



MODÉLISATION DE L'INFLUENCE DES ATTÉNUATEURS DE HOULE SUR LA PROTECTION DU LITTORAL

R.MARCEUR, E.LANDEL et P.GUERIN

Société PRINCIPIA R.D.
Zone Portuaire de Brégaillon
83501 La Seyne/Mer Cedex

Tél.: 94.06.06.00 - Fax : 94.06.58.83

Abstract

Protective structures in the coastal zone can be studied by means of numerical models. These describe the refraction and diffraction effects of the swell. We propose to present a diffraction-refraction model (software PORLIN) able to simulate the propagation of the swell in a harbour or near a shore, in presence of any protective structure.

The model solves the Berkhoff equation with a Finite Element Method. Boundary conditions of reflexion or absorption type are imposed on a beach, a bank or a pier. Particular structure such as wave breaker are introduced in the domain. The wave breakers influence is taken into account by means of a transfer function. The latter match the inner and outer potential of the computational domain. The transfer function is initially determined experimentally (wave tank) or analytically.

Applications are presented here and concern the protection of the Sablettes beach (Var), with different protective structures.

I. INTRODUCTION

Les zones côtières sont soumises à l'action perpétuelle des vagues et il est souvent nécessaire d'étudier l'influence de la houle sur des aménagements côtiers : agitation à l'intérieur des ports, érosion des plages, influence d'atténuateurs de houles ou d'enrochements,...

L'implantation d'ouvrages de protection dans la bande côtière peut s'étudier au moyen de méthodes numériques décrivant les effets de réfraction, de réflexion et de diffraction de la houle. On propose ici de présenter un modèle de diffraction-réfraction qui permet de simuler l'agitation dans un port ou devant une plage, en présence ou non d'ouvrages. Un exemple d'application est présenté. Il concerne l'étude numérique de l'influence de différents systèmes d'atténuation de la houle pour la protection de la plage des Sablettes à La Seyne-Sur-Mer (Var). Des calculs d'agitation du plan d'eau devant la plage en présence d'atténuateurs de type plaque ou digues immergées, sont présentés.

II. MODELE DE DIFFRACTION-REFRACTION

II-1 Théorie

Le modèle de diffraction-réfraction (logiciel PORLIN) vise à simuler l'agitation, dans un port ou devant une plage, induite par une houle du large. Il détermine au sein d'un domaine fini les potentiels induits par une houle incidente monochromatique linéaire.

L'équation à résoudre (équation de Berkhoff) s'écrit :

$$(1) \quad \nabla(C \cdot C_g \cdot \nabla\varphi) + \frac{C_g}{C} \cdot \omega^2 \cdot \varphi = 0$$

avec :

$C = \omega/k$ vitesse de phase

$C_g = \frac{C}{2} \cdot (1 + \frac{2 \cdot k \cdot h}{sh(kh)})$ vitesse de groupe

$\varphi(x,y)$ potentiel horizontal

$\omega = g \cdot k \cdot th(kh)$ relation de dispersion

Pour les cas rencontrés en pratique, où il existe un frottement sur le fond lié aux contraintes de cisaillement, l'équation (1) devient :

$$(2) \quad \nabla(C \cdot C_g \cdot \nabla\varphi) + \frac{C_g}{C} \cdot \omega^2 \cdot (1 + iv) \cdot \varphi = 0$$

où v , le terme de frottement, qui fait intervenir le coefficient de Chezy C_i caractéristique des fonds étudiés s'écrit [1] :

$$(3) \quad v = \frac{1}{h} \cdot \frac{C_i \cdot |u|}{2 \cdot \omega} \cdot \frac{4kh}{2kh + sh(kh)}$$

La résolution de l'équation (2) s'effectue sur le domaine représenté sur la figure 1 :

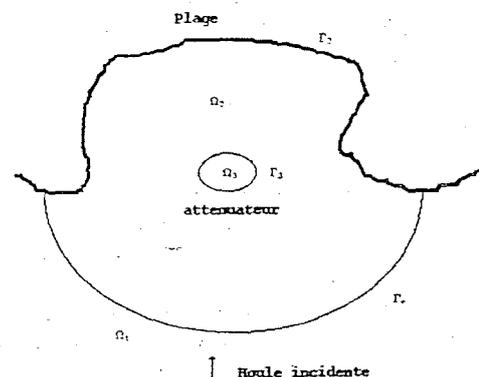


Fig. 1 : Domaine d'étude et frontières

Le domaine est divisé en trois sous-domaines :

- Ω_1 : le domaine extérieur
- Ω_2 : le domaine intérieur de calcul

• Ω_3 : le sous-domaine intérieur à Ω_2 , contenant un élément particulier tel qu'un atténuateur de houle.

Le domaine Ω_2 est délimité par trois frontières types:

- Γ_2 : frontières partiellement réfléchissantes
- Γ_1 : frontière extérieure fictive en arc de cercle, connectée avec le domaine extérieur
- Γ_3 : frontière intérieure fictive qui délimite l'élément particulier.

Les conditions aux limites sur les frontières Γ_1 et Γ_3 concernent la donnée du potentiel et de sa dérivée normale à la frontière. On impose également des conditions de continuité du potentiel entre, d'une part, les domaines Ω_2 et Ω_3 et, d'autre part, les domaines Ω_1 et Ω_2 .

Il s'agit finalement de connaître en tous points du domaine Ω_2 , en tenant compte de l'influence de l'élément Ω_3 , l'amplitude de la houle résultant d'une agitation créée par un train d'ondes incident en provenance du domaine extérieur.

II.2- Discrétisation

La méthode de résolution des équations est basée sur une méthode aux éléments finis à partir d'une formulation faible du problème. Soit $\varphi_2(x, y)$ la fonction solution dans Ω_2 (domaine maillé), la formulation faible s'exprime, pour toutes fonctions $\psi_2(x, y)$, de la manière suivante :

$$(4) \iint_{\Omega_2} \omega^2 \frac{C}{C} \varphi_2 \psi_2 (1 + i\nu) ds - \iint_{\Omega_2} C_g C \nabla \varphi \nabla \psi + \int_{\Gamma_2} C_g C i k \frac{1-R}{1+r} \varphi_2 \psi_2 dl + \int_{\Gamma_r} C_g C \frac{\partial \varphi_2}{\partial n} \psi_2 dl + \int_{\Gamma_3} C_g C \frac{\partial \varphi_2}{\partial n} \psi_2 dl = 0$$

où R est le coefficient de réflexion.

En posant :

$$(5) \varphi_2 = \sum_{k=1}^N N_k d_{2,k} \quad \text{et} \quad \psi_2 = \sum_{k=1}^N N_k t_{2,k}$$

où :

$N_k(x, y)$ est une fonction de forme centrée au noeud k ,

$d_{2,k}$, complexe, est la valeur $\varphi_2(x, y)$ au noeud k ,

$t_{2,k}$, complexe, est la valeur $\psi_2(x, y)$ au noeud k ,

N désigne le nombre de noeuds du domaine

la solution φ_2 satisfait donc une équation matricielle de la forme :

$$(6) \quad P[d_2] = [f_{ir}]$$

où P est une matrice de rang $N \times N$ et $[f_{ir}]$ est le vecteur force du second membre, caractéristique des houles incidentes et réfléchies sur Γ_1

II.3. Traitement des frontières

II.3.1. Frontière Γ_1

Le domaine est raccordé au domaine du large par une frontière en arc de cercle Γ_1 sur laquelle sont définies les caractéristiques de la houle incidente, soit à partir d'observations sur le terrain, soit à partir de résultats obtenus par un modèle d'approche. Pour une même période, plusieurs incidences de houle peuvent être traitées simultanément au cours d'un calcul.

II.3.2. Frontière Γ_2

Les conditions sur les frontières Γ_2 du domaine (réflexion, absorption) permettent de représenter des quais, des berges inclinées ou des plages. Pour ce type de frontière, la condition de réflexion dérive de la condition mixte et s'écrit, en fonction du coefficient de réflexion :

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} - \frac{ik(1-R)}{1+r} \varphi = 0$$

II.3.3. Frontière Γ_3

Le modèle permet de traiter des frontières internes au domaine, qui constituent des séparations locales entre deux zones : atténuateur de type plaque, digues immergées, présence d'un navire, variation brutale de bathymétrie,...

La discontinuité est représentée, dans le maillage aux éléments finis, par un élément particulier possédant des caractéristiques spécifiques. Ainsi, les atténuateurs de houle sont modélisés par des éléments de discontinuité ayant des propriétés de réflexion et de transmission de la houle.

L'influence de l'atténuateur est prise en compte à partir d'une fonction de transfert qui permet de relier, au niveau de la frontière Γ_3 délimitant l'élément intérieur Ω_3 (atténuateur), le potentiel inconnu du domaine de calcul Ω_2 au potentiel connu du domaine Ω_3 . Cette fonction est déterminée préalablement à partir de données expérimentales (cuve ou canal à houle) ou de manière analytique. Dans le cas où cette dernière approche est considérée, la discontinuité caractérisant l'atténuateur est représentée, dans le maillage aux éléments finis, par des éléments spécifiques rectangulaires d'épaisseur infiniment mince sur lesquels sont affectés des coefficients de réflexion et transmission caractéristiques de l'élément étudié.

Pour chaque petit élément rectangulaire constituant l'élément global, les discontinuités du potentiel de part et d'autre de l'atténuateur, sont pris en compte à travers l'écriture d'une matrice élémentaire (de rang 2×2). L'ensemble de ces matrices élémentaires qui traduit l'influence spécifique de l'atténuateur est finalement regroupé dans la matrice globale P (éq. 6).

III. ETUDE DE PROTECTION DE LA PLAGES DES SABLETTES

III.1. Domaine d'étude

Le domaine d'étude couvre une zone d'environ 1300m dans la direction est-ouest et 950 mètres suivant la direction nord-sud (fig. 2). Le domaine est maillé avec environ 15000 éléments avec un raffinement au niveau des régions de plus faible profondeur ; l'objectif étant de

satisfaire la condition d'une dizaine de points de calcul, minimum, par longueur d'onde.

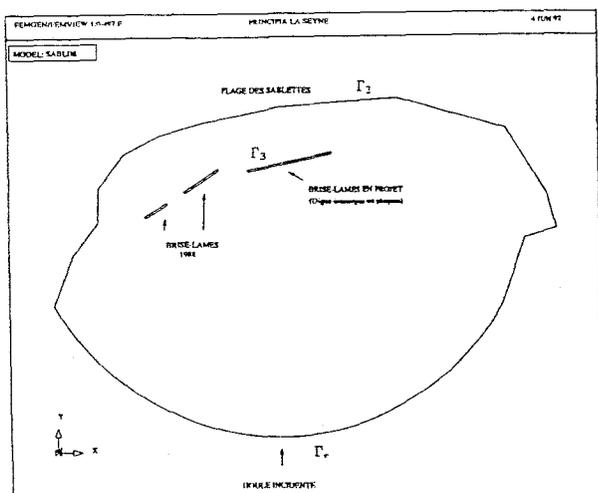


Fig. 2 : Emprise du domaine d'étude

III.2- Caractéristiques des atténuateurs

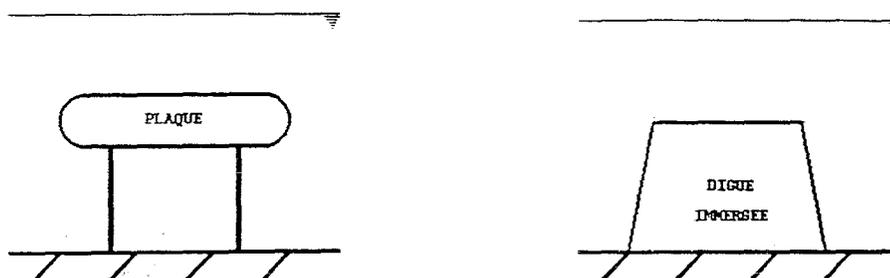


Fig. 3 : Plaque et digue immergée

III.3. Configurations étudiées et résultats numériques

Deux configurations de brise-lames ont été étudiées : un brise-lame unique correspondant à un alignement de plaques ou à une digue immergée (fig. 4 et 5) et 3 brise-lames décalés correspondant à des digues immergées (fig.6).

Les figures 4 et 5 montrent, dans le cas du brise-lames unique, des cartes de coefficients d'amplification (houle incidente de 1 mètre et de 135 degrés sur la frontière Γ_1) de la houle pour deux systèmes d'atténuation : plaques et digues immergées. On constate que l'atténuation est meilleure avec les plaques, ce qui est cohérent avec les caractéristiques de transmission plus faibles de ce système. On note également sur les deux figures les fortes réflexions en amont de l'atténuateur.

La figure 6 montre les coefficients d'amplification de la houle obtenus avec 3 brise-lames décalés. L'atténuation est globalement plus faible avec cette configuration. Il apparaît également des phénomènes complexes de diffraction autour des 3 brise-lames, limitant les effets

Deux type d'atténuateur ont été testés : les atténuateurs de type plaque et les digues immergées. Les coefficients de réflexion et transmission des différents systèmes d'atténuation ont été déterminés par des mesures dans une cuve à houle tridimensionnelle et à l'aide d'un logiciel permettant d'étudier l'évolution de la propagation d'une onde monochromatique lorsque les fonds varient brusquement. On considère des atténuateurs placés à 2 mètres de profondeur et à une immersion de 50 centimètres. Les coefficients retenus pour les plaques et les digues, qui sont dépendants de la période, sont représentés dans les tableaux ci-dessous :

Plaque	Coefficient transmission	Coefficient réflexion
T=5s	0,32	0,35
T=8s	0,60	0,23

Digue	Coefficient transmission	Coefficient réflexion
T=5s	0,60	0,21
T=8s	0,60	0,27

Notons l'efficacité supérieure des plaques pour la période T=5s (transmission plus faible).

d'atténuation des ouvrages (champ de phases de la houle sur la figure 7).

IV. CONCLUSION

Le modèle présenté permet l'étude de l'agitation de la houle en site côtier et en présence d'ouvrages multiples. Un développement original, pour la prise en compte de l'influence des atténuateurs sur la propagation de la houle, a été réalisé dans le modèle. L'exemple d'application présenté concerne l'étude et la comparaison de différents systèmes d'atténuation de la houle. Il montre notamment que le système de type plaque conçu par Principia et Monaco (concept breveté) est globalement le plus performant .

Référence

[1] Lepelletier T.G. 1978. Response of Harbors to Transient Waves : A Progress Report. Technical Memorandum 78-3, W.M.Keck, Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology.

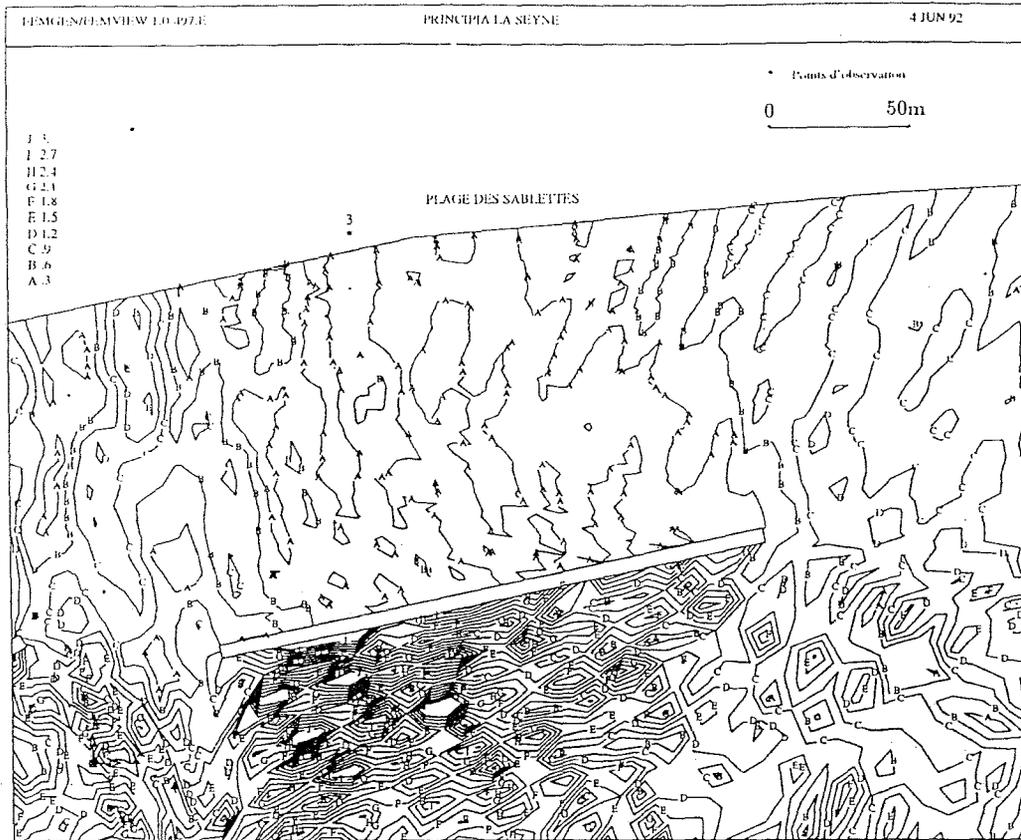


Figure 4: Plaques - Coefficients d'amplification

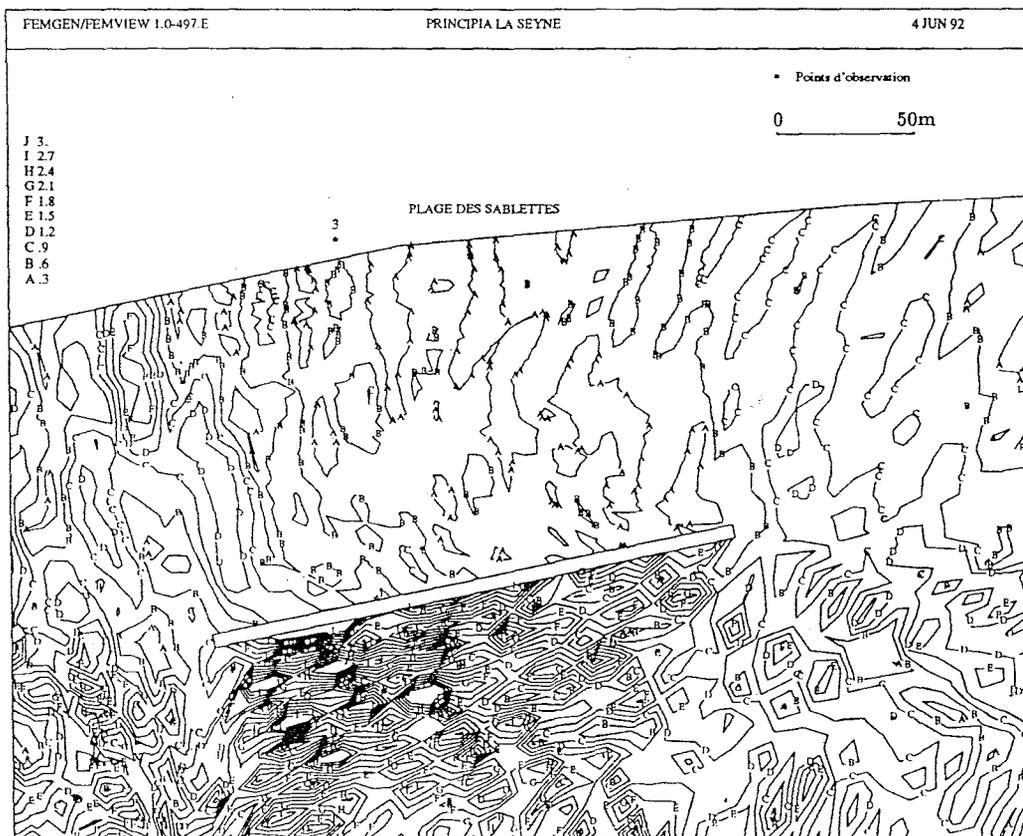


Figure 5: Digue immergée - Coefficients d'amplification

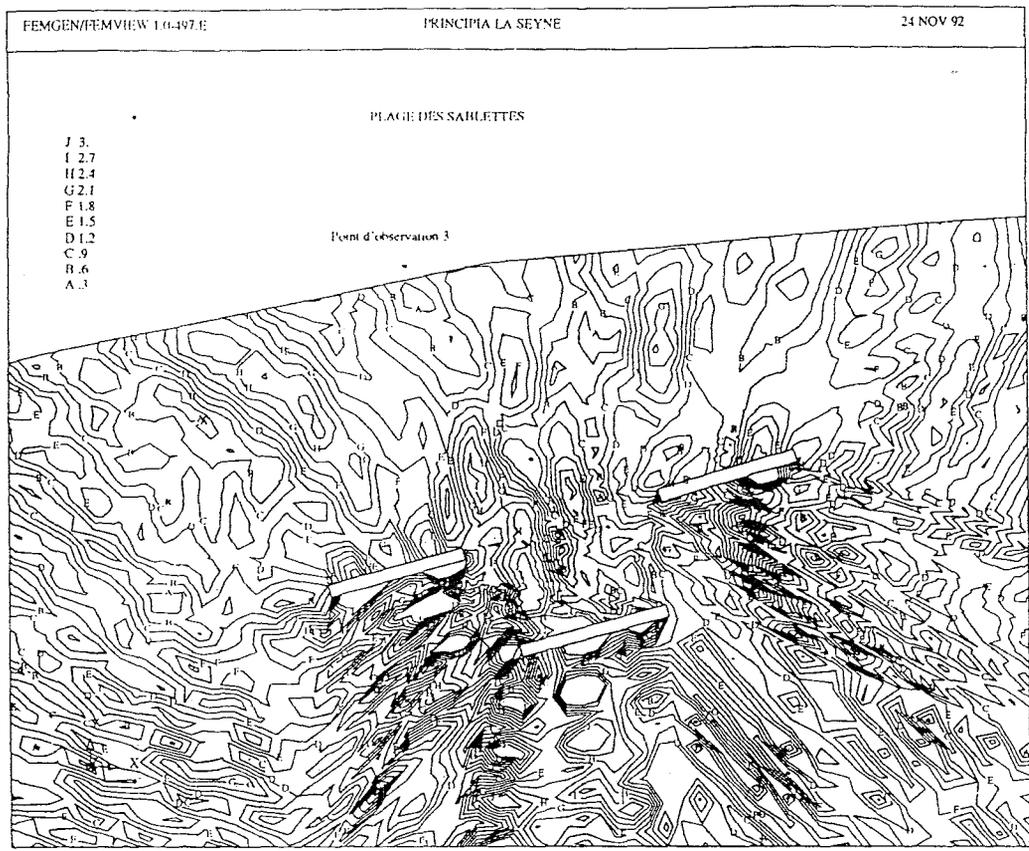


Figure 6: Digues décalées - Coefficients d'amplification

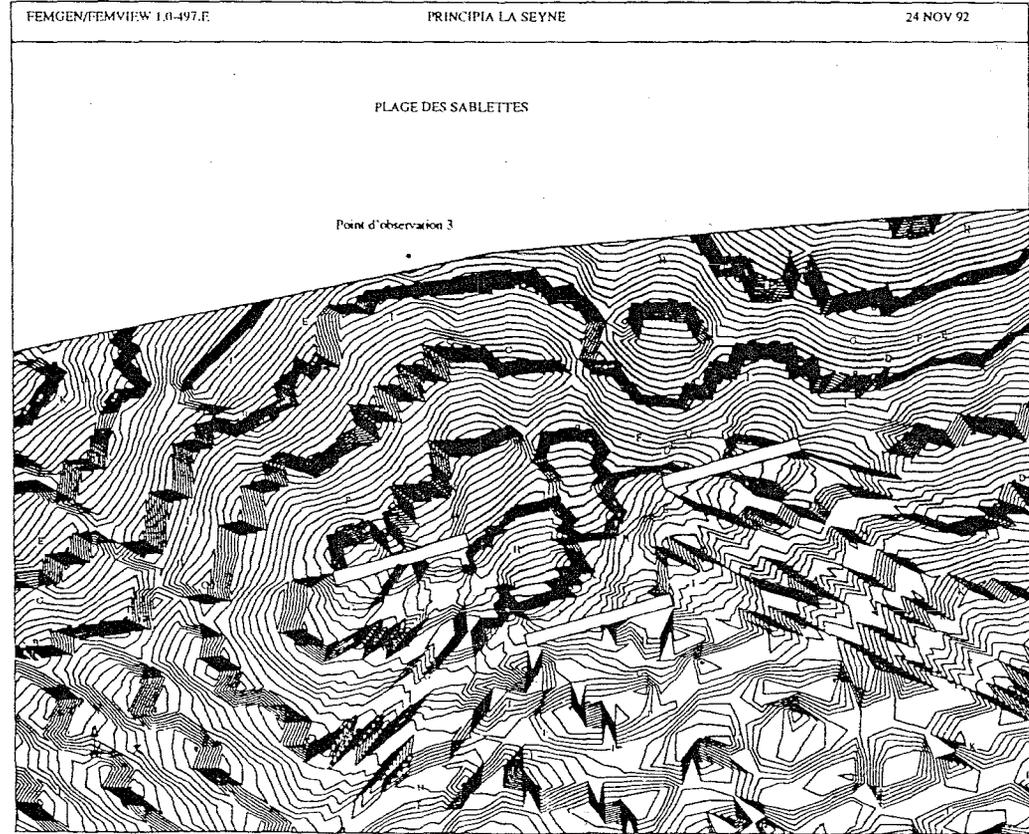


Figure 7: Digues décalées - Phases

