

CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCEANS

79/4134

SEDIMENTOLOGIE DYNAMIQUE

DES PLAGES DE PROVENCE

METHODOLOGIE ET ETUDES D'IMPACT

BLANC Jean

Professeur de Géologie Marine

et Sédimentologie Appliquée

Centre Universitaire

Marseille - Luminy

SOMMAIRE.

1) *Objet de l'étude. Protection des sites, études d'impact.*

2) *Méthodologie : recherches sur le terrain : examen des plages et des ouvrages, codification et pondération des observations, problèmes d'échelles.*

Analyse factorielle des correspondances et analyse hiérarchique des données. Facteurs primaires de l'évolution littorale et essai de modélisation.

3) *Conséquences sur les études d'impact :*

- détermination des facteurs dynamiques primaires influençant la sécurité. Analyse des variables.

- établissement de modèles littoraux : les influences topographiques, météorologiques, sédimentaires et hydrodynamiques ; définition des ensembles littoraux et classification automatique des sites.

- actions à court et moyen termes ; conduite à tenir. Définition des sites menacés, à menace différée, zones stables et littoraux en voie de colmatage.

- conséquence de l'analyse des distances vis à vis des "pôles" : risque, degré de sécurité, courants de dérive, courants sagittaux, herbiers à Posidonies, degré de propreté des plages.

- établissement d'une hiérarchie des interventions.

MOTS DESCRIPTEURS. Sédimentologie dynamique, études d'impact,
Plages et littoral de Provence, Camargue.

1 - OBJET DES RECHERCHES.

A la demande du C. N. E. X. O., il a été procédé à une étude de sédimentologie dynamique des plages au littoral provençal, du Grau du Roi, à l'Ouest, à Fréjus, à l'Est.

Les missions opérées sur le terrain bénéficiaient, en outre, d'une documentation photographique aérienne complète, échelonnée dans le temps, et d'une expérience acquise par nos prédécesseurs et nous-mêmes au cours des deux décennies précédentes (Bellaïche, 1970 ; Blanc, 1958, 1974, 1975, 1977 ; Blanc et Jeudy de Grissac, 1978 ; Blanc, 1979 ; Duboul-Razavet, 1956 ; Clairefond, 1977 ; Jeudy de Grissac, 1975 ; Orsolini, 1978).

De l'Ouest à l'Est, les secteurs suivants ont été examinés : (fig. 1, 1 bis, et 2).

- zone du Grau du Roi,
- littoral de Camargue,
- côte rocheuse de la Provence : Cassis, La Ciotat, les Lecques, Bandol, Sanary, le Brusq, baie de Toulon,
- littoral de la Provence métamorphique : presqu'île de Giens, rade d'Hyères, côte des Maures occidentales, presqu'île et baie de Saint Tropez, côte des Maures orientales, baie de Fréjus.

Le but de l'opération (programme "SEDYN"), poursuivie sur deux années et demi, était de déterminer d'une manière quantitative, les zones particulièrement menacées, les plages en équilibre relatif ou durable, les secteurs en voie de colmatage. Le littoral considéré (environ 330 km), correspond à un rivage à haute fréquentation touristique et à de nombreux aménagements (ports de plaisance, "marinas", zones balnéaires).

Il était nécessaire, en développant les méthodes pratiquées en Camarque (Blanc, 1979 ; Blanc et C. H. Froget, 1979), de déterminer les degrés de risque en fonction des transferts, de la nature des sédiments, de la topographie des plages et de leur hydrodynamisme, de la présence (ou de l'absence) d'un herbier à Posidonies, etc ... Cette étude quantitative du littoral sableux nous amène à une tentative de modélisation et à la recherche de solutions de protection à court et moyen terme.

Ce travail doit beaucoup à l'aide de MMmes C. H. Froget, A. Martin, à notre collègue F. Blanc, à MM. A. Jeudy de Grissac et J. P. Durbec, pour les

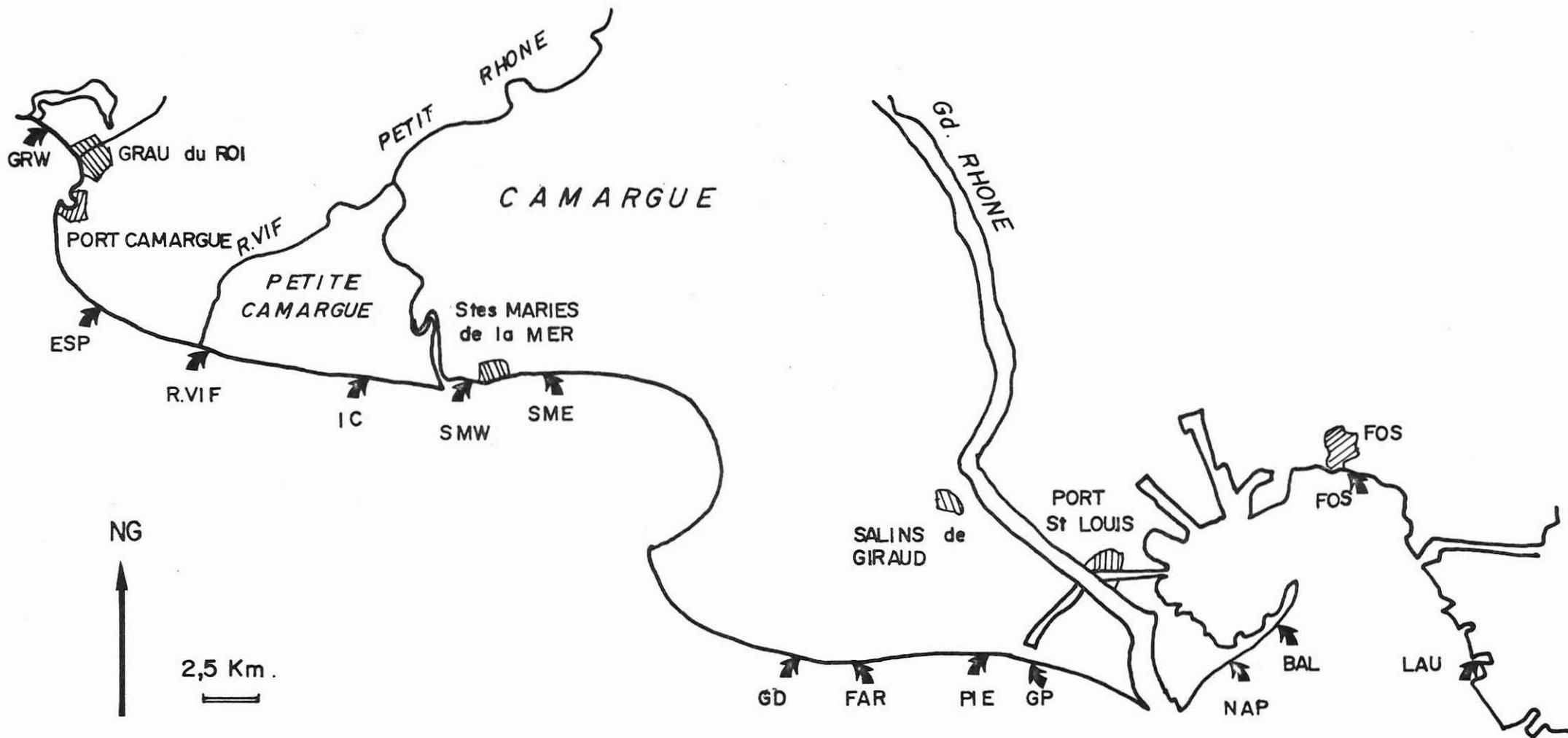


Fig. 1- SITES ETUDIÉS - ZONE OCCIDENTALE

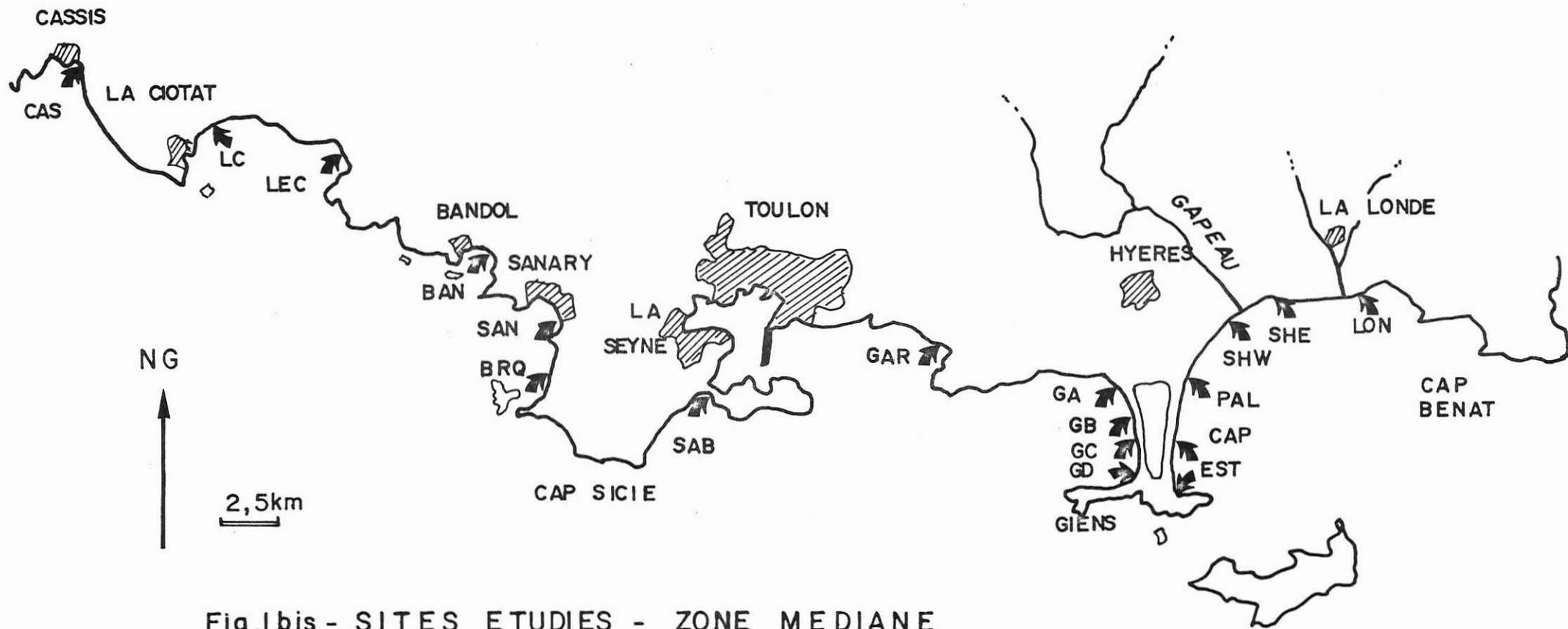


Fig.1bis - SITES ETUDIÉS - ZONE MÉDIANE

domaines de la réalisation technique, des analyses d'inertie, codages disjonctifs, agrégation suivant les variances et sédimentologie dynamique appliquée.

-:-:-:-:-

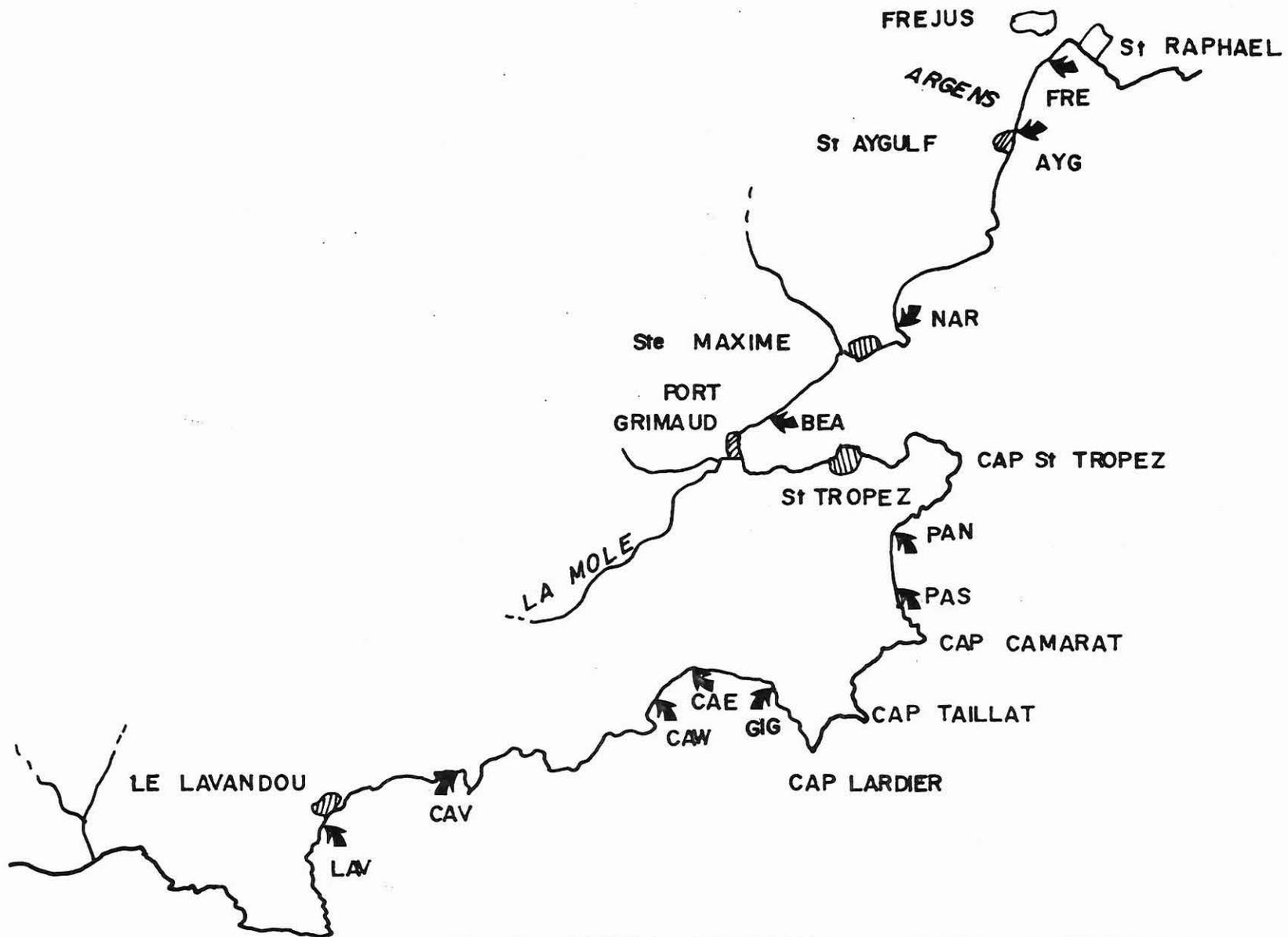


Fig.2 - SITES ETUDIÉS - ZONE ORIENTALE

2 - METHODOLOGIE.

2.1. RECHERCHES SUR LE TERRAIN.

- Examen des plages et des ouvrages à intervalles réguliers et à la suite de tempêtes exceptionnelles :
 - . étude du sédiment,
 - . mesure de la pente des plages au clinomètre,
 - . mesure des niveaux de tempêtes,
 - . étude des profils littoraux jusqu'à des profondeurs de 50 m,
 - . étude de la séquence sédimentaire meuble jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 50 m ; examen de l'état des herbiers à Posidonies, s'il y a lieu.
- mesures de l'érosion et du taux de sédimentation à partir de repères fixes,
 - . influence des vagues, houles, dérives et courants littoraux,
 - . influence des ouvrages, pollutions "visibles",
 - . zones à risques et à désordres réels ou potentiels,
- Contrôles locaux par plongées,
- Contrôles généraux par étude photo-interprétative de missions **aériennes** successives (une à deux années).

Les problèmes d'échelle du linéaire de plage étudié ont été résolus par une pondération des indices chiffrés et codés en fonction de la longueur prise en compte :

- + 1 : 0 à 10 m (criques et plages "de poche"),
 - + 2 : 11 à 100 m : petites plages,
 - + 3 : plus de 500 m : plages moyennes,
 - + 4 : plus de 1 000 m
 - + 5 : plus de 2 000 m
- } grandes plages.

Les sites sélectionnés sur 330 km de rivage sont caractérisés par un certain nombre de mesures et d'observations traduites, après pondération d'échelle, sur un bordereau standard.

Le bordereau standard d'observation comportera :

Situation de la plage, date des observations, conditions météorologiques,

nature géologique du substratum, facteur de pondération.

Chaque site examiné, pour une date déterminée, fera l'objet d'un bordereau :

- colonnes : degré codé de 0 à 6,
- lignes : variables.

2.2. PROCEDE DE CODAGE.

L'ensemble des bordereaux correspondant au programme littoral défini, est résumé sous la forme d'un tableau qui sera la matrice des données, point de départ de l'analyse factorielle des correspondances. D'où la nécessité, après pondération, d'une simplification de cette matrice par une codification appropriée.

L'échelle relative des variables sera exprimée de 0 à 5 ou à 6 et multipliée par le coefficient de pondération en fonction du linéaire de rivage exploré (1 à 5). Il en résulte un indice chiffré pour chaque variable en fonction du site.

2.2.1. Variables. (fig. 3 et 4) (cf. tableau annexe).

Vingt variables ont été sélectionnées :

- A : degré d'agitation,
- TL : transfert littoral,
- SG : courants sagittaux,
- CD : courants de dérive,
- DH : niveaux de tempêtes,
- RL : rides littorales,
- W : somme des vents efficaces (à vitesse supérieure à 15 km/h exprimés en pourcentages : jours/an),
- S10 : granulométrie du sédiment de 0 à - 10 m : zone H1 des déferlements et forte agitation des vagues,
- S20 : granulométrie du sédiment de - 10 à - 20 m : zone H2 des courants de décharge,
- S30 : granulométrie du sédiment de - 20 à - 50 m : zone H3,
- PM : pente moyenne de 0 à - 20 m,

ALP : pente mesurée à la zone du swash,
E : degré d'érosion,
S : degré de sédimentation,
HP : état de l'herbier à Posidonies,
RIV : influence des torrents, rivières, fleuves,
AM : influence des aménagements,
POL : importance relative de la pollution (visible) : déchets sur les plages,
EVO : degré d'évolution dynamique,
RIS : degré de risque.

2.2.2. Observations. sites : plages (cf. tableau annexe).

43 plages ont été sélectionnées (fig. 1, 1 bis, et 2), de l'Ouest à l'Est :

GRW : plage à l'Ouest du Grau du Roi,
ESP : plage de l'Espiguette,
RVIF : plage au Rhône Vif,
IC : plage d'Icard (Petite Camargue),
SMW : Saintes Maries de la Mer - Ouest (Camargue),
SME : Saintes Maries de la Mer - Est (Camargue),
GD : Grau de la Dent (Camargue),
FAR : Faraman (Camargue),
PIE : Piémansson (Camargue),
GP : Grande Palun (Plage d'Arles) (Camargue),
NAP : Plage Napoléon (They de la Gracieuse),
BAL : Plage de Balancelle (They de la Gracieuse),
FOS : Plage de Fos,
LAU : Crique des Laurons (Golfe de Fos),
CAS : Plage de Cassis,
CIO : Plage La Ciotat,
LEC : Plage des Lecques,
BAN : Plage de Bandol,
SAN : Plage de Sanary,
BRQ : Le Brusq,
SAB : Les Sablettes (Toulon O),
GAR : La Garonne (Toulon E),
GA : Tombolo O de Giens ; Point A,
GB : Tombolo O de Giens ; Point B,

GC : Tombolo O de Giens ; Point C,
GD : Tombolo O de Giens ; Point D,
EST : Hyères E (Estanci),
CAP : Hyères E (La Capte),
PAL : Hyères E (Palyvestre),
SHW : Salins d'Hyères Ouest,
SHE : Salins d'Hyères Est,
LON : La Londe-les-Maures,
LAV : Lavandou (Côte des Maures),
CAV : Cavalière (Côte des Maures),
CAW : Cavalaire Ouest (Côte des Maures),
CAE : Cavalaire Est (Côte des Maures),
GIG : Gigaro,
PAS : Pampelonne Sud (Presqu'île de Saint Tropez),
PAN : Pampelonne Nord (Presqu'île de Saint Tropez),
BEA : Beauvallon (baie de Saint Tropez),
NAR : La Nartelle (Maures orientales),
AYG : Saint Aygulf,
FRE : Fréjus plage.

2.2.3. Chaque bordereau codé donne lieu à une carte perforée. L'information est résumée par la matrice des données (figurant en tableau annexe), point de départ de l'analyse d'inertie et de la classification hiérarchique.

CENTRE UNIVERSITAIRE
MARSEILLE-LUMINY

Marseille, le 22 décembre 1977
Tél. 41.15.40 postes 37.46, 37.44 et 37.45

LABORATOIRE
DE GÉOLOGIE MARINE
ET SÉDIMENTOLOGIE APPLIQUÉE

PROGRAMME LITTORAL

ANALYSE DES CORRESPONDANCES

70, ROUTE LÉON LACHAMP
13 - MARSEILLE (9^e)

CODAGE DES OBSERVATIONS

BLANC J.J

SITUATION :

Date:

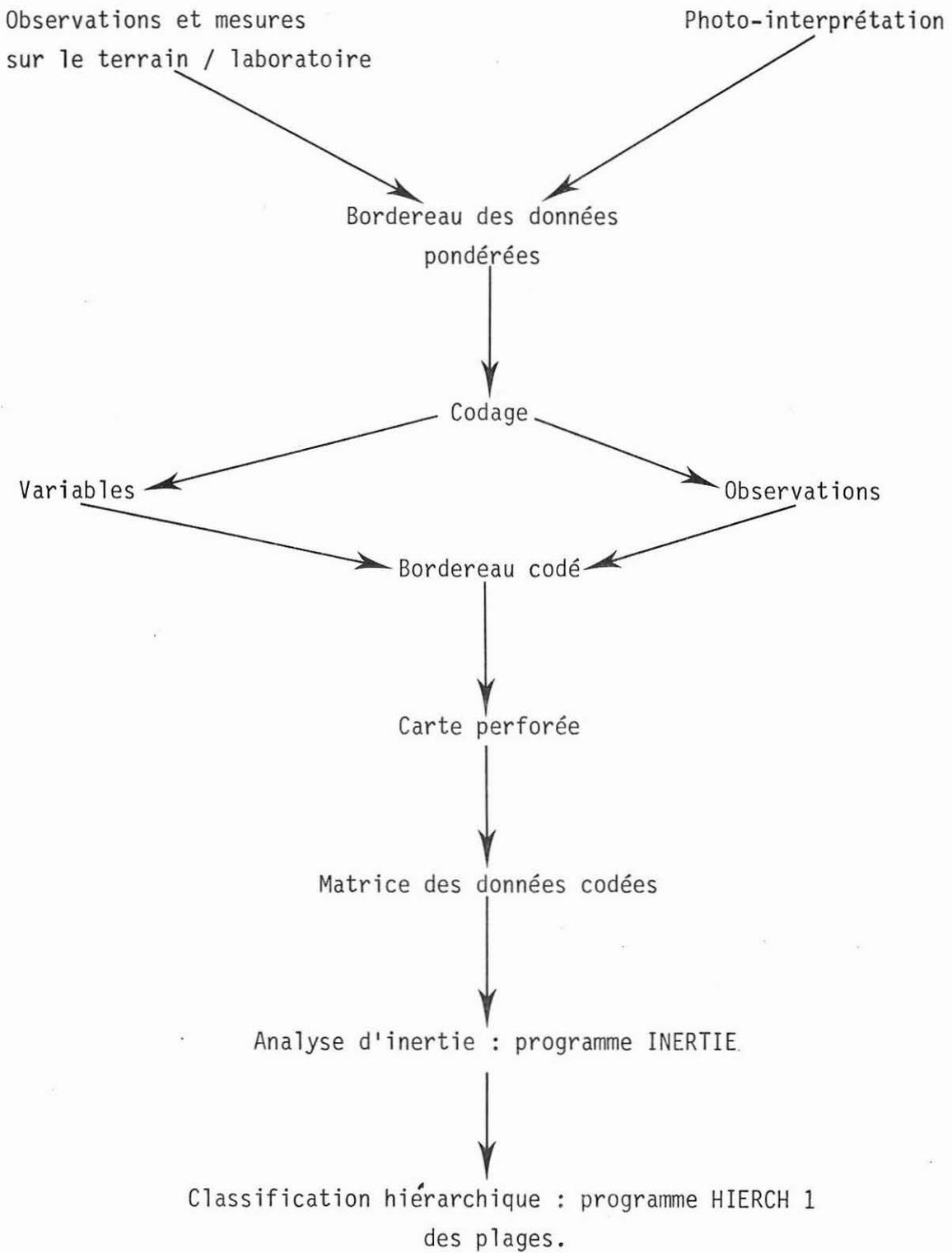
N. Réf. BG/77-82

V. Réf.

CODE	NATURE du DESCRIPTEUR	D E G R E						
		0	1	2	3	4	5	6
(L)	Longueur du segment considéré 1 < 10 m, 2 < 100 m, 3 < 500 m 4 < 1000 m, 5 < 2000 m							
(P) _X	Facteur de pondération X 1 pour 1, X 2 pour 2, X 3 pour 3 X 4 pour 4, X 5 pour 5							
(O)	Orientation moyenne 1 : N-S, 2 : E-W, 3 : NE-SW 4 : NW-SE							
(A)	Degré d'agitation moyen 1 : très agité, 2 : agité 3 : moyen.agité., 4 : peu agité							
(TL)	Transfert latéral 0 : abs., 1 : faible, 2 moyen 3 : fort							
(SG)	Courants sagittaux 0 : abs., 1 : faibles ou rares 3 : moyens, 4 : forts							
(CD)	Courants de dérive 0 : abs., 1 : faible, 2 : moy. 3 : fort							
(CP)	Courant permanent de surface 0 : abs., 1 : présence							
(CM)	Courant de marée 0 : abs., 1 : présence							
(CO)	Convergence des orthogonales 0 : abs., 1 : présence							
(DO)	Divergence des orthogonales 0 : abs., 1 : présence							
(ZO)	Zone d'ombre 0 : abs., 1 : présence							
(H)	Élévation du plan d'eau 0 : faible, 1 < 0,50 m, 2 < 1 m 3 < 1,5 m, 4 < 2 m.							
(RL)	Rides littorales: 0,1,2,...,6							

CODE	NATURE DES DESCRIPTEURS	D E G R E						
		0	1	2	3	4	5	6
W ₁	Vent dominant efficace 1 nombre jours/an W > 30 km/h 0 < 5%, 1 < 10%, 2 < 20%, 3 < 30%, 4 < 40%							
W ₂	Vent dominant efficace 2 nombre jours/an W > 30 km/h 0 < 5%, 1 < 10%, 2 < 20%, 3 < 30%, 4 < 40%							
S ₁₀	Nature du sédiment de 0 à - 10 m 0 : fonds rocheux, 1 : blocs, 2 : galets et granules, 3 : sable grossier, 4 : sable moyen, 5 : sable fin, 6 : vase/pélite							
S ₂₀	Nature du sédiment de - 10 à - 20 m mêmes degrés							
S ₅₀	Nature du sédiment de - 20 à - 50 m mêmes degrés							
PM	Pente moyenne de 0 à - 20 m 0 : nulle, 1 : faible (0 à 5%), 2 : moyenne (3 à 6%), 3 : forte (6 à 10%), très forte (plus de 10%) + α° SWASH (pas 5°)							
E	Erosion 0 : nulle, 1 : faible, 2 : moyenne 3 : forte, 4 : très forte							
S	Sédimentation mêmes degrés							
E _q	Etat d'équilibre 0 : non réalisé, 1 : réalisé							
HP	Herbier à Posidonies 0 : absent, 1 : très dégradé, 2 : dégradé, 3 : dense							
RIV	Intervention des cours d'eau 0 : nulle, 1 : faible, 2 : moyenne, 3 : forte, 4 : très forte							
SU	Substratum 1 : alluvial, 2 : calcaire, 3 : marneux 4 : gréseux, 5 : métamorphique, 6 : éruptif							
AM	Nature des ouvrages 0 : absence, 1 : épis et digues perpendicul. 2 : digues frontales, 3 : aires portuaires et remblais							
POL	Degré de pollution apparent 0 : nul, 1 : faible, 2 : moyen, 3 : fort, 4 : très f.							
EVO	Degré d'évolution littorale 0 : nul, stabilité apparente, 1 : lent, 2 : moyen 3 : rapide, 4 : très rapide							
RIS	Degré de risque apparent 0 : nul ou indéterminé, 1 : long terme, 2 : moy. terme, 3 : court terme, 4 : immédiat							

En résumé : Procédure des opérations : Programme SEDYN.



2.3. ANALYSE D'INERTIE.

Analyse factorielle des correspondances (Benzecri,1973) : plusieurs programmes et variantes possibles, dérivés et adaptés (TABET, INERTIE, ANFACTOR).

La matrice de départ, de format 43 x 20, permet le calcul de matrices "variables" (format 20 x 20) et "objets" (43 x 43) (ex-programme COREG). On utilise le coefficient de corrélation r, la distance du "chi-2" (données qualitatives codées).

Les variables ont été l'objet d'un codage disjonctif total établi par J. P. Durbec. Ce dernier, par "effet de miroir" établit l'influence inversée d'une variable ; la notion chiffrée de cette "anti-corrélation" est importante à plusieurs titres :

Donnée	Variable	Code	Donnée variable disjonctive codée	Influence de la disjonction
Erosion		E	BBE	taux de sédimentation
Sédimentation		S	BBS	taux d'érosion
Polution		POL	LOP	propreté des plages
Aménagement		AM	BMA	absence d'aménagement
Degré de risque		RIS	SIR	degré de sécurité
Transfert latéral		TL	BLT	absence de transfert
Pente au swash		ALP	PLA	plages à pentes faibles
Herbier à Posidonies		HP	BPH	absence d'herbier
Niveaux de tempêtes		DH	BHD	site très abrité

L'analyse d'inertie traitera alors les liaisons et distances entre les stations (objets - plages) et les variables + les variables disjonctives. Ces dernières ont parfois plus d'importance que les variables "vraies" dans les modalités de l'évolution littorale : exemples :

- l'absence de l'herbier à Posidonies (BHP) favorise les phénomènes d'érosion (E),

- une pente très faible (PLA) favorise la sédimentation et l'absence d'érosion (BBE),

- le degré de sécurité (SIR) est corrélé avec les sites très abrités et la faiblesse des niveaux de tempête (BHD), etc ...

Le programme INERTIE retient huit axes factoriels correspondant généralement à environ 90 % de l'information. Puis, INERTIE (ou ANFACTOR, TABET) donne :

. le tableau des valeurs propres de la matrice,

. les matrices factorielles :

- des objets (plages) : espace factoriel dual (stations littorales plus ou moins corrélées aux axes),

- des variables (paramètres étudiés),

. les coordonnées sur les axes factoriels, les contributions relatives, les corrélations factorielles,

. éventuellement, tableau des coordonnées triées apportant ainsi une aide automatique à l'interprétation des contributions relatives, des coordonnées, distances au centre du nuage, etc ... facteur par facteur, ... y compris les données du codage disjonctif total (miroir).

. histogramme des points groupés,

. ordination : objets, variables, objets + variables avec les combinaisons d'axes suivantes : 1 - 2, 1 - 3, 2 - 3, 3 - 4 et 4 - 5,

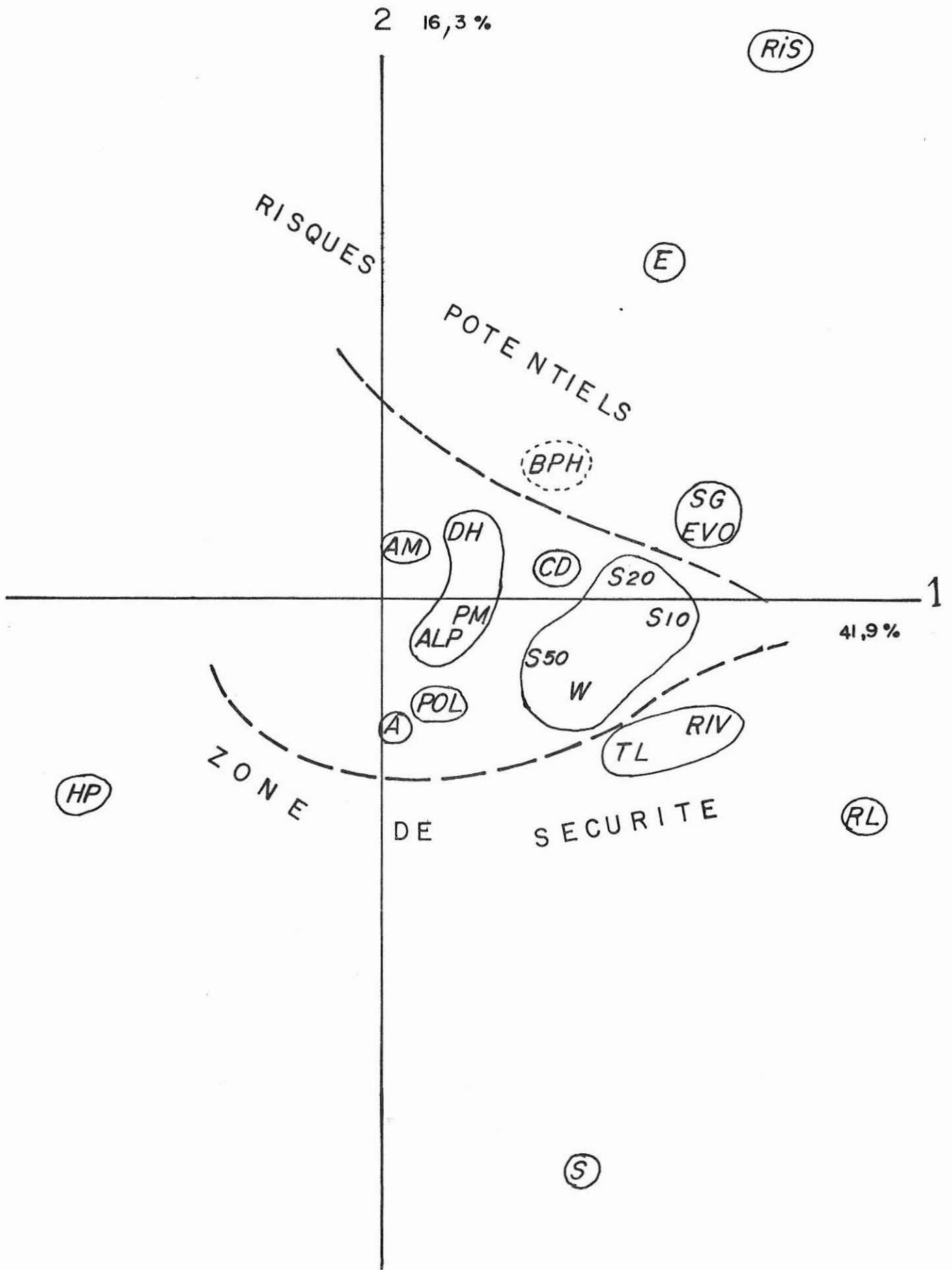


Fig .3 - ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES
 VARIABLES (A1 - A2)

3 - CONSEQUENCES SUR LES ETUDES D'IMPACT.

3.1. FACTEURS DYNAMIQUES PRIMAIRES INFLUENCANT LA SECURITE DES LITTORAUX.

L'analyse factorielle au niveau des variables (y compris les données disjonctives), fait apparaître quatre axes significatifs groupant 74,5 % de l'information : (fig. 3 et 4).

. Axe 1 : 41,9 % de la variance.

En relation avec cinq types de données :

- 1) granulométrie du sédiment,
- 2) présence d'une ride littorale servant de volant régulateur vis à vis du sédiment mobile,
- 3) degré d'évolution hydrodynamique : déferlements sur les rides, courants sagittaux et de dérive,
- 4) absence de l'herbier à Posidonies (accroissement des risques),
- 5) héritage des apports fluviaux.

. Axe 2 : 16,3 % de la variance.

Il exprime le bilan érosion - sédimentation : perte de sédiment, degré de risque lié à des bilans déficitaires.

. Axe 3 : 9,0 %.

Plus complexe à interpréter, en relation avec la topographie sous-marine et littorale, le déplacement des sables fins des hauts niveaux (SFHN) et du "prisme littoral".

On note les influences :

- 1) pentes faibles,
- 2) absence de transfert,
- 3) présence d'herbiers à Posidonies,
- 4) influence des aménagements et des pollutions .

. Axe 4 : 7,3 %.

Influence des rivières, des vents dominants et des aménagements littoraux.

. Les autres axes ($A_5 = 4,8 \%$) ne paraissent point significatifs.

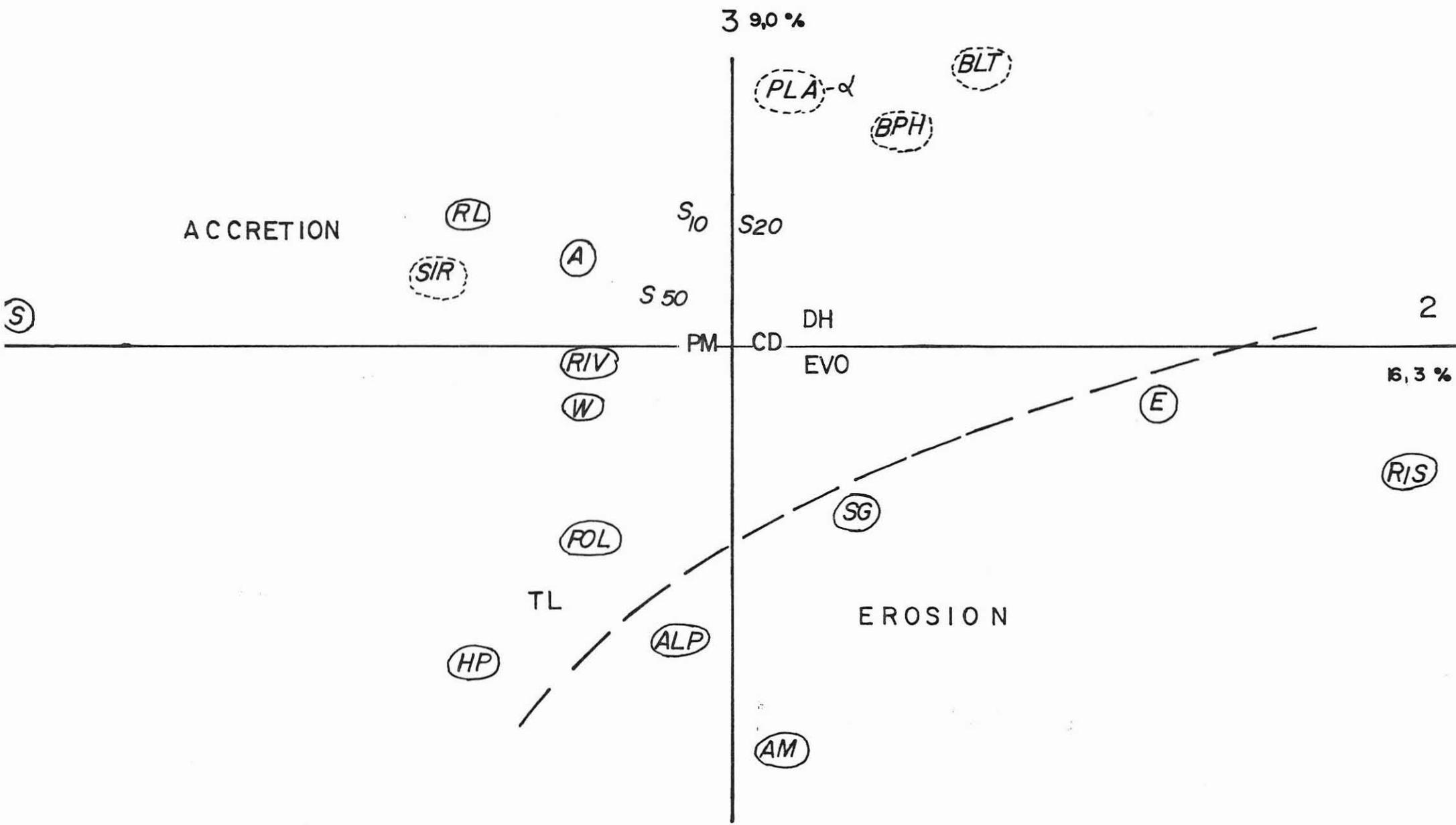


Fig. 4 - ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES . VARIABLES (A2 - A3)

Le tableau suivant résume nos résultats :

: AXE ET VARIANCE :	: COORDONNEES FACTORIELLES :	: CORRELATIONS FACTORIELLES :	: CONTRIBUTIONS RELATIVES :	: REMARQUES :
: 1	: RL = 0,762	: S10 = 0,911	: S10 = 0,829	: Facteurs gra-
: 41,9 %	: RIS = 0,644	: EVO = 0,867	: S50 = 0,701	: nulométriques,
	: RIV = 0,516	: S20 = 0,856	: S20 = 0,733	: rides litt.
	: EVO = 0,499	: S50 = 0,037	: RL = 0,537	: degré d'évolu-
	: S10 = 0,456	: RL = 0,733	: EVO = 0,752	: tion dynamique:
	: HP = - 0,456	: SG = 0,748	: CD = 0,611	: absence
	: - S50 = - 0,712	: CD = 0,782	: SG = 0,559	: d'herbiers,
	: - S10 = - 0,664	: RIV = 0,704	: RIV = 0,495	: apports
	: - S20 = - 0,505	: - HP = 0,508	: PM = 0,416	: flux.
		: PM = 0,645	: - HP = 0,258	
: 2	: RIS = 0,827	: - S = 0,860	: - S = 0,740	: Perte de
: 16,3 %	: E = 0,482	: RIS = 0,749	: RIS = 0,560	: sédiment,
	: S = - 0,876	: E = 0,645	: E = 0,416	: érosion.
	: RL = - 0,333			: Risques liés
	: HP = - 0,384			: à un bilan
	: AM = - 0,476			: déficitaire
: 3	: HP = - 0,384	: - ALP = 0,778	: - ALP = 0,605	: Pentes faibles:
: 9,0 %	: AM = 0,476	: - POL = - 495	: POL = 0,245	: Pollutions
	: - TL = 0,329	: - TL = 0,454	: - TL = 0,206	: Aménagements
	: ALP = - 0,344	: - HP = 0,428	: AM = 0,178	
	: POL = - 0,227	: - AM = 0,422	: HP = 0,783	
: 4	: AM = - 0,829	: W = 0,516	: AM = 0,540	: Influence des
: 7,3 %	: - AM = 0,308	: AM = -0,735	: W = 0,266	: vents domi-
	: W = 0,297			: nants et des
	: RIV = - 0,229			: aménagements
	: - SG = - 0,254			

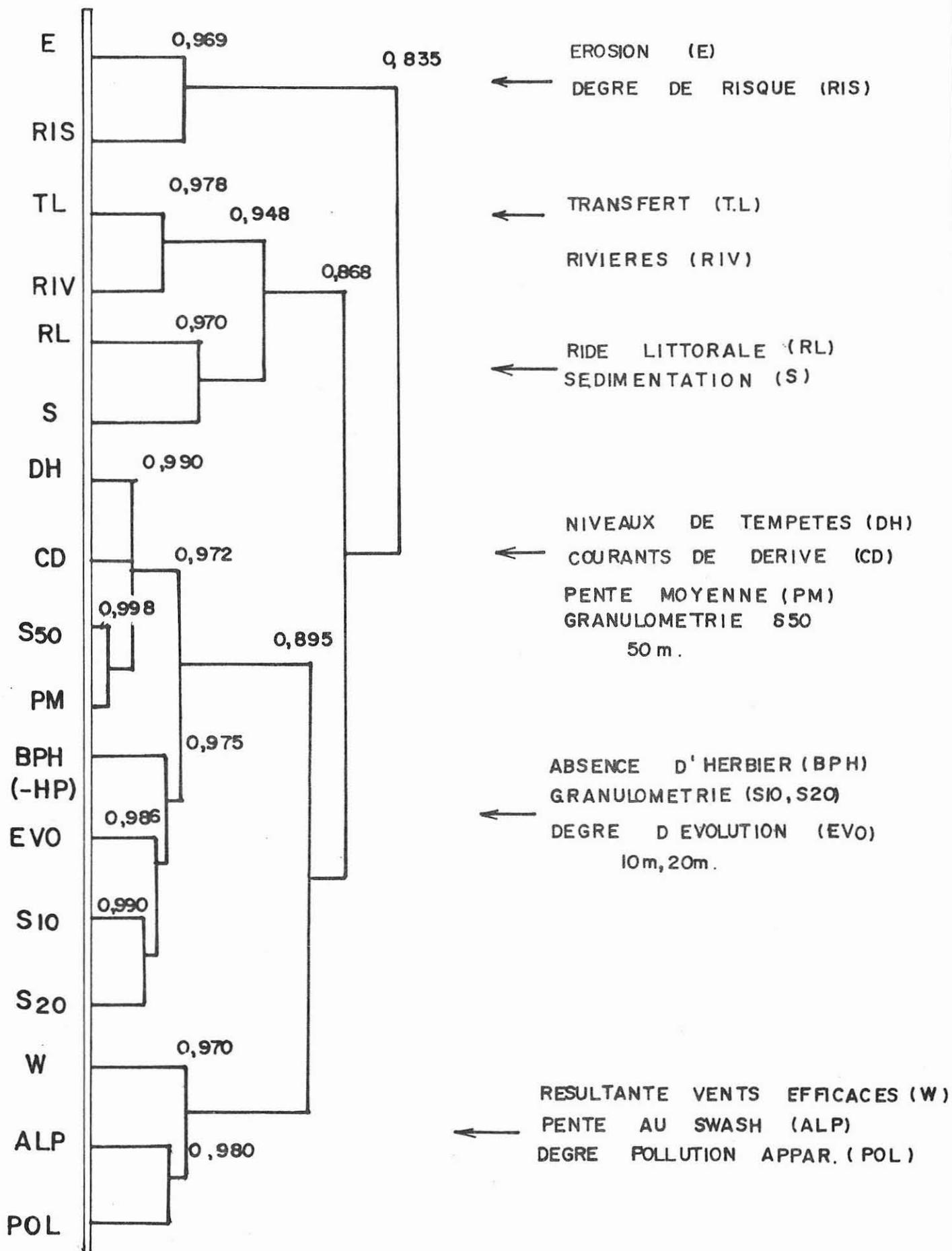


Fig. 5 - ANALYSE HIERARCHIQUE DES VARIABLES

L'analyse hiérarchique (fig. 5) montre les corrélations et liaisons suivantes définies par les noyaux :

- 0,998 : pente moyenne.
Granulométrie des fonds de - 20 à - 50 m (S_{50}).
- 0,990 : caractères granulométriques des sables du prisme littoral (S_{10}) et des sables de - 10 à - 20 m.
- 0,990 : hauteur des niveaux de tempêtes, courants de dérive, degré d'agitation et de pente moyenne / granulométrie (0,982).
- 0,980 : pente des plages à la zone du swash et degré de pollution.
- 0,978 : transfert littoral et apports fluviatiles.
- 0,975 : absence d'herbier à Posidonies, degré d'évolution.
- 0,970 : sédimentation active et présence d'une ride littorale.

Pour les données disjonctives, on a :

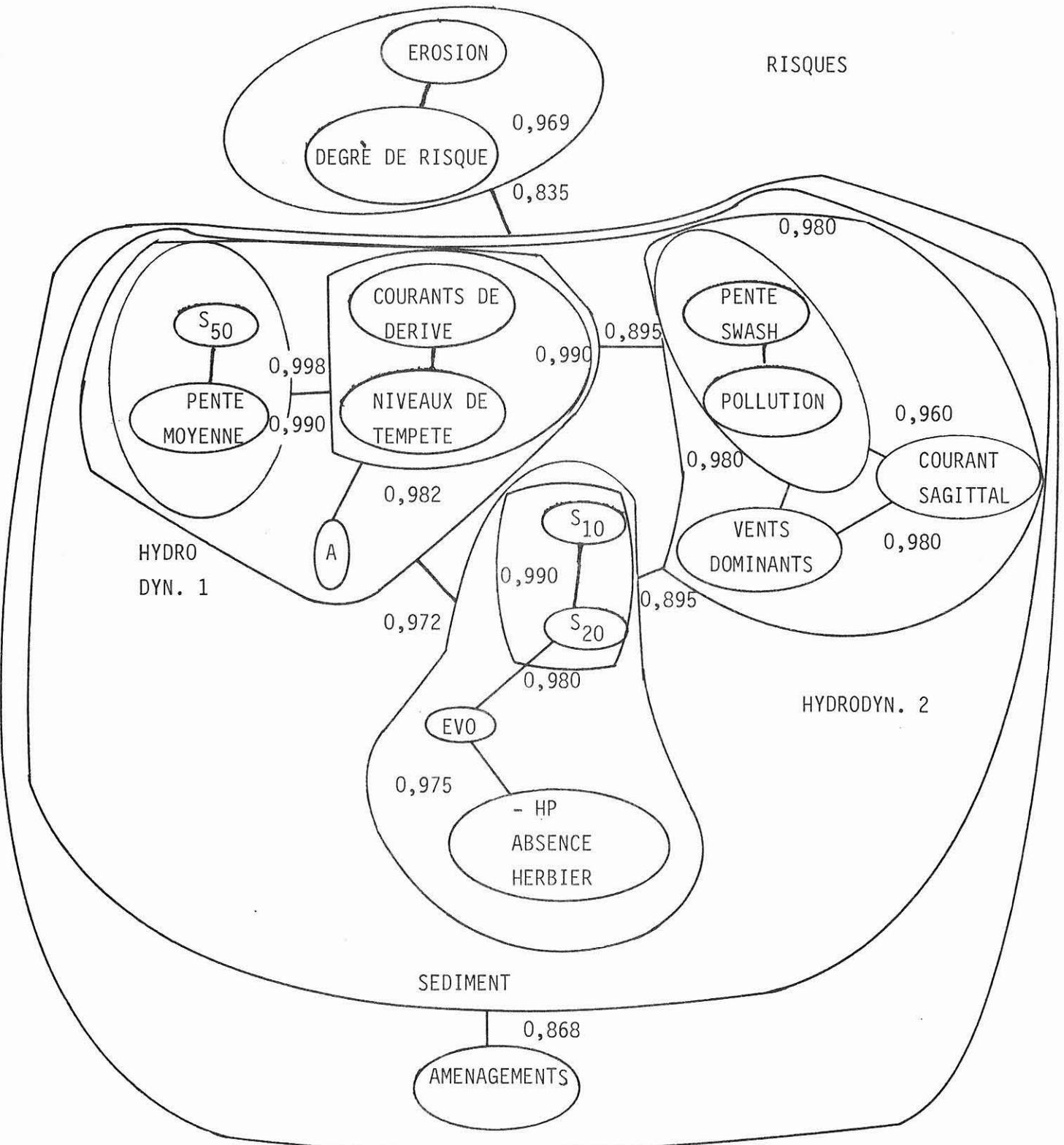
- 0,995 : absence de courants de dérive, stabilité des plages.
- 0,992 : absence d'érosion et degré de sécurité (trivialité).
- 0,960 : absence de vents forts (abri), sédimentation (trivialité).

L'agrégation des noyaux fait apparaître 7 variables fondamentales, dites "primaires", régissant principalement l'évolution des plages :

- 1 : degré d'érosion,
- 2 : pente moyenne du rivage à - 50 m,
- 3 : niveaux de tempêtes et granulométrie des sables du "prisme littoral" (S_{10}) : 4,
- 5 : degré d'agitation locale,
- 6 : pente des plages au swash et somme des vents dominants (W) significatifs (vitesse > 15 km/h) : 7.

On remarquera l'importance particulière des caractères granulométriques et des pentes vis à vis de l'évolution sédimentaire des plages étudiées (Dal Cin, 1976).

Le dendrogramme et l'analyse factorielle nous conduisent au modèle dynamique suivant :



Ce schéma appelle les commentaires suivants :

1) liaison évidente et triviale du taux d'érosion littorale et du degré de risque (0,969),

2) mise en évidence de 3 noyaux liés à 0,972 et 0,895 :

1°) Hydrodynamique 1 :

. Pente moyenne et profil des fonds liés à la granulométrie et à l'angle de stabilité des talus sous-marins jusqu'à une profondeur de 50 m,

. Courants de dérive littoraux,

. Importance des niveaux de tempêtes.

2°) Hydrodynamique 2 :

. Pente des plages au swash modulée par les vents dominants, déferlements obliques et zones de départ des courants sagittaux,

. Liaison avec le degré de pollution (visible) des plages. Les plages à très faible pente et les plus exposées aux vents dominants efficaces s'avèrent les plus polluées par les débris flottés et les galets de goudron.

3°) Sédiment :

. Granulométrie des sables mobiles, de 0 à - 20 m et degré de stabilité liés à l'absence d'herbiers à Posidonies à 0,980 et 0,975,

. Les sables mobiles isométriques fins, montrant des pentes sous-marines faibles, malgré une situation exposée, peuvent donner des lignes de côte stables confortées par la présence d'un herbier.

3) Les noyaux précités (hydrodynamique 1 et 2, sédiment) sont fortement influencés par la présence d'aménagements (épis, installations de ports de plaisance) à 0,868.

4) Le degré de risque est lié (ou évalué) par les données des douze paramètres hiérarchisés, à 0,835.

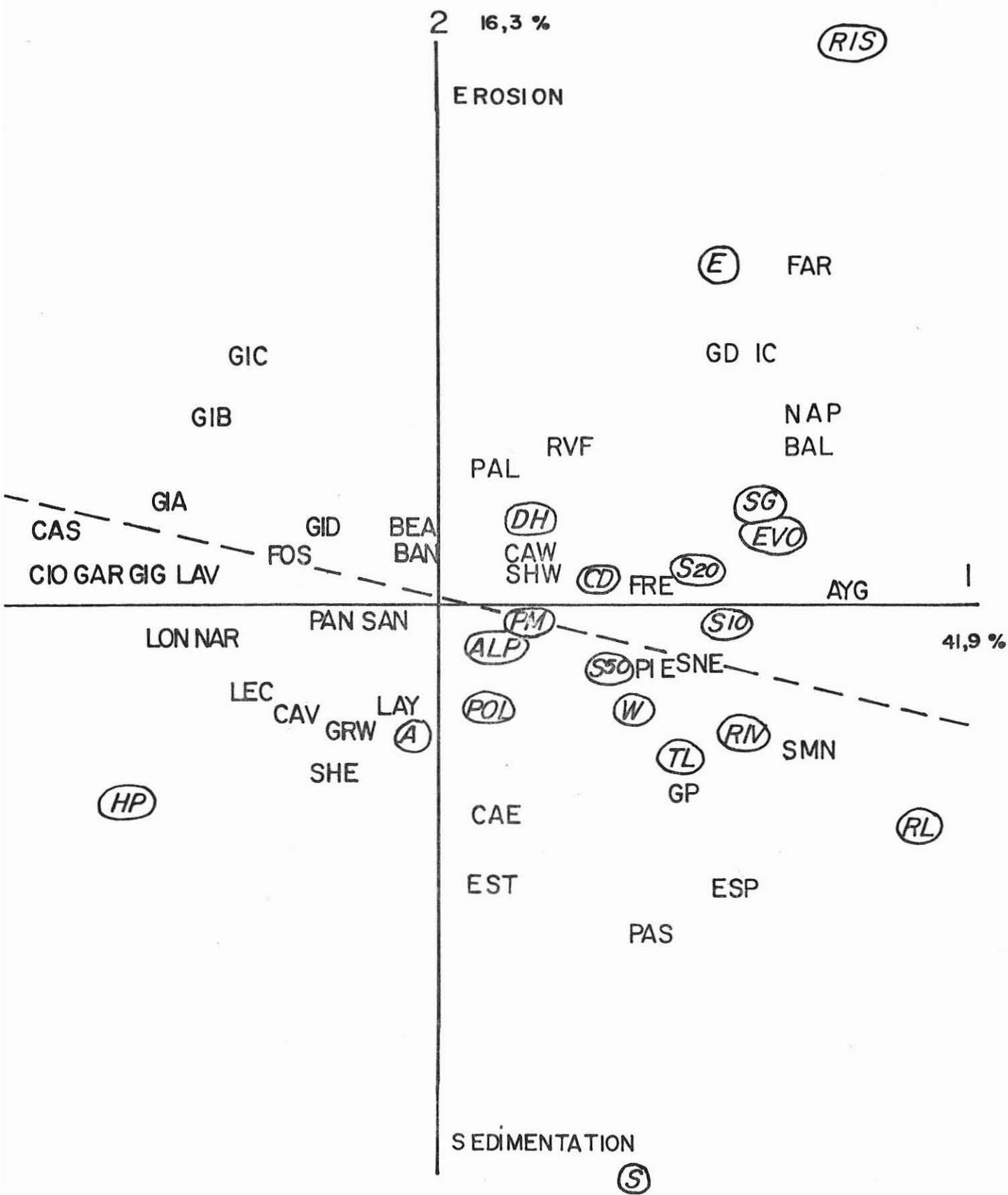


Fig.6 - ANALYSE DES CORRESPONDANCES
 OBJETS + VARIABLES (A1 - A2)

3.2. MODELES LITTORAUX.

Deux notions sont à considérer :

- les influences sédimentologiques et hydrodynamiques,
- les ensembles littoraux.

3.2.1. Influences sédimentologiques et hydrodynamiques.

L'analyse factorielle des correspondances (fig. 6) met en évidence 4 axes significatifs groupant 71,5 % de l'information :

. Axe 1 : 41,9 % de la variance : (fig. 6).

Données : Observations + variables,

Cet axe reflète les états d'instabilité du littoral ou, au contraire, une évolution vers un processus stable et sûr.

Ces tendances sont déterminées par l'influence majeure des facteurs granulométriques et des forts courants de dérive.

Ceci nous amène à la définition de plages érodées à très érodées concrétisées par deux nuages :

1) noyau camarguais et plage de Saint Aygulf à rides littorales multiples (2 ou davantage), They de la Gracieuse, etc ...

2) noyau dépourvu de rides littorales : Giens, Cassis, la Ciotat, le Brusq, Gigaro, d'où : absence de volant sédimentaire protecteur aggravé, s'il y a lieu, par :

- l'absence de transfert notable,
- la présence de courants de décharge.

. Axe 2 : 16,3 % de la variance (fig. 7).

Le bilan érosion - sédimentation est reflété par cet axe :

- érosion : coordonnées positives,
- sédimentation : coordonnées négatives.

Le nuage de points du plan factoriel A_1 , A_2 , groupe des plages très exposées, bien érodées ou très "sédimentées" au contraire, avec des transferts importants avec forts colmatages compensateurs à l'aval : Faraman, Cavalaire, Espiguette, Estanci, Pampelonne Sud. On note des relations éventuelles avec les courants de décharge et un herbier dégradé.

. Axe 3 : 9 % (fig. 7).

En relation partielle avec la mobilité des sables fins des hauts niveaux,

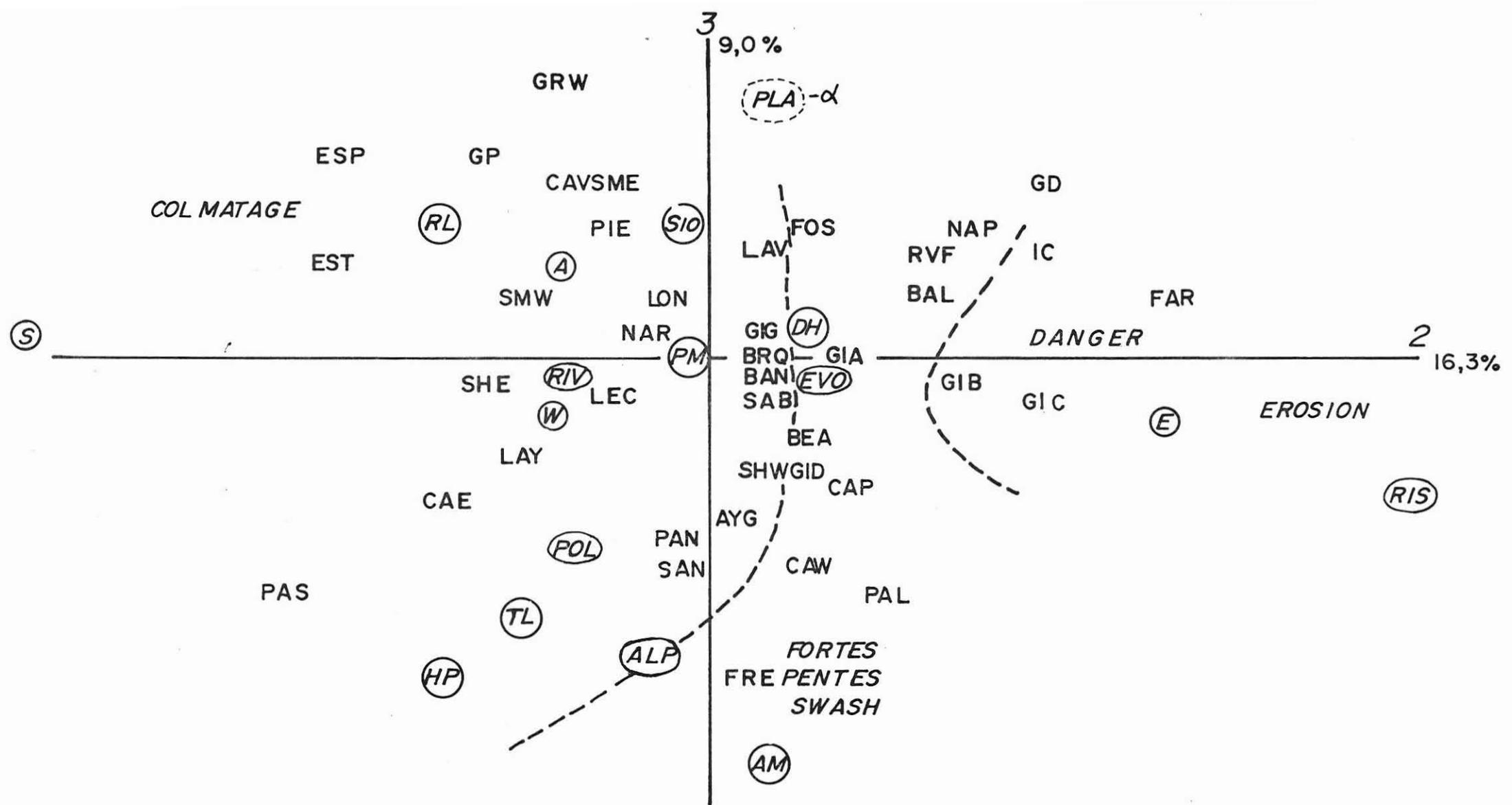


Fig.7- ANALYSE DES CORRESPONDANCES - OBJETS + VARIABLES (A2 - A3)

les pentes et les modalités des aménagements. Les déplacements de sédiments y sont importants ou localisés : courants sagittaux, amortissements liés aux pentes, transferts, érosions et colmatages locaux : Fréjus-plage, Palyvestre, Sanary, Grande Palun, Grau du Roi Ouest.

. Axe 4 : 7,3 %.

Il exprime partiellement les effets consécutifs aux vents dominants "significatifs" et aux apports des fleuves (Rhône) ou rivières (colmatages compensateurs dans les baies) : Pampelonne Sud, Cavalaire Est, Les Lecques, Grau du Roi, etc ... Les vents dominants traduisent de forts courants de décharge (Beauvallon), assez dangereux.

. L'axe 5 : (4,8 %) et les autres axes ne sont point significatifs ou trop difficiles à interpréter.

Le tableau suivant résume nos résultats :

AXE ET VARIANCE	COORDONNEES FACTORIELLES	CORRELATIONS FACTORIELLES	CONTRIBUTIONS RELATIVES	REMARQUES
1 41,9 %	AYG = 0,616 BAL = 0,578 NAP = 0,559 SMW = 0,551 FAR = 0,543 IC = 0,478 BRQ = - 0,413 GIG = - 0,452 GAR = - 0,477 CAS = - 0,563 CIO = - 0,565	AYG = 0,861 BAL = 0,826 NAP = 0,782 SMW = 0,767 GIA = - 0,837 GIC = - 0,880 GAR = - 0,899 CAS = - 0,894 CIO = - 0,925	CIO = 0,856 LON = 0,819 GAR = 0,809 CAS = 0,799 GIG = 0,774 AYG = 0,741 GIA = 0,700 BAL = 0,683 LAV = 0,669 BRQ = 0,662	Plages camar- guaises à rides: littorales (érosées) et plages très érosées dépourvues de rides littora- les.Courants sagittaux.
2 16,3 %	FAR = 0,473 GD = 0,359 IC = 0,354 ESP = - 0,434 EST = - 0,443 PAS = - 0,485	GIG = 0,693 FAR = 0,613 GIB = 0,579 IC = 0,542 CAE = - 0,632 EST = - 0,769 SHE = - 0,682 PAS = - 0,647	EST = 0,591 GIG = 0,481 SHE = 0,464 PAS = 0,419 CAE = 0,400	Bilans sédimen- taires déséqui- librés. Transferts et plages très exposées. Relations éven- tuelles avec un herbier.
3 9 %	GRW = 0,321 GP = 0,228 PAL = - 0,270 PAS = - 0,279 FRE = - 0,375	GRW = 0,595 GP = 0,407 SME = 0,386 CAV = 0,343 FRE = - 0,578 CAW = - 0,583 SAN = - 0,584 PAL = - 0,585	GRW = 0,354 PAL = 0,342 SAN = 0,341 CAW = 0,340 FRE = 0,334	Influences mix- tes, pentes, transferts et courants, dépla- cements de sé- diments impor- tants ou loca- lisés.
4 7,3 %	PAS = 0,318 CAE = 0,294 PAN = 0,294 LEC = - 0,230 BEA = - 0,281 GRW = - 0,337	PAN = 0,632 CAE = 0,552 PAS = 0,424 BEA = - 0,617 GRW = - 0,624	PAN = 0,399 GRW = 0,389 BEA = 0,380 CAE = 0,305	Vents dominants et courants de décharge, ap- ports des riviè- res.

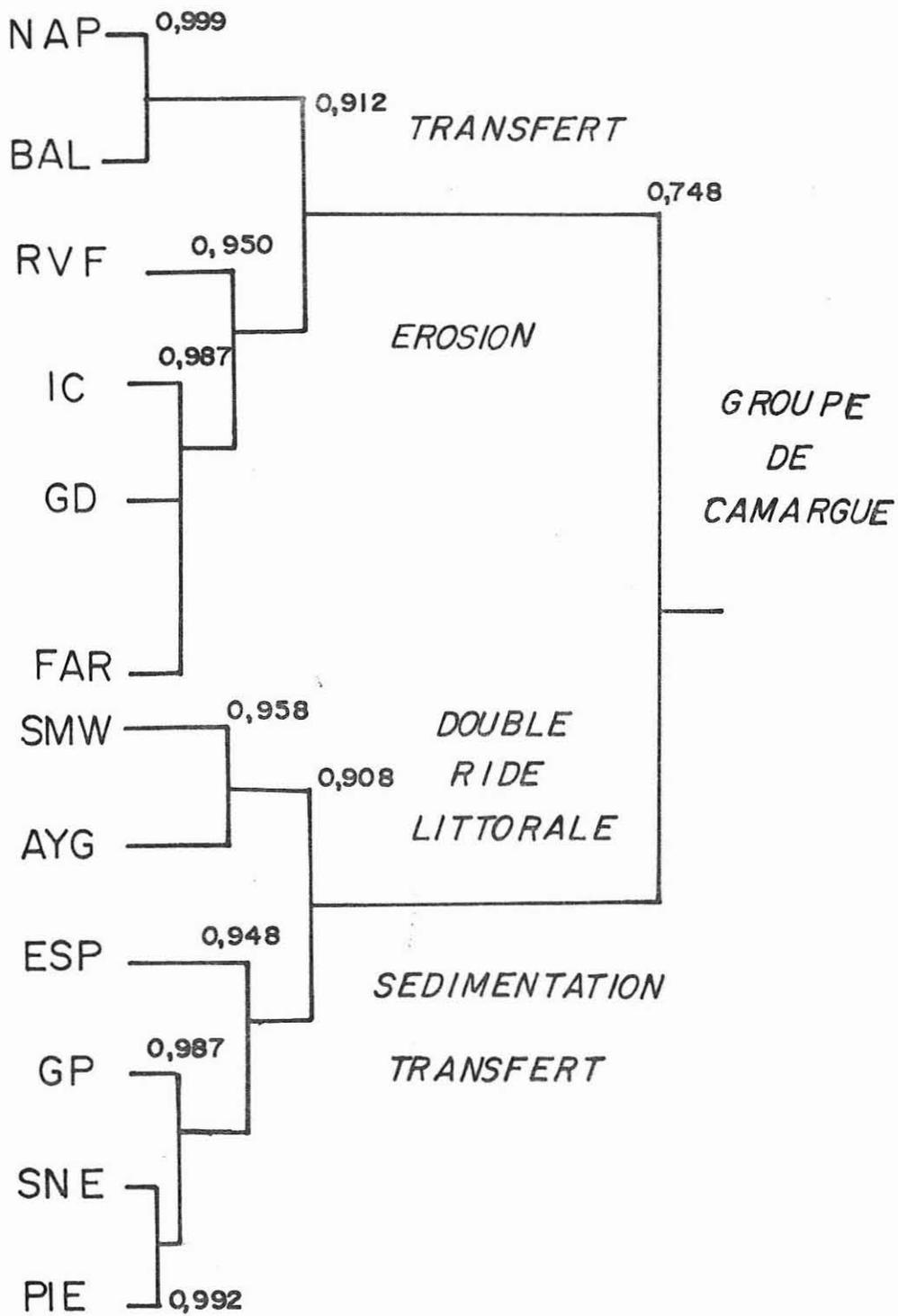


Fig.8-CLASSIFICATION HIÉRARCHIQUE DES PLAGES

3.2.2. Ensembles littoraux.

La classification hiérarchique automatique des plages étudiées met en évidence les noyaux suivants (fig. 8).

1°) Ensemble camarguais : deux noyaux du 2ème ordre sont reliés (classification descendante) à 0,748.

1.1.) Zones menacées, à très forte érosion : Napoléon, Balancelle (0,999), Rhône Vif (0,950), Icard, Grau de la Dent et Faraman (0,987).

1.2.) Plages à double ou multiple (>2) rides littorales : Saintes Maries de la Mer Ouest, Saint Aygulf (0,958), Espiguette, Grande Palun, Sainte Maries de la Mer Est, Piémansson(0,908). Avec ses rides multiples (3), la plage de Saint Aygulf a été agglomérée à l'ensemble camarguais.

Erosion localisée, parfois forte, ou sédimentation active liée au delta (Russel, 1942).

A l'exception de Saint Aygulf, on n'observe pas de liaison significative avec les autres plages du littoral rocheux.

2°) Presqu'île de Giens : érosion forte, plages menacées et transfert important. Cet ensemble, en déséquilibre, forme un noyau compact (0,999 à 0,987) (fig. 9).

3°) Côte rocheuse exposée : stabilité assez générale malgré des érosions fortes locales (fig. 10) : Est du golfe de Fos, Les Laurons (0,992), Nartelle, La Londe, Gigaro (0,992), le Brusq, les Sablettes (0,987), Cassis, La Ciotat (0,987), la Garonne. Les noyaux 2 (Giens) et 3 sont liés à 0,890.

4°) Plages exposées à évolution plus lente et stabilité relative : Grau du Roi Ouest, Estanci (0,960), Salins d'Hyères Est, le Lavandou (0,987), Les Lecques, Cavalière (fig. 10).

5°) Grandes plages exposées, avec transferts, déséquilibres et érosion des fonds : Pampelonne, Cavalaire Est (0,930), Bandol, Salins d'Hyères Ouest (0,992), Palyvestre, Beauvallon (0,980), Sanary, Cavalaire Ouest (0,975), Fréjus (0,930) (fig. 10).

Un échantillonnage plus fin aurait probablement fait apparaître des sous groupes intéressants.

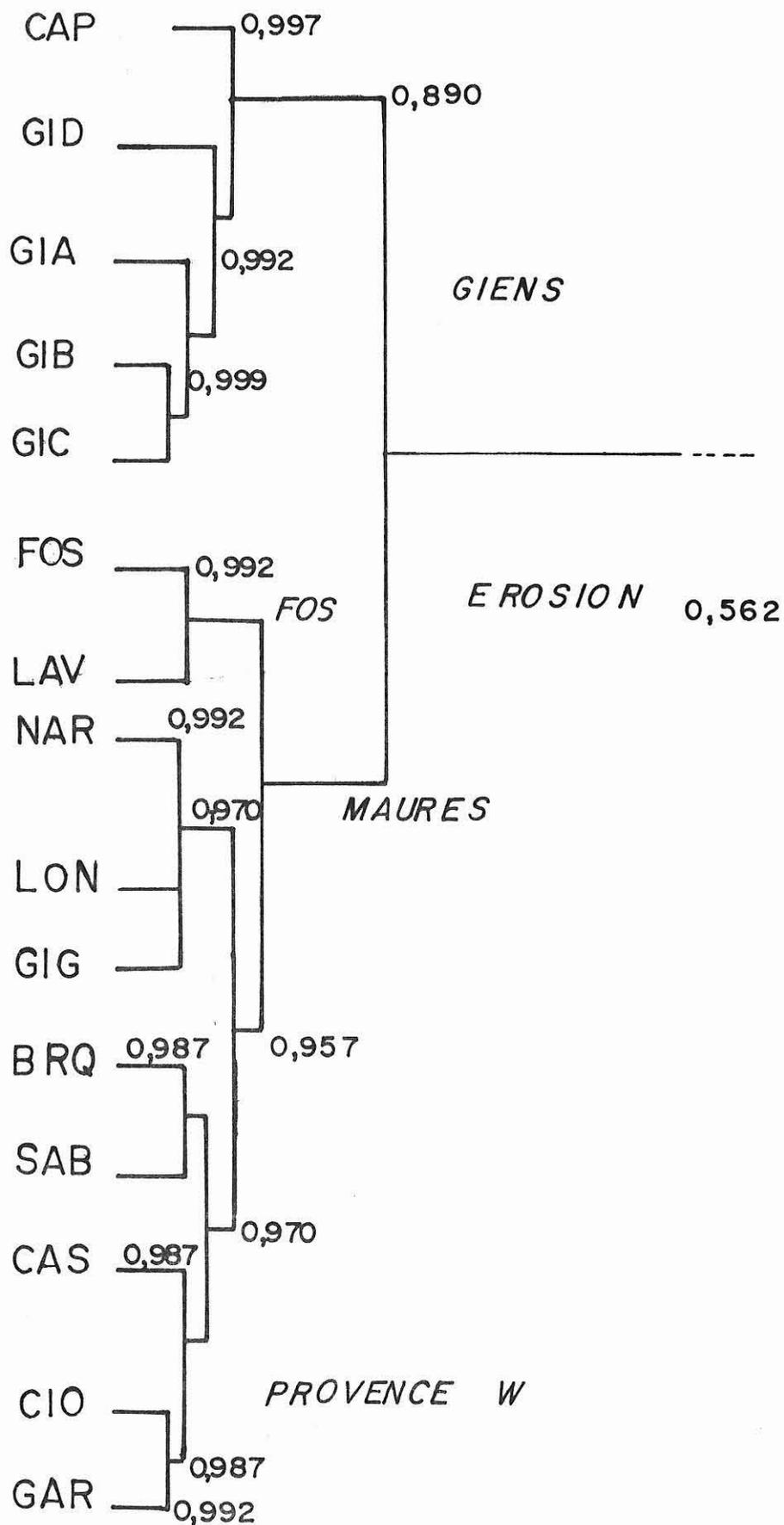


Fig -9-CLASSIFICATION HIERARCHIQUE DES PLAGES (SUITE)

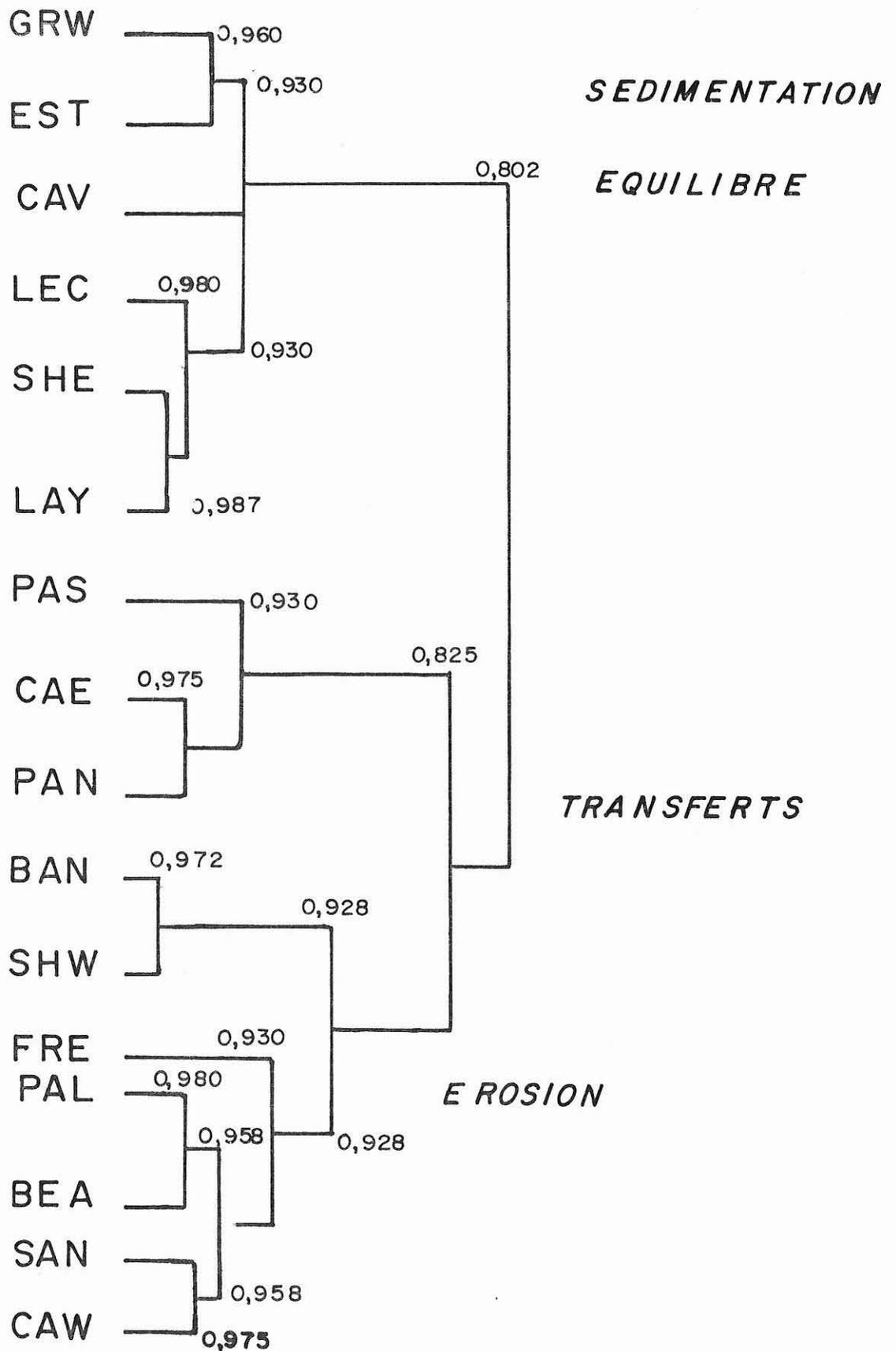
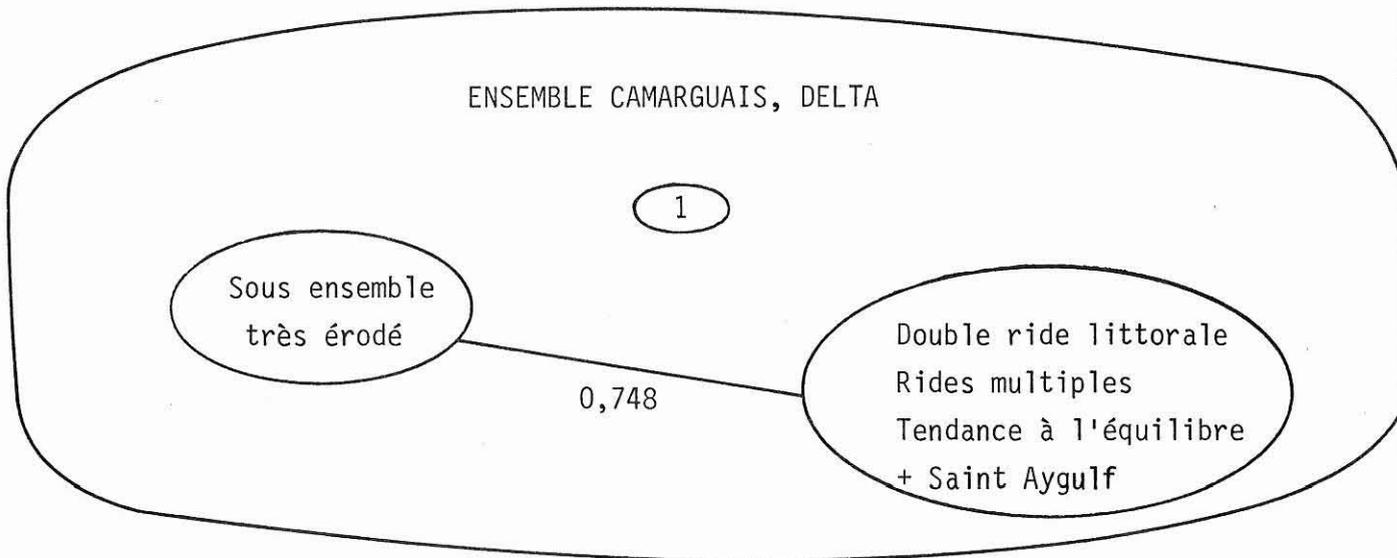


Fig 10 - CLASSIFICATION HIÉRARCHIQUE DES PLAGES (FIN)

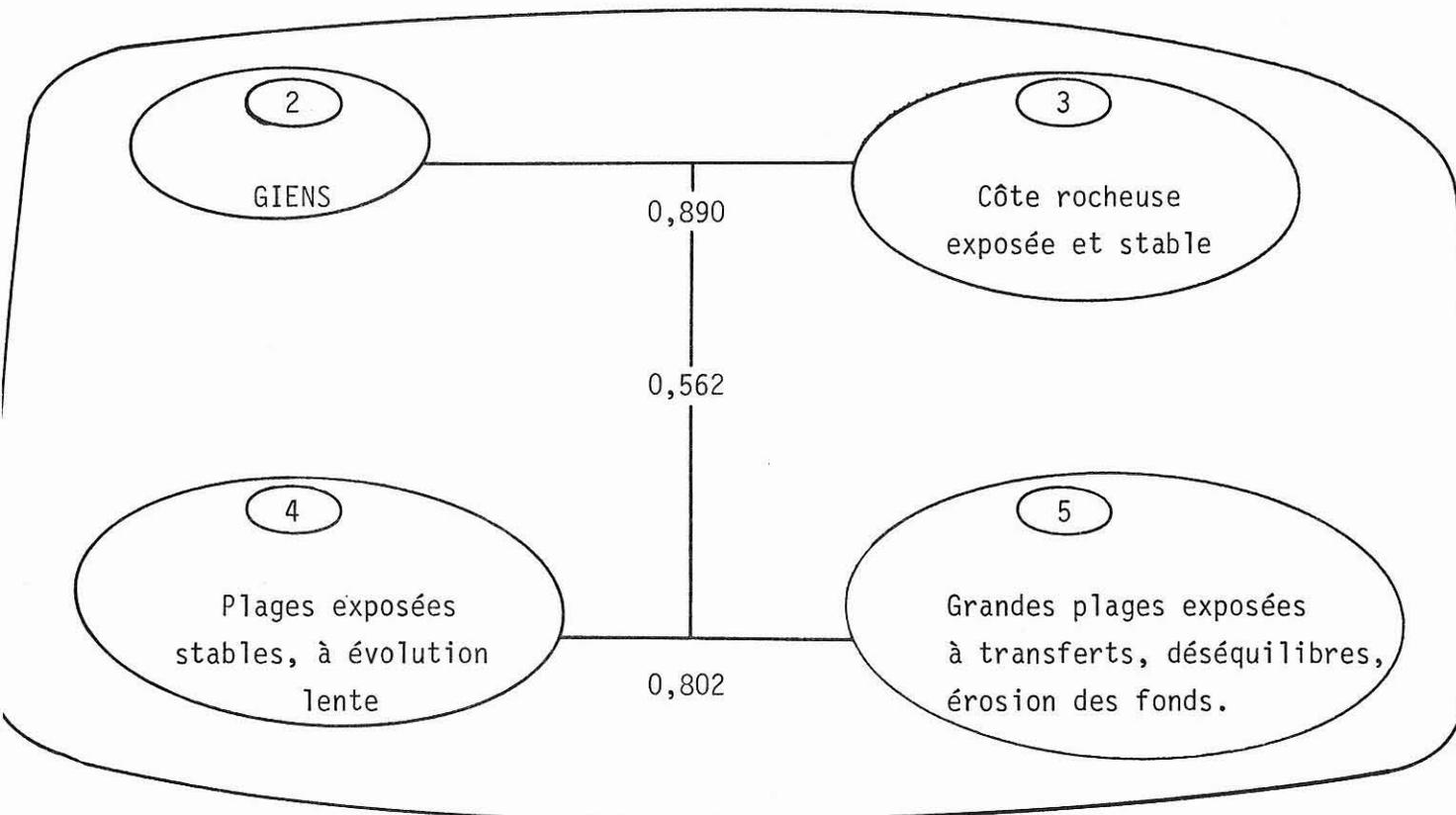
Les noyaux 4 et 5 sont liés à 0,802.

Les noyaux 2 (Giens) + 3 sont liés à 4 + 5 par 0,562.

Le dendrogramme des observations peut être résumé par le schéma suivant :



pas de liaison



Côte rocheuse calcaire ou métamorphique

3.3. ACTIONS A COURT ET MOYEN TERMES.

L'étude analytique des variables et la hiérarchie des modèles littoraux mis en évidence permet d'envisager une stratégie littorale à court et moyen termes.

Si nous considérons les graphes d'ordination donnés par l'analyse des correspondances (fig. 6 et 7), on pourra définir des "pôles" essentiels pour une étude de site ou d'impact lié à un aménagement éventuel : degré de risque, érosion, sédimentation, état de l'herbier à Posidonies, influence d'une rivière et pollution des plages par les déchets flottés, degré d'agitation (sécurité des baignades). La distance probabiliste du "Chi - 2" exprimera le "profil" d'un site choisi (ou simulé) par rapport aux facteurs primaires identifiés et le degré d'urgence d'une intervention éventuelle.

Plusieurs cas sont à distinguer :

- Plages menacées,
- Sites à menaces différées,
- Zones stables,
- Plages en voie de colmatage et conséquences.

3.3.1. Plages menacées.

La projection simultanée des variables et des observations dans le plan factoriel $A_1 A_2$ groupant 58,2 % de l'information (fig. 6) fait apparaître une séquence de sites à risques décroissants, en fonction de la distance du "Chi - 2" :

- 1 - Faraman,
- 2 - Plage d'Icard (Petite Camargue) : recul de 3 m/an (Clairefond, 1977 ; Blanc, 1979),
- 3 - Grau de la Dent,
- 4 - Plage Napoléon,
- 5 - Balancelle (They de la Gracieuse),
- 6 - Rhône Vif (Petite Camargue),
- 7 - Saint Aygulf,
- 8 - Palyvestre,
- 9 - Fréjus,
- 10 - Cavalaire ouest,
- 11 - Salins d'Hyères ouest,

12 - Beauvallon (baie de Saint Tropez),

13 - Giens suivant la gradation : point C, point D, puis point B.

Les plages de 1 à 7 sont prioritaires et nécessitent une protection immédiate ou renforcée :

- Faraman, déjà équipée (Duboul-Razavet, 1956 ; Blanc, 1977 - 1979), aurait été déjà détruite sans les aménagements existants. Les observations sur le terrain et sa proximité du "pôle" risque justifient des protections frontales et des épis latéraux complémentaires.

- Icard est en voie de recul rapide et permanent (3 m/A à davantage). Ici, la Petite Camargue s'avère "dévorée" par la mer sans protection. Il est nécessaire d'y entreprendre les aménagements efficaces analogues à ceux du Rhône Vif.

- Grau de la Dent, Plage Napoléon, Balancelle : menaces moindres mais l'action de tempêtes exceptionnelles et de longue durée, avec DH élevé, amèneraient une menace sur les salines et les installations industrielles de Fos.

- Le débouché du Rhône Vif (Camargue occidentale), aussi menacé naguère que la plage d'Icard a été fortement aménagé par des épis robustes et rapprochés. De ce fait, le site est passé, vis à vis du "pôle" risque, du rang 2 au rang 6.

- Equipements en cours et menaces à court terme à Saint Aygulf.

3.3.2. Sites à menaces différées.

Fréjus, Cavalaire ouest, Giens (Tombolo ouest) et Beauvallon sont menacés par une érosion persistante et le déferlement de courtes vagues obliques très cambrées. Cavalaire ouest et Beauvallon ont été partiellement équipés d'épis bien adaptés. Cet aménagement doit être étendu aux proches rivages adjacents.

Pour Fréjus et Giens Ouest, les aménagements projetés doivent être étudiés avec soin du fait des relations avec des types de fonds et de peuplements menacés par les courants sagittaux et les pollutions (cas des herbiers).

Menaces d'érosion au Palyvestre (coupure de la route), à Fos et Piémansson : fortes houles d'Est et Est - Sud Est.

3.3.3. Zones stables.

- Saintes Maries de la Mer Ouest : stabilisée par les apports du Petit Rhône et les ouvrages.

- Pampelonne Nord, Cassis, La Ciotat, La Garonne, La Londe, Grande Palun, Les Lecques, Cavalière, Cavalaire Est (côte rocheuse, petits transferts et compensations locales, présence d'un herbier à Posidonies protégeant les fonds littoraux).

3.3.4. Plages en voie de colmatage.

A l'opposé du "pôle" risque, elles s'avèrent, en corrélation inverse, proches du "pôle" sédimentation. Citons par ordre croissant de la distance :

- 1 - Pampelonne Sud,
- 2 - Espiguette (Camargue occidentale),
- 3 - Estanci (Giens Est),
- 4 - En une moindre mesure : Cavalaire Est (transfert du contre-courant de la Baie) et Grande Palun (Camargue Est).

3.3.5. Conséquences.

Il s'agit toujours de zones situées en "aval" de transferts importants (de 4 à 30 km). Ces colmatages actifs développent le linéaire utilisable et protègent le rivage. Ils doivent être cependant confrontés avec des "pôles" dont l'importance n'est point à démontrer : pollution, herbiers à Posidonies.

1°) "Pôle" pollution.

Il s'agit des débris flottés, galets de goudron, etc ... (et non de la pollution bactérienne ou chimique). On aura, par ordre de distances croissantes :

- 1 - Laurons (Fos),
- 2 - Lavandou, Grau du Roi Ouest, Sanary, Salins d'Hyères Ouest, Cavalaire Est,
- 3 - Salins d'Hyères Est, Estanci (Giens), Fréjus, Cavalaire Ouest, Pampelonne Sud, Cavalière, Saintes Maries de la Mer Est,
- 4 - Les Lecques, Fos, Palyvestre, Fréjus, Piémansson, Grande Palun,

2°) "Pôle" herbier à Posidonies.

- 1 - Les Lecques, La Londe : herbier à mode régulier,
- 2 - Cavalière, Salins d'Hyères Est,
- 3 - La Ciotat, Garonne, Gigaro, Lavandou, Brusq,
- 4 - Les Laurons, Cassis, Pampelonne Nord : mode dégradé,
- 5 - Estanci, Cavalaire Est, Giens (Tombolo Ouest) : point A, point D, point B, point C.

En 1 : herbiers denses et transferts,

En 2 : mêmes remarques, courants de décharge,

En 3 : herbiers denses au fond des baies avec une bonne compensation générale aux érosions locales,

En 4 : herbier dégradé, à régénération insuffisante et pollution accentuée,

En 5 : herbier pollué en voie de destruction, fortement érodé par les chenaux de décharge et les courants de fond (Blanc et Jeudy de Grissac, 1978).

L'analyse des correspondances permet d'évaluer le degré de destruction de cet herbier en fonction de la distance au pôle : exemple de Giens (Tombolo occidental très menacé) :

- . herbier du point A : relative stabilité,
- . herbier du point D : assez instable, pollution, pas de compensation,
- . herbier du point B : érosion forte, pollution importante,
- . herbier du point C : érosion très forte + pollution et destruction aux "Passe Pieds".

La sécurité des plages sera une fonction de deux paramètres soulignés par l'analyse multivariante :

1°) Force des courants de dérive : ("pôle" CD) : on a les distances croissantes :

- 1 - Fréjus : dérives fortes, danger par vent d'Est et Est - Sud Est,
- 2 - Salins d'Hyères Ouest et Cavalaire Ouest,
- 3 - Piémansson, Rhône Vif, Saintes Maries de la Mer Est,
- 4 - Palyvestre,
- 5 - Beauvallon,
- 6 - Saint Aygulf, Sanary,
- 7 - Pampelonne, Giens D, Laurons, Cavalaire Est, Saintes Maries de la Mer Ouest, Napoléon, Balancelle, Icard et Grau de la Dent.

2°) Force des courants sagittaux : ("pôle" SG) : même interprétation des distances.

- 1 - Balancelle : érosion à l'extrémité du They de la Gracieuse,
- 2 - Napoléon : érosion et transfert (Vernier, 1972),
- 3 - Saint Aygulf : érosion par "rip currents", ouvrages réalisés,
- 4 - Fréjus : courants de retour au large dangereux par forts vents d'Est,
- 5 - Absence d'herbier (degré 5) : disjonction (code BPH),
- 6 - Rhône Vif, Piémansson, Saintes Maries de la Mer Est,
- 7 - Palyvestre, Grande Palun, Saintes Maries de la Mer Ouest.

La sécurité globale est estimée en fonction inverse de la distance à partir du "pôle disjonctif" (code SIR = inv. RIS) :

On a, par ordre de sécurité décroissante :

- 1 - Salins d'Hyères Est,
- 2 - Présence d'un herbier à Posidonies dense (code HP : pôle),
- 3 - Cavalière,
- 4 - Lecques, Grau du Roi Ouest,
- 5 - Lavandou,
- 6 - La Londe, La Nartelle,
- 7 - Estanci, Cavalaire Est.

On a, à l'opposé, en corrélation inverse (RIS) : Faraman, Icard, Grau de la Dent (fig : 6 et 7).

3.3.6. Conduite à tenir.

1°) Aménagements prioritaires à apporter ou à développer, avec un complément d'informations nécessaire :

- . Faraman (Camargue),
- . Icard (Petite Camargue),
- . Fréjus et Saint Aygulf,
- . They de la Gracieuse, Balancelle, Napoléon.

2°) Aménagements à poursuivre ou à proposer à moyen terme , études en cours ou à développer, essais d'ouvrages en vraie grandeur :

- . Giens (tombolo Ouest),
- . Beauvallon (golfe de Saint Tropez),
- . Salins d'Hyères Ouest, Cavalaire Ouest,
- . Plage de Fos.

4 - CONCLUSION.

Les recherches de sédimentologie dynamique appliquées au littoral sableux du Sud Est de la France, du Grau du Roi à Fréjus, ont nécessité la mise au point d'une méthodologie nouvelle et la sélection de 43 plages caractérisées par leur coefficient d'occupation et leur importance économique ou naturelle.

Un codage approprié a permis de relier les observations sur le terrain, les plongées, missions aériennes, données cartographiques, résultats de laboratoire, etc ... Vingt variables ont été retenues. Les données ont été traitées par les analyses d'inertie et hiérarchique. Il a été utilisé l'analyse des variables disjonctives (miroir).

Ces travaux ont mis en évidence les résultats suivants :

1°) Définition des facteurs dynamiques primaires influençant la sécurité des littoraux :

- 1 - Taux et vitesse d'érosion,
- 2 - Trois "noyaux" de variables (fig. 5),

2.1. Hydrodynamique 1 : courants de dérive, pentes moyennes de 0 à - 50 m, niveaux de tempêtes, degré d'agitation.

2.2. Hydrodynamique 2 : pentes des plages au swash, somme des vents efficaces (vitesse >15 m/h en % jours/an), présence de courants sagittaux.

2.3. Sédiment : caractères granulométriques des sables mobiles de 0 à 20 m ("prisme littoral" et "sables fins des hauts niveaux"), absence ou présence d'un herbier à Posidonies déterminant le degré d'évolution des plages.

L'impact des aménagements a été estimé par la méthode de la distance du "Chi - 2", vis à vis des variables précitées. Il en est de même pour le degré de risque.

2°) Une classification automatique des plages et portions du linéaire de rivage étudié met en évidence :

* Les influences sédimentologiques et dynamiques : état d'instabilité du littoral (facteur 1), bilans sédimentaires (facteur 2), caractères des sédiments mobiles (facteur 3) et les effets des vents dominants (facteur 4).

* Modélisation des ensembles littoraux :

1 - Ensemble Camarguais :

1.1. Erosion menaçante : Faraman, Petite Camargue, They de la Gracieuse.

1.2. Stabilisation par rides littorales : Espiguette, Grande Palun, Saintes Maries de la Mer Est, etc ...

2 - Ensemble de Giens : à forte érosion, transfert, plages et herbiers menacés, notamment au tombolo occidental.

3 - Côte rocheuse exposée, mais relativement stable : côte des Maures, Toulon, Le Brusq, La Ciotat, Cassis, etc ...

4 - Plages exposées à évolution plus lente et stabilité relative : Grau du Roi Ouest, Lavandou, Les Lecques, etc ...

5 - Grandes plages exposées, à transfert important, déséquilibre et érosion des fonds : Pampelonne, Cavalaire Est, Sanary, Bandol, Salins d'Hyères Ouest, Palyvestre, Beauvallon, Fréjus.

3°) Conséquences sur les études d'impact dans le domaine littoral.

La méthode des distances par rapport au "pôle" risque pratiquée sur les plans factoriels groupant le maximum d'informations permet de définir :

1 - Plages menacées : Faraman, Icard, Balancelle, Rhône Vif, Saint Aygulf.

2 - Sites à menaces différées : Fréjus, Cavalaire Ouest, Giens, Beauvallon.

3 - Zones stables : côte rocheuse, petits transferts, compensations locales, protection de l'herbier à Posidonies : Pampelonne, côte des Maures, La Garonne, La Ciotat, Cassis, etc ...

4 - Zones en voie de colmatage : Espiguette, Estanci, Camargue Est (Grande Palun), au terme des transferts importants.

La pollution "visible" (débris flottés et galets de mazout) ainsi que l'état stabilisateur de l'herbier à Posidonies ont été estimés par la même méthode pour toutes les plages. De même, le coefficient de sécurité (disjonction - miroir du

facteur "risques"), demeure sous la dépendance étroite :

- de la force des courants de dérive, liés à l'intégration annuelle moyenne des vents efficaces,

- de la force des courants sagittaux s'exerçant sur des fonds à pentes variables (rôle de l'angle d'équilibre des talus sous-marins).

La conduite à tenir consiste, par l'emploi combiné de ces méthodes, à définir une priorité des interventions :

1 - Aménagements indispensables à court terme : Faraman (Camargue), Icard (Petite Camargue), Fréjus et Saint Aygulf, They de la Gracieuse.

2 - Aménagements à prévoir à moyen terme : Giens, Fos, Cavalaire Ouest, Beauvallon, (ouvrages de protection à développer).

-:-:-:-:-

BIBLIOGRAPHIE

- BELLAICHE G., 1970. Géologie sous-marine de la marge continentale au large du massif des Maures (Var, France) et de la plaine abyssale ligure. *Rev. Géogr. Phys. Géol. dyn.* ; VII (5) : 403 - 440.
- BENZECRI J. P., 1973 et alt. L'analyse des données. *Dunod* ; 2 vol. : 619 p et 615 p.
- BLANC J., 1958. Recherches de sédimentologie littorale et sous-marine en Provence occidentale, Thèse, Paris. *Ann. Inst. Océan. Masson* ; 35, (1) : 140 p.
- BLANC J., 1974. La sédimentation sur le précontinent de Provence et ses modalités. Comparaisons avec d'autres secteurs de la Méditerranée. *Bull. B. R. G. M.*, IV, (3) : 133 - 164.
- BLANC J., 1975. Recherches de Sédimentologie appliquée au littoral rocheux de la Provence. Aménagement et protection. *C. N. E. X. O.*, 164 p.
- BLANC J., 1977. Recherches de Sédimentologie appliquée au littoral du delta du Rhône, de Fos au Grau du Roi. *C. N. E. X. O.*, 75/1193 : 69 p.
- BLANC J., 1979. Protection des littoraux sableux. Méthodes d'études. L'exemple de la Camargue. *C. N. E. X. O.* ; 78/4104 : 56 p.
- BLANC J. et JEUDY de GRISSAC A., 1978. Recherches de Géologie sédimentaire sur les herbiers à Posidonies du littoral de la Provence. *C. N. E. X. O.* ; 76/4043 et 77/4074 : 185 p.
- CLAIREFOND P., 1977. Le golfe des Saintes Maries de la Mer (Camargue). Etude sédimentologique ; aménagement et protection. *Thèse de 3ème cycle, Aix-Marseille II* : 141 p. et annexes.
- DAL CIN R., 1976. The use of factor analysis in determining beach erosion and accretion from grain size data. *Marine Geology* ; 20 : 95 - 116.
- DUBOUL-RAZAVET C., 1956. Contribution à l'étude géologique et sédimentologique du delta du Rhône. *Thèse. Mem. S. G. F.* ; 3 - 4 : 76.

JEUDY de GRISSAC A., 1975. Sédimentologie dynamique des rades d'Hyères et de Giens (Var). Problèmes d'aménagements. *Thèse 3ème cycle* ; Université de Provence : 86 p. et annexes.

ORSOLINI P., 1978. Contribution à l'étude géomorphologique et sédimentologique des domaines côtiers de la presqu'île de Saint Tropez (Var). Définition des équilibres naturels. *Thèse 3ème cycle* ; Université de Provence : 97 p. et annexes.

RUSSEL R. J., 1942. Geomorphology of the Rhône delta. *Assoc. Amer. Geogr.* ; 32, (2) : 147 - 257.

VERNIER E., 1972. Recherches sur la dynamique sédimentaire du golfe de Fos. *Thèse 3ème cycle* ; Aix-Marseille II : 72 p.

-:-:-:-:-

Droits réservés : Centre National pour l'Exploitation des Océans
Société Géomer - MARSEILLE -
J. BLANC

-:-:-:-:-