGUE SUR  
PLATEFORME AUTO-ELEVATRICE

Plateforme auto-élevatrice

Chariot drague à godet

Surface à régler



---  
Juillet 75

## Annexe OE 5

-

## MAREMOTRICE DES "ILES CHAUSEY"

---

Quelques moyens évidents de minimiser  
le coût des ouvrages

J. RUEFF

Un moyen très général consiste à adapter au mieux les engins de construction à la nature et à la "quantité" des ouvrages à établir et réciproquement. Bien que très important ce moyen ne saurait se préciser sans entrer dans le détail du projet, aussi ne le classerai-je pas dans les moyens évidents. Nous retiendrons cependant :

Principe n° 1 - Profitons de l'effet de série.

Principe n° 2 - Une digue morte doit coûter moins cher qu'une digue vive (blocs usine, blocs vannes, etc...) à longueur et profondeur égales naturellement. Ceci ne préjuge pas que la digue morte soit ou non en béton; cela veut seulement dire que les sujétions pour une digue morte étant moindres que pour une digue vive il est possible de concevoir un génie civil nettement moins cher.

Principe n° 2bis - La partie courante d'une digue morte est soumise à des "contraintes" moindres que la partie fermeture. Pour une digue morte importante il est justifié de prévoir un profil courant (ou des profils courants) très différents du profil de la zone de "coupure".

Application: L'application du principe n° 2 conduit à réduire autant que possible l'importance des digues vives; pour cela à éliminer (en combinant des fonctions) des digues vives non strictement indispensables. (Par exemple, concentrer les équipements électriques sur les blocs usines qui eux sont strictement indispensables).

Dans cette combinaison de fonction, tentons de retrouver l'équivalent des dispositions classiques : les groupes aussi rapprochés que le permet une exploitation correcte; les transfo, sur lesquels débitent plusieurs groupes, aussi rapprochés que possible de ces groupes; le poste de départ très près même si cela conduit à surélever certains blocs (compte tenu de l'importance du marnage et de l'éloignement de la côte, il n'y a pas de contre indication à cela).

Principe n° 3 - Les ouvrages les mieux adaptés à un type donné de marémotrice ne sont pas nécessairement les mieux adaptés à un autre, et ceci d'autant plus que le "poids" relatif des différents ouvrages peut varier considérablement avec le type de marémotrice.

Application : En bassin unique ou pour le bassin bas d'une marémotrice à bassins conjugués, il faut se protéger des hautes mers de coefficient 120 (et des houles correspondantes). En bassins conjugués on peut envisager d'araser en dessous du niveau des plus hautes mers la digue séparant le bassin haut de la mer. La perte d'énergie qui en résulte est négligeable, l'accessibilité à la centrale est garantie par ailleurs et le coût des protections de la digue submersible peut être très inférieur au gain dû à la diminution de hauteur (étude à entreprendre sur ce point).

Autre application : Tout d'abord comme l'indique le principe n°2, dans une solution bassin unique "double" effet l'économie consistera à faire remplir la fonction "orifice" tout d'abord, par les turbines, et à ne prévoir des vannes que pour le complément; ainsi ces vannes sont nécessairement des vannes de fond à double étanchéité, double sens d'écoulement.

Cependant comme l'indique le principe n° 3 ce type de vanne n'est pas le mieux adapté pour le bassin haut d'une solution à bassins conjugués. D'une part, les vannes du bassin haut doivent admettre la totalité du débit désiré, et non une partie seulement. Ainsi à caractéristiques égales leur "poids" serait beaucoup plus grand que dans la solution bassin unique.

Les vannes les mieux adaptées pour le bassin haut, en solution bassins conjugués, sont les vannes secteurs de surface, admettant uniquement dans le sens mer bassin et n'étanchant que dans le sens contraire.

Un génie civil adapté à ce type de vanne doit permettre une économie considérable par rapport au génie civil de vannes à tout faire, que les blocs vannes puissent ou non être fondés sur des hauts fonds (des études hydrauliques devraient être entreprises pour répondre à cette question et considérer les pertes de charge et les courants induits) et que ces blocs soient ou non construits sous forme de caissons flottants préfabriqués à terre.

Ceci nous amène à une généralisation du principe n° 3.

Principe n° 4 - Nonobstant le principe n° 1, les ouvrages et modes de construction les mieux adaptés dans certaines conditions ne sont pas nécessairement les mieux adaptés dans d'autres conditions.

Application : Supposons que la préfabrication sous forme de caissons flottants équipés, sur l'aire de préfabrication, des pièces métalliques scellées au béton soit la meilleure solution pour les blocs-usine (fondés à grande profondeur, devant recevoir de nombreuses pièces noyées dans le béton avec précision etc..) il se peut (mais n'est pas certain) que la construction en place soit la solution la meilleure pour des blocs vannes de surface, plus simples, et fondés sur des hauts fonds. (Une étude serait à faire sur ce sujet).

Remarquons que si au contraire la solution caisson flottant s'avérait plus avantageuse même dans ce dernier cas, où l'ouvrage se compose essentiellement de piles surmontant un radier, il serait possible d'obturer provisoirement les extrémités amont et aval (par des portes récupérables) pour constituer provisoirement un caisson.

Autre application : Il n'est généralement pas avantageux de construire un marteau pilon pour tuer une mouche; il peut même ne pas être avantageux de l'utiliser même si on le possède de toute façon.

Principe n° 5 - A "égalité" de coût, la solution qui permet la réalisation la plus rapide est la meilleure.

### CONCLUSION

Nous pourrions multiplier les principes et les applications à l'infini, nous ne le ferons pas et nous concluons simplement que le coût d'un aménagement de taille exceptionnelle et de caractéristiques inhabituelles tel que le projet "Chausey" peut être considérablement diminué par le choix de solutions (conception et construction) parfaitement adaptées au problème considéré. Les caractéristiques inhabituelles font que les solutions bien adaptées ne peuvent être obtenues qu'en remontant aux bases mêmes des problèmes. Ceci nécessite des réflexions, des études de détail et des confrontations faute desquelles on ne saurait statuer sur la factibilité d'un aménagement de cette taille.

## Annexe OE 6

RESSOURCES EN AGREGATS MARINS

P. OZANNE

I - POSITION DU PROBLEME

Pour construire un ouvrage de cette importance, la quantité et la qualité de matériaux nécessaires dépend très largement de la technique envisagée et de l'importance relative des caissons par rapport aux digues, mais de toutes façons les besoins sont colossaux : les seuls ouvrages de génie civil (usine et pertuis) peuvent représenter 10 à 20.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> de béton, la cubature des digues mortes en enrochements ou en sable peut difficilement être estimée à moins de 100.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, et s'ajoutent à cela les matériaux de construction des infrastructures annexes associées plus ou moins directement au projet (Usines de préfabrication, port, routes d'accès, etc...). Même en tenant compte du réemploi des fouilles et des matériaux des batardeaux, le déficit en matériaux de qualité (sable propre, graviers, etc...) dépasserait donc 100 millions de tonnes (ordre de grandeur de la moitié du volume total de matériaux) ; cette estimation pouvant être très en deçà de la réalité si l'on a recours à la technique des grandes digues en sable, ou si l'on augmente la surface de bassin par rapport aux hypothèses communément admises\*.

Face à ces besoins, les carrières possibles en site terrestre ne sont pas très nombreuses, et à supposer que leur puissance soit suffisante, leur exploitation reviendrait à raser une ou deux collines (CAROLLES, Cap FREHEL...) et ne manquerait pas de poser des problèmes d'environnement.

./.

---

A titre de comparaison : le trafic total du Port du Havre (marchandises entrées et sorties, y compris hydrocarbures) a été de 84 millions de tonnes pour l'année 1974, et la consommation annuelle de sables et graviers en France est de l'ordre de 200 millions de tonnes.

Par contre, on a toutes raisons de penser que l'extraction de tout-venants marins, parfaitement réalisables, pourrait constituer beaucoup plus qu'un appoint : elle serait à même de fournir la majeure partie des granulats pour béton et des matériaux de corps de remblai, les carrières terrestres étant alors réservées à la fourniture relativement plus limitée de blocs pour enrochements. Il s'agit là d'un aspect nouveau du projet, que l'on peut envisager grâce à des études récentes réalisées par le CNEOX, et qui n'avait pas pu être pris en compte auparavant.

## II - APERÇU DES RESSOURCES DISPONIBLES

Deux grandes zones sont à considérer :

- Dans la Baie du Mont St Michel, les reconnaissances effectuées à ce jour ont déjà permis de relever des indices très positifs. Elles demandent cependant à être complétées pour avoir une idée suffisamment précise de la qualité et de la puissance des gites dont l'exploitation est envisageable. Le point le plus positif est la présence d'une terrasse fluviatile (55 % de graviers et galets, 45 % de sable selon l'indication des premiers sondages) située au Nord-Est de St Malo par des fonds de - 20 à - 25 mètres, dont tout indique que le volume exploitable est au moins de l'ordre de 150 millions de m<sup>3</sup>. Une campagne complémentaire est nécessaire pour connaître l'extension exacte de ce gisement. Il se peut d'ailleurs que celui-ci ne soit pas le seul à présenter de l'intérêt.

- De toutes manières, la Baie de la Seine offre des ressources suffisamment connues en qualité et en quantité pour qu'on puisse les considérer comme une donnée de base pour le projet. On sait en effet que la vallée de la Seine se prolonge en Manche par des "remplissages" sous-marins d'alluvions tout à fait analogues à celles de la partie terrestre du lit de la Seine. Le potentiel de réserves est évidemment considérable. L'exploitation, facile au voisinage du Havre, pourrait aussi s'envisager au large du Cap de la Hague ; les distances de transport du lieu de production jusqu'aux îles CHAUSEY paraissent a priori compatibles avec l'économie du projet.

./.

### III - EXPLOITATION DES AGREGATS

Le problème technique de l'extraction de granulats marins en grande quantité n'est plus une inconnue en France. L'exploitation de WISSANT (900 000 T en 1974) pour les besoins du port de Dunkerque, et celle de la Baie de Seine (plus d'un million de tonnes en 1974) pour le port du Havre avec la participation scientifique du CNEOX sont suffisamment probantes. L'industrie de l'extraction des matériaux en mer ne demande donc qu'à se développer en France ; peut-être manque-t-il pour cela l'effet d'entraînement que susciterait un très grand chantier ; le barrage des Iles Chausey pourrait jouer ce rôle d'incitation.

En conclusion, l'utilisation de granulats marins pour la construction de l'usine marémotrice aurait pour effets directs ou indirects :

- de favoriser d'une manière générale la construction et l'exploitation en France de grosses dragues dont l'étranger a encore l'exclusivité (HOLLANDE)
- de résoudre pour la construction elle-même un gros problème de déficit en matériaux, quelles que soient les techniques retenues
- d'inciter à étudier sérieusement la technique des grandes digues en sable, qui peut avoir un intérêt économique pour le projet. Si le coût des ouvrages est abaissé, on peut sans doute disposer de plus de liberté pour optimiser le tracé des digues, que ce soit pour des motifs de fondations ou d'action de la houle, ou que ce soit en fonction de considérations sur la surface de bassin liée à la valorisation énergétique de l'aménagement marémoteur.

Ph. OZANNE

Octobre 75

Annexe OE 7

UTILISATION OPERATIONNELLE ACTUELLEDES ANALYSES ET PREVISIONSDES PARAMETRES METEO-OCEANIQUESP.M. VITUREAU  
Y. TREGLOS

Depuis que le travail industriel a acquis droit de cité en pleine mer, l'on ne peut plus se contenter de la vieille notion, bien connue des marins et des marchands depuis des millénaires, de "risque de mer". Il faut le prévoir, ce risque, le circonvenir, le surmonter d'une façon ou d'une autre.

Et la difficulté commence. Il n'aura guère fallu de temps pour se rendre compte qu'il était relativement plus aisé d'envoyer des hommes sur la lune - et de les en faire revenir - que de construire quoi que ce soit d'important en mer tout en assurant de façon raisonnable la sécurité des personnes et des biens.

L'époque est dépassée où la diffusion en temps voulu d'un avis de coup de vent ou de tempête pouvait être considérée comme une garantie suffisante : il est des travaux que l'on ne peut abandonner en quelques heures, d'autres qui demandent des conditions d'environnement aussi durables que contraignantes. De plus en plus, la planification d'une conduite de chantier en mer exige une prédiction météoro-océanique fine, précise et lointaine.

C'est pourquoi un certain nombre d'organismes, publics ou privés, se sont attachés à résoudre ce problème et à mettre au point une méthode de travail susceptible d'apporter les réponses adéquates aux questions posées. Que pouvons-nous dire de l'état de l'art en 1975 ?



- Il faut tout d'abord connaître le site. Cela implique :

- une étude historique des données, s'il en existe, qui ont pu y être récoltées ;
- la détection des "manques" en la matière (les cas les plus fréquents étant à l'heure actuelle l'absence ou la pauvreté des mesures de houle et de vent concomitantes d'une part, de courant d'autre part) ;
- éventuellement (et le plus souvent de préférence) la définition et l'exécution de campagnes de mesures appropriées ;
- l'analyse et la synthèse enfin d'un ensemble complet et cohérent de données.

A ce stade, on doit posséder pour tous les paramètres intéressants un schéma spatio-temporel efficace : on sait comme ils se présentent statistiquement parlant, comme ils évoluent ou risquent d'évoluer, comme ils interfèrent les uns avec les autres. On cherche également à repérer les "points sensibles", à savoir les éléments qu'il convient de surveiller tout particulièrement lors des opérations.

On n'insistera jamais assez sur le fait qu'une telle étude préliminaire est primordiale et qu'elle risque de prendre un temps considérable.

Hormis le fait que l'on est amené le plus souvent à rassembler des données d'origine fort disparate, des campagnes de mesures s'avèrent le plus souvent nécessaires, d'une durée que l'on ne peut modifier traitement sous peine de négliger tel ou tel phénomène : s'il s'agit de marée, la mesure doit comprendre au moins un demi-cycle lunaire, de préférence à l'époque de l'équinoxe ; s'il s'agit de vent et de houle, l'on doit s'assurer que tous les types de temps ont été passés en revue, ce qui conduit en général à faire durer l'expérience un an ; etc...

- Une étape complémentaire de la précédente consiste en l'élaboration de prévisions en temps différé. Elle est souvent négligée, faute de temps (on ne pense à l'environnement qu'au moment de commencer les travaux), mais son utilité est incontestable ; il y a même à penser

qu'elle apparaîtra comme indispensable d'ici quelques années, au même titre exactement qu'aujourd'hui la médecine préventive.

Le but de cette phase est de mettre au point des modèles de prévision, au sens le plus large du terme : il peut s'agir aussi bien de schémas-types d'enchaînement des situations météorologiques que de programmes (au sens de l'informatique) numériques, déterministes ou statistiques permettant de calculer, avec une fiabilité raisonnable, la valeur de différents paramètres au temps  $T + DT$  en fonction de leurs valeurs aux époques  $T$  et précédentes.

Il n'est pas question, pour chaque cas particulier, de refaire le travail confié, par exemple, à la Météorologie Nationale en tant qu'elle assure un service public, c'est-à-dire celui d'analyses et de prévisions portant sur une zone relativement étendue et destinées à l'ensemble de la communauté. Au contraire, on tend à particulariser les caractères spécifiques d'un site précis où rien ne se passe tout à fait de la même façon qu'ailleurs et à fournir une "prestation personnalisée".

L'ampleur que prendra cette étape dépend évidemment de l'importance du chantier et doit lui être proportionnée. Il serait toutefois dangereux de la négliger tout à fait, ne serait-ce que pour entraîner l'équipe de terrain qui assurera, au fur et à mesure des besoins, la protection du site.

C'est en effet ce dernier point qui retient généralement l'attention, parce qu'il est le plus visible, le plus tangible, le plus immédiat. Au moment de prendre une décision, le chef de chantier a besoin de l'information météo-océanique ; il faut qu'il puisse en trouver de bonne qualité, il faut qu'il puisse s'y fier intellectuellement et viscéralement.

Là intervient l'équipe de terrain, que nous symboliserons, pour fixer les idées, par le prévisionniste. Il connaît parfaitement les études dont nous avons parlé. Il reçoit l'information de base - analyses et prévisions - d'horizons divers, choisis par lui en fonction des possibilités, des nécessités et de son expérience. Surtout, il "suit" la situation de l'environnement, il vit en son contact permanent, il y est plongé. Il se sert de tous les outils possibles et tout

spécialement des modèles à l'élaboration desquels il a le plus souvent participé, quand il n'en a pas été l'inspirateur et la cheville ouvrière.

Ce rôle est difficile à tenir. En fin de compte, c'est lui qui "donne le feu vert" au responsable des opérations, et qui engage à chaque fois sa responsabilité morale dans l'affaire ; c'est lui qui insiste pour accélérer les travaux ou les interrompre à l'approche du mauvais temps ; et ainsi de suite.

Le problème le plus délicat consiste évidemment en la précision de la prévision : il n'est pas permis de se montrer optimiste ou pessimiste, il faut voir juste et loin. En cette matière, l'interprétation finale des éléments d'information appartient toujours à l'homme, et la qualité de sa prestation autant que son pouvoir de convaincre dépendent de lui. Mais de plus en plus il peut s'appuyer sur des analyses et des prévisions objectives telles que décrites plus haut : reproductibles, de fiabilité connue et mesurable, indépendantes d'une conception personnelle, d'un tour de main quelconque.

Fondé de la sorte, le travail du prévisionniste peut prétendre à une telle précision. Nous n'en choisirons pour exemple que le travail accompli à la demande de ELF NORGE pour l'assistance météorologique durant les opérations de forage et d'installation de plates-formes sur le site de FRIGG, en Mer du Nord, par le Groupe Opérationnel Expérimental Mixte Météo/CNEXO. Au vu des premiers résultats, le contractant a demandé de lui-même des compléments d'étude et un renforcement de l'équipe en place qui a doublé le montant du contrat. En contrepartie, la "prestation personnalisée" a permis de détecter et d'utiliser entre autres deux créneaux de beau temps à une époque généralement mauvaise et donc de gagner un certain nombre de journées de barge (rappelons qu'un jour coûte aux environs de 145.000 \$, et que ce type de contrat peut être considéré comme amorti à partir d'un gain de deux ou trois jours). Il est certain, en outre, que le contractant réalise également une économie substantielle sur les frais d'assurance dans ce cas (mais nous n'avons pas pu obtenir les chiffres correspondants).

Pour user d'un style à la mode : "l'investissement - environnement est rentable".

Y. TREGLOS

F.M. VITUREAU

Annexe OE 8

CHAUSEY

Détermination de la colline industrielle

Décembre 1974

G. MARTIN

## CHAUSEY

### 1. PARAMETRES ET CONDITIONS

- $\phi$  roue prototype = 8 m
- $n = 62,5$  tr/mn
- Section de sortie aspirateur  $s \neq 3,9 \times$  section roue
- $\frac{S}{s} = 2,3$

$S$  = section du canal de fuite à 3 D roue à l'aval de l'aspirateur

$s$  = section de sortie de l'aspirateur

### 2. FORMULES DE TRANSPOSITION DU RENDEMENT

A partir de la colline modèle d'un groupe bulbe essayé dans nos laboratoires, nous définirons la colline industrielle de Chausey par application de la loi de Fay Kviatkovski dans une zone comprise entre le  $n_{11}$  correspondant au coeur colline et 1,3 fois cette valeur.

La validité de cette formule a été confirmée, en ce qui concerne les turbines du type Kaplan, par des essais comparatifs réalisés par le département "Essais" d'ELECTRICITE DE FRANCE par les équipes des essais extérieurs et de la station d'essai de turbines. Ces comparaisons figurent dans un article de M. J. CHEVALIER dans "La Houille Blanche" N° 7 de 1965.

### 3. ANALYSE DE LA VALIDITE DE LA FORMULE DE FAY POUR UNE TURBINE BULBE

La formule de transposition des pertes est de la forme :

$$\frac{\delta}{\delta'} = 1 - K + K \left(\frac{\rho'}{\rho}\right)^{1/5}$$

$\delta$  = pertes prototype

$\delta'$  = pertes modèle

$K = \frac{\text{pertes frottements}}{\text{pertes totales}}$

Cette formule est semblable à la formule de Hutton.

Une turbine bulbe diffère d'une turbine Kaplan par son amenée et par son aspirateur qui sont axiaux ou pratiquement axiaux.

Nous reprendrons l'analyse des pertes, comme dans l'article de J. CHEVALLIER cité plus haut, en considérant les pertes :

- d'amenée jusqu'à la sortie du distributeur ;
- dans la roue ;
- de la sortie de la roue à la sortie de l'aspirateur.

### 3.1 Amenée

Dans la bêche et l'entrée pour les Kaplan et dans l'entrée axiale pour les bulbes, les pertes sont dues en grande partie aux frottements sur les parois et sur les aubes de l'avant-distributeur et du distributeur. Pour des turbines dont le tracé a été étudié et amélioré sur modèle, il n'y a pas à envisager la possibilité de décollements très importants et les pertes sillages doivent être relativement faibles devant les pertes frottements dans l'amenée des deux types de turbines. Ces pertes dépendent donc en grande partie du nombre de Reynolds tant pour les turbines bulbes que pour les turbines Kaplan.

### 3.2 Pertes dans la roue

Nous avons défini sur la colline modèle représentée en  $Q_{11} = f(n_{11})$  la zone de fonctionnement où n'apparaît en conjugaison aucun décollement à l'entrée des pales de la roue d'une turbine bulbe. Les incidences sont correctes à l'entrée pour des vitesses situées entre le  $n_{11}$  correspondant au coeur colline et 1,30 fois cette valeur et pour des débits supérieurs à celui correspondant au coeur colline.

Pour des  $\sigma$  de cavitation correspondant aux  $\sigma$  standards, on ne détecte pas non plus de décollements importants sur les pales. Dans cette zone de la colline, il est donc pratiquement certain que les pertes dues aux frottements sur l'aubage sont prépondérantes. Hutton, par exemple, estime que ces pertes par frottement représentent 85 à 95 % des pertes totales dans la roue.

En deçà et au-delà des valeurs de  $n_{11}$  dont nous venons de parler, apparaissent des décollements d'entrée qui sont d'autant plus importants, à  $\sigma$  constant, que l'on s'écarte des valeurs  $n_{11}$  coeur colline et 1,30  $n_{11}$  coeur colline. Il est donc bien évident qu'en dehors de cette zone, la proportion pertes frottements/pertes totales dans la roue diminue progressivement à mesure que l'on s'écarte des vitesses  $n_{11}$  coeur et 1,30  $n_{11}$  coeur.

Il n'y a aucune différence en ce qui concerne la roue entre une turbine du type bulbe et une turbine du type Kaplan. Pour ces deux types de turbines, les pertes dépendent de la même manière du nombre de Reynolds.

### 3.3 Pertes dans l'aspirateur

A l'entrée de l'aspirateur, en conjugaison optimum de rendement pales distributeur, la rotation de l'eau est celle correspondant au rendement optimum de l'aspirateur aussi bien en turbine bulbe qu'en turbine Kaplan. Ceci est formellement démontré par l'analyse de l'écoulement à l'aval des roues de ces deux types de turbine. En effet, on retrouve toujours les mêmes angles de l'écoulement et le même rapport :

$$\frac{\text{vitesse locale de l'eau}}{\text{vitesse moyenne débitante de l'eau}}$$

en fonction du rayon lorsque l'on réalise des mesures à la sonde sous la roue pour des points donnant le meilleur rendement turbine, c'est-à-dire des points conjugués, pour les deux types de turbine dans la zone de la colline définie précédemment.

Les aspirateurs coudés des Kaplan sont le siège de pertes globales plus importantes que les aspirateurs cône droit, ou légèrement coudés, des turbines bulbes.

Les concentrations de vitesse dans le coude et à la sortie du coude dans les aspirateurs de Kaplan sont à l'origine de pertes par frottements plus importantes que les pertes par frottement dans un aspirateur de bulbe.

Il est très difficile de chiffrer dans les deux cas le rapport entre les pertes frottements et les pertes dues à la divergence de l'écoulement.

Il est pourtant connu que lorsque les divergences sont faibles (ce qui est le cas des deux types d'aspirateur), les pertes par divergences sont également faibles.

Si l'on considère que l'aspirateur coudé des Kaplan est étudié en le décomposant en trois éléments :

- a. un divergent conique ;
- b. un coude à environ 90° étudié pour donner la meilleure distribution possible au diffuseur final, mais dont la section de sortie n'est pas supérieure à la section d'entrée ;
- c. un diffuseur à faible divergence ;

on ne voit, a priori, pas de différence essentielle entre les deux types de diffuseur et il semble que l'on puisse admettre que le rapport pertes par frottement/pertes globales soit assez voisin pour les deux types de diffuseur.

La perte d'énergie cinétique résiduelle à la sortie des aspirateurs n'est pas prise en compte dans cette analyse.

Si l'on essaie d'analyser les pertes aspirateurs, il semble que l'on puisse conclure que la réduction des pertes serait plus importante dans une turbine bulbe que dans une turbine Kaplan. En effet, à la sortie du coude d'un aspirateur Kaplan, la répartition des vitesses et des angles de l'écoulement est beaucoup plus perturbée qu'à l'aval immédiat de la roue. On peut penser que le diffuseur situé après le coude est un divergent de plus grand angle que le divergent d'un groupe bulbe, dans ce cas les pertes par "évaselement" seraient plus importantes pour une turbine Kaplan que pour une turbine bulbe.

En conclusion de cette comparaison entre une turbine Kaplan et une turbine bulbe, il semble que l'on puisse admettre, sans risque d'être optimiste, que les formules de majoration applicables aux turbines Kaplan sont également applicables aux groupes bulbes dans toute la partie de la colline comprise entre le  $n_{11}$  du coeur colline et 1,3 fois cette valeur.

#### 4. DEFINITION DE LA REDUCTION DES PERTES POUR LES AUTRES REGIONS DE LA COLLINE

- Pour la partie de la colline située à droite de la valeur correspondant à 1,3 fois le  $n_{11}$  du coeur colline, les pertes dans la roue augmentent rapidement.
- Il n'existe aucun renseignement précis concernant les réductions des pertes dans cette région de la colline pour les turbines du type Kaplan.
- Pour les groupes bulbes, les essais modèles concernant la Rance et St Malo sont parfaitement connus, des essais partiels des prototypes ont été réalisés par les services d'ELECTRICITE DE FRANCE, pour les faibles chutes.
- Les résultats obtenus nous ont permis de modifier les coefficients  $K$  de la formule de Fay qui sont donnés dans le graphique ci-joint en fonction du rapport  $Q/Q^*$ , où  $Q^*$  est le débit au rendement maximum. Ce graphique est valable pour une roue de 8 m tournant à 62,5 tr/mn. La valeur de  $Q^*$  à prendre en compte dans tous ces calculs a été définie comme le  $Q_{11}$  correspondant au coeur de la colline modèle réduit.



### Conclusion

En appliquant la méthode de réduction des pertes définie à partir du graphique ci-joint, on obtiendra une colline que l'on peut considérer comme correcte pour permettre les calculs soit de puissance minimum installée, soit de productivité.

### 5. COLLINE PROTOTYPE REPRESENTEE EN $Q_{11} = f(n_{11})$

Elle est définie :

- a. Pour les valeurs de  $n_{11}$  comprises entre la vitesse du coeur colline et 1,3 fois cette vitesse par application de la loi de Fay Kviatkovski :

$$\frac{S}{S'} = 1 - K \left( 1 - \left( \frac{Q'}{Q} \right)^{1/5} \right)$$

avec  $K = 1 - 0,18 x$

$$x = \frac{Q}{Q^*}$$

- b. Pour les vitesses supérieures à 1,3 fois la vitesse du coeur par application de la formule de Fay Kviatkovski modifiée suivant le graphique ci-joint.

Il n'a pas été tenu compte :

- de la densité de l'eau de mer ;
- du rendement de l'alternateur ;
- des pertes pivots, paliers et des auxiliaires ;
- des progrès possibles en hydraulique.

### Nota

La turbine étudiée comportant une chute minimale de l'ordre de 50 % de la chute maximale, la représentation des points de fonctionnement sur la colline en  $Q_{11} = f(n_{11})$  -en faisant varier le diamètre et la vitesse de rotation du prototype- ne s'écartera pas, en  $n_{11}$ , de la zone de la colline analysée ici, des valeurs assez sensibles pour remettre en cause la majoration des performances adoptée à partir des bases  $\phi_s = 8 \text{ m}$  ;  $n = 62,5 \text{ tr/mn}$ .

Il sera nécessaire, à la fin d'un calcul de productivité ou de puissance installée, de prendre en compte globalement les paramètres négligés.

A titre indicatif, nous donnons les renseignements approximatifs suivants :

- Pertes approximatives dues aux auxiliaires pour une roue de 8 m tournant à 62,5 tr/mn
  - pompe de graissage des paliers et butées, environ .... 6 kW
  - pompe de reprise des fuites alvéoles, environ ..... 3 kW
  - part des pompes de régulation ..... 60 kW
  
- Rendement alternateur (pressurisé), environ 96 à 97 %

oOo

# CHAUSEY

Formule de FAY KVIATKOVSKII :  $\frac{\delta}{\delta'} = 1 - K \left[ 1 - \left( \frac{R'}{R} \right)^{1/5} \right]$

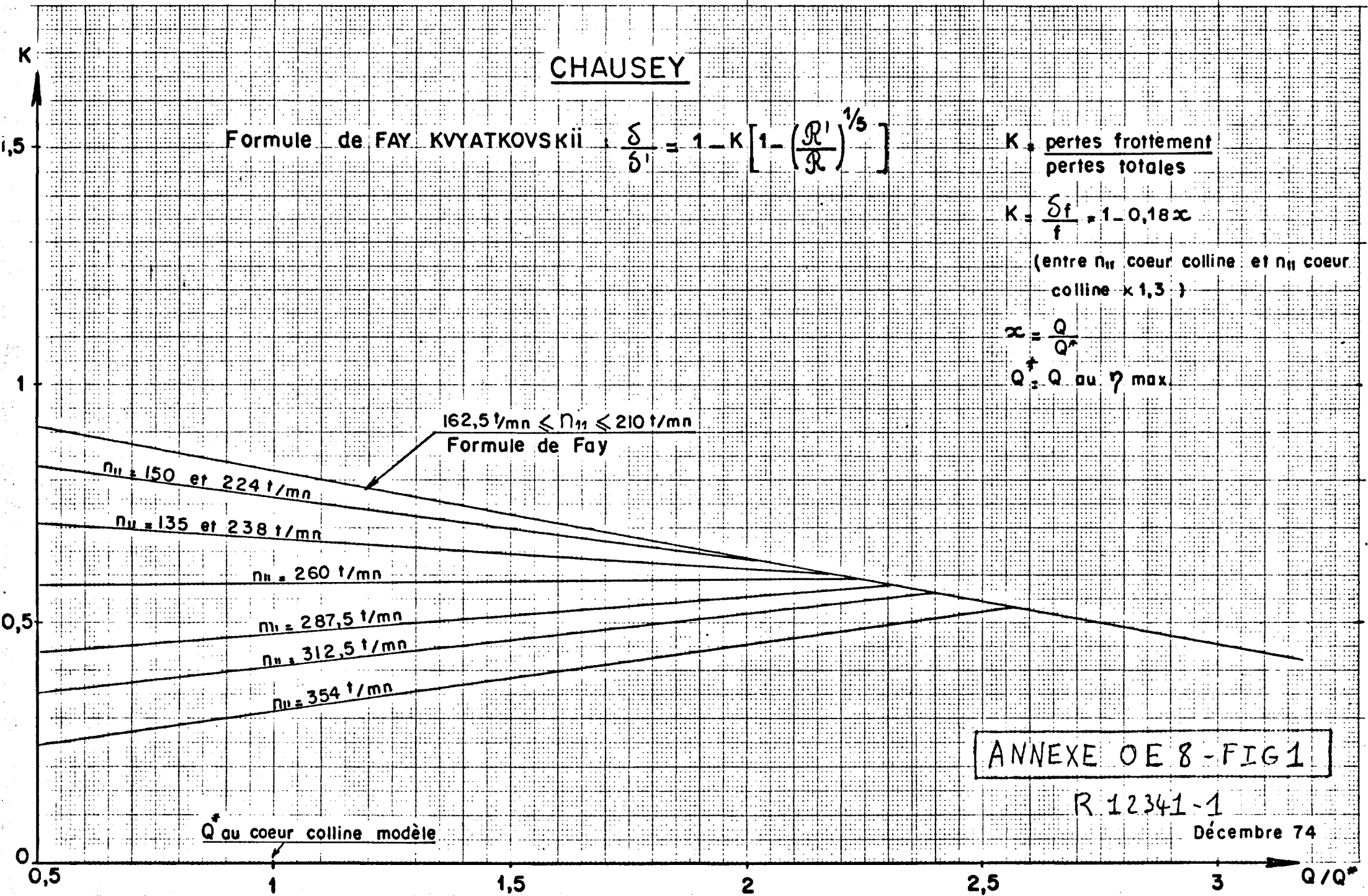
$K = \frac{\text{pertes frottement}}{\text{pertes totales}}$

$K = \frac{\delta f}{f} = 1 - 0,18x$

(entre  $n_{II}$  coeur colline et  $n_{II}$  coeur colline  $\times 1,3$ )

$x = \frac{Q}{Q^*}$

$Q^* = Q \text{ au } \eta \text{ max.}$

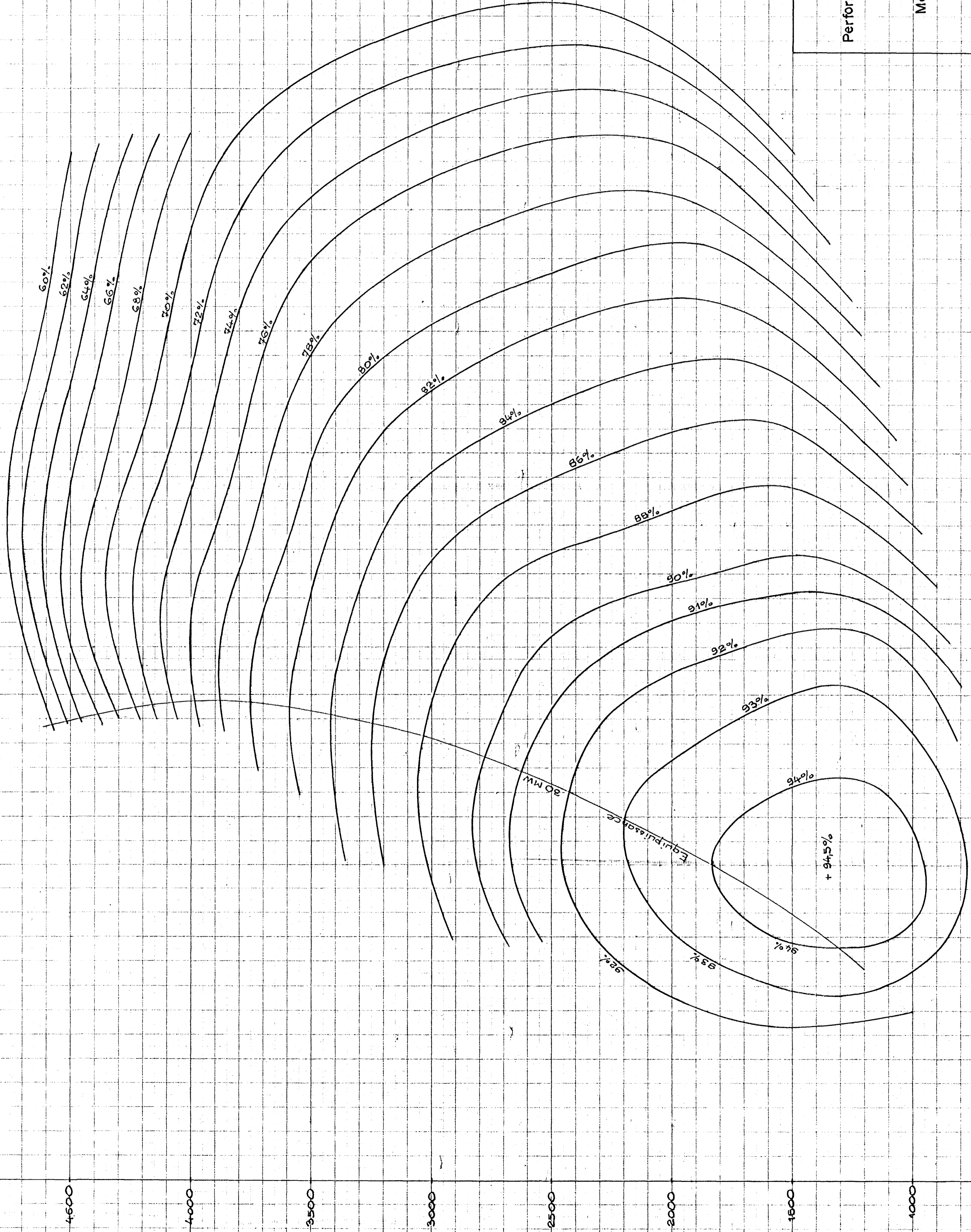


ANNEXE OE 8 - FIG 1

R 12341-1

Décembre 74

$Q_{ul} \text{ V/sec}$



**CHAUSEY**

Performances du prototype extraites  
de l'essai N° 7190

Majorations de  $\eta$  pour :  
roue  $\varnothing$  8 m  
 $n = 62,5 \text{ 1/mn}$

ANNEXE OF 8 - FIG 2  
R12341-1

100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350 375  $N_{11} \text{ t/min}$