



## **Caractérisation d'une barre sableuse de haut de plage: la berme de la plage du Truc Vert, Gironde.**

Franck Desmazes<sup>(a)</sup>, Denis Michel<sup>(a)</sup>, Thierry Garlan<sup>(b)</sup> et Hélène Howa<sup>(c)</sup>

<sup>1</sup> Université Bordeaux 1, DGO, UMR 5805 EPOC, Avenue des Facultés, 33405 TALENCE Cedex

E-mail : f.desmazes@epoc.u-bordeaux1.fr

<sup>2</sup> EPSHOM, CH/GG/Sédimentologie, 13, rue du Chatellier - BP 30316 - 29603 BREST Cedex

<sup>3</sup> Université d'Angers - UFR Sciences, 2 Boulevard Lavoisier, 49045 Angers Cedex

### **Résumé**

Le haut de la plage du Truc Vert (côte aquitaine, France) est caractérisé par une barre sableuse nommée berme. L'étude de 86 profils topographiques entre 1997 et 2003 permet d'établir une typologie de ces structures. Une analyse en composantes principales et une classification ascendante hiérarchique amènent à distinguer 6 classes parmi les 61 bermes observées au cours de l'étude. Ces classes dépendent notamment de la distance de la crête, de son arrondi, de la pente minimale du versant interne et de la taille de la berme.

### **Abstract**

The foreshore of the Truc Vert beach (Bay of Biscay, France) exhibits a sand bar called berm. 86 topographic profiles were surveyed between 1997 and 2003 in order to establish a morphological classification based on profile shape analysis. A principal component analysis and a cluster analysis make it possible to select 6 different types among the 61 bermes observed during this study. Distance from the crest to the dune, berm width, its roundness and the slope are the main parameters that are considered.

### **1.Introduction**

La plage du Truc Vert (Gironde, France, Figure 1) est une zone étudiée depuis 1997 dans le cadre de l'Action de Recherche Thématique « Hydrodynamique sédimentaire » (ART 7) du Programme National d'Environnement Côtier (PNEC). C'est un environnement particulièrement complexe, caractérisé par des processus hydro-sédimentaires qui agissent sur de vastes échelles de temps et d'espace. La dynamique de cette plage est guidée par l'action des houles de fortes énergies -Hsig = 1,4 m ; Tmoy = 6,5 s<sup>-1</sup> dans un environnement méso à macrotidal. Ces agents énergétiques forment des barres sableuses dont la morphologie et l'évolution doivent être étudiées pour comprendre le fonctionnement de ce système côtier.

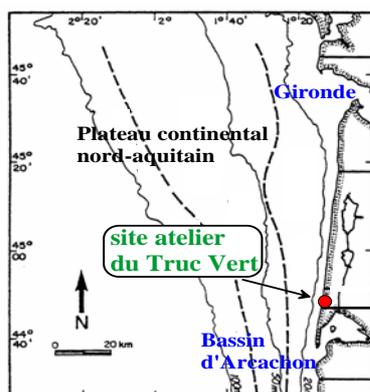


Figure 1: localisation de la zone d'étude.

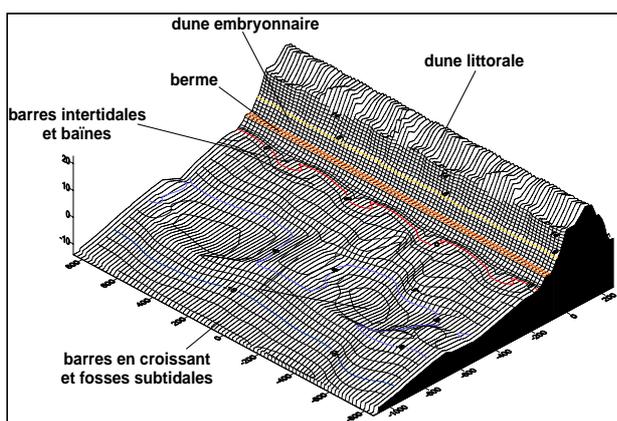


Figure 2: Morphologie de la plage du Truc Vert (en m).

Du large à la côte (Figure 2), la plage du Truc Vert est caractérisée par un système (simple ou double) de barres en croissant subtidales<sup>2</sup>, un système rythmique de barres et baines intertidales<sup>3</sup>, une berme subaérienne et une dune littorale très développée<sup>4</sup>. La collecte d'informations sur les structures sédimentaires de cette plage est un exercice difficile qui nécessite des moyens de mesures en domaine sub-aérien, dans la zone de surf et en domaine marin. De plus, il faut pouvoir adapter ces techniques au rythme semi-diurne de la marée et à la grande variabilité spatiale et temporelle de la zone. Mais inéluctablement, les techniques d'instrumentation et la mesure de tels environnements provoquent une simplification extrême du système. Pour étudier la morphologie d'une plage sableuse complexe, il est donc nécessaire d'intégrer et d'adapter les simplifications de la mesure pour proposer des visions cohérentes et réalistes de la plage.

Cet article a pour but de décrire les mesures bidimensionnelles du haut de plage, afin de proposer une caractérisation des bermes observées sur la zone du Truc Vert. Nous présenterons tout d'abord la base de données utilisée, puis nous décrirons les méthodes d'analyse factorielle et de classification employées pour établir une typologie des bermes de la plage du Truc Vert.

## **2.Base de données**

### **2.1.Base de données Truc Vert**

Cette analyse morphologique s'appuie sur une base de 86 profils "cross-shore" de plage, collectés entre septembre 1997 et octobre 2003 sur la zone du Truc Vert. Le suivi est effectué régulièrement 1 à 2 fois par mois en fonction des marées de vives-eaux, même si quelques lacunes apparaissent durant les mois estivaux. La topographie de la plage est mesurée à l'aide d'un théodolite à visée laser situé en sommet de dune. Les distances ont pour origine une borne O.N.F. fixe (nommée « P.K. 89 ») et les altitudes sont référencées grâce à ce point par rapport au zéro NGF.

### **2.2.Modèle morphologique de berme**

La berme est une barre sableuse située en haut de plage, avant la dune littorale (sur un profil étudié du large vers la côte). Elle est caractérisée par une crête séparant un versant interne généralement plat, d'une face externe, en pente marquée vers la mer (Figure 3). L'observation des mesures topographiques de la plage du Truc Vert montre l'existence de ruptures de pentes en haut du profil de plage.

Ces ruptures marquent nettement la présence de la berme et la fin de la dune littorale. De plus, ces points sont facilement repérables par l'opérateur de terrain qui les mesurera efficacement la plupart du temps. L'utilisation des ruptures de pente pour repérer la berme permet donc de se baser sur des points de mesures réels, et non sur un profil interpolé, qui permettrait la détection des points d'inflexions du profil. Cette méthode a l'avantage d'éviter les erreurs dues à l'interpolation et permet de se concentrer uniquement sur les limites de la mesure pour discuter les résultats.

Les trois points principaux de la barre sableuse étudiée sont : le début de la berme, la crête et le pied de la structure (Tableau 1). La méthode proposée consiste à définir ces points caractéristiques en fonction des ruptures de pente du haut de plage. La reconnaissance des ruptures de pentes est similaire à l'étude classique des variations d'une fonction mathématique, à l'aide de dérivées et de dérivées secondes. Ainsi, le calcul de pente est l'équivalent d'une dérivation, tandis que celui de la différence de pente de part et d'autre d'un point correspond à la dérivée seconde d'une fonction mathématique continue. La courbe de différence de pente indique précisément les variations d'inclinaison : les pics correspondent à des ruptures plus ou moins nette dans le profil et caractérise un arrondi plus ou moins important de la crête.

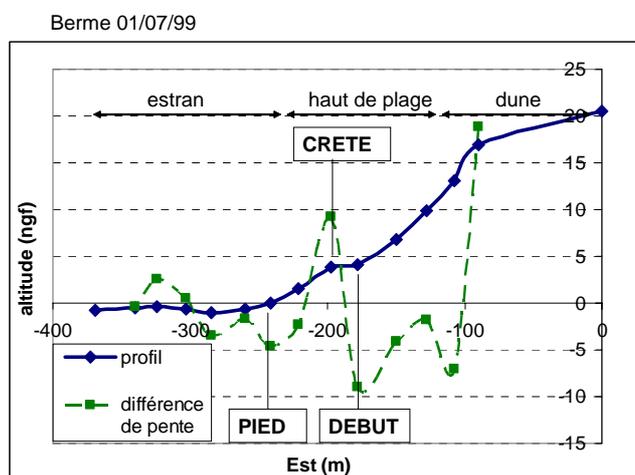


Figure 3: Profil topographique de la plage du Truc Vert présentant une berme. Les abscisses négatives représentent des mesures vers l'Ouest.

Tableau 1: Points caractéristiques de la berme du 01/07/99 (Figure 3).

Est pk	Z ngf	pente	différence de pente	OBSERVATIONS
-177,648	4,068	0,811	-8,991	DEBUT DE BERME
-197,61	3,906	10,066	9,255	CRETE DE BERME
-241,576	-0,052	3,149	-4,626	PIED DE BERME

Tableau 2: Variables caractéristiques de la berme du 01/07/99.

taille de la berme	pente mini	netteté de la crête	distance crête	altitude crête	rapport versant	double crête
63,928	0,811	9,255	197,61	3,906	0,454	0

### 2.3. Qualité des mesures

La méthode d'étude consiste donc à extraire les points de mesures caractéristiques pour former un modèle morphologique simplifié de la berme sur un profil de plage. Les erreurs possibles sont dues à l'instrument, à l'opérateur de terrain et au choix des points caractéristiques. Ce dernier critère, plutôt subjectif, peut être nuancé si tous les points choisis sont justifiés lors de l'analyse. Les erreurs de terrain pour leur part peuvent être estimés dans les 3 directions du repère (cross-shore, longshore et altitude). Ainsi, autour d'un profil moyen, on peut établir qu'une erreur longshore de  $\pm 1,5$  m est possible. Il s'agit d'un problème d'alignement sur le profil théorique. En altitude, une erreur maximale de  $\pm 5$  cm a été estimée. Enfin, la quantification des erreurs de positionnement cross-shore est beaucoup plus complexe, car elle dépend principalement de la faculté humaine à repérer les ruptures de pente sur un profil.

## 3. Analyse factorielle des données

### 3.1. Variables utilisées

L'analyse de la base de données Truc Vert a permis d'extraire les points caractéristiques des bermes observées. Ces points sont à l'origine de la détermination de plusieurs critères pertinents, qui permettent de bien cerner la morphologie de la barre sableuse. Pour la suite de l'analyse, sept variables seront utilisées : la distance de la crête par rapport à l'abscisse d'origine (Distance), son altitude (Altitude), son arrondi (Netteté, équivalent au paramètre de différence de pente), la largeur de la berme (Taille\_D), le rapport de largeur des versants (Rapport), la pente minimale de la berme sur le versant interne (Pente\_M) et la présence d'une crête secondaire (Double\_C) (Tableau 2 et Figure 4). Ces deux derniers critères ont été extraits directement de la base de données Truc Vert, en plus des 3 points caractéristiques.

### 3.2. Principes de l'ACP

Sur les 86 profils de plage, 61 bermes ont été repérées. L'ensemble des variables de chaque berme forme une matrice de taille conséquente. Cette matrice peut être représentée sous forme d'un nuage de points (représentant les bermes) dans un espace à 7 dimensions, qu'il est difficile de comprendre. Les analyses factorielles permettent de simplifier la représentation de cette masse d'information en regroupant des variables corrélées. La méthode utilisée dans le cadre de cette étude est une analyse en composante principale (ACP)<sup>5</sup>. Son principe consiste à projeter le maximum de variances du nuage de points sur des axes simplificateurs nommés composantes principales. Ces axes permettent une représentation approchée des données multidimensionnelles sur un ou plusieurs plans.

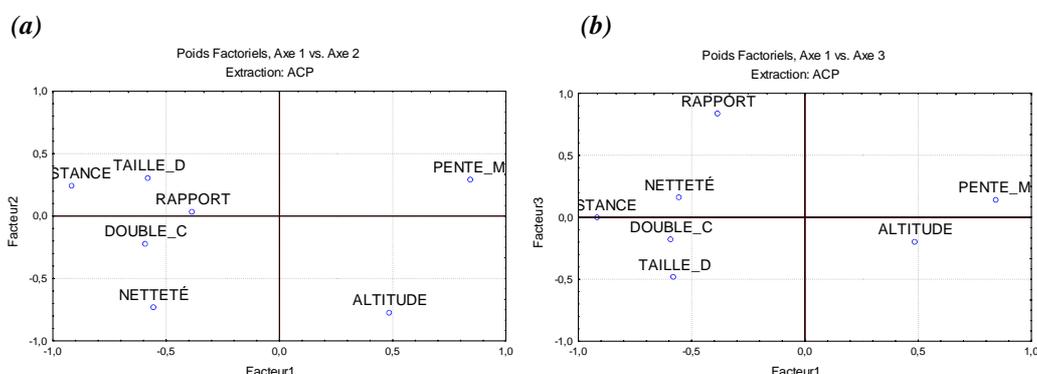


Figure 4: Projections des variables sur les 3 premières composantes principales.

### 3.3. Etude des composantes principales

Les 3 premières composantes principales représentent 77,4 % de la variance totale du nuage de point. La première composante représente à elle seule 42,4 % de la variance. Elle montre une corrélation négative entre la distance de la crête (Distance) et la pente minimale de la berme (Pente\_M, Figure 4). Dans les faits, plus la crête se situe loin de la dune, plus la pente minimale du versant interne sera faible ; ainsi, la chance d'observer un versant interne inversé (en pente vers la dune) sera importante pour une crête éloignée. Inversement, si la crête de la structure est proche de la dune, la pente du versant interne sera importante. Cette première composante principale montre aussi une corrélation entre les variables de taille de la berme (Taille\_D), de présence de double crête (Double\_C) et de netteté (Netteté). La seconde composante principale représente 20,2 % de la variance, elle rend compte d'une direction d'allongement non négligeable dans le nuage de points caractérisant les bermes de la base de donnée Truc Vert. Elle montre la corrélation entre la variable de netteté de la crête (Netteté) et son altitude (Altitude, Figure 4 a), et représente l'existence d'un certain nombre d'individus qui possèdent une crête très nette, située relativement haut en altitude. La troisième composante principale qui concerne seulement 14,7 % de la variance ne permet pas de corréler plusieurs variables, elle exprime cependant une variance relativement importante dans le rapport de largeur des versants (Figure 4 b).

La projection des individus (berme mesurée à une date précise) sur les trois premières composantes principales montre des directions d'allongement dans le plan des axes 1 et 2 (Figure 5 a). En revanche, seuls quelques individus sortent du lot sur l'axe 3 (Figure 5 b). La suite de l'analyse sera donc basée sur la représentation simplifiée et la classification des bermes sur les deux premières composantes principales.

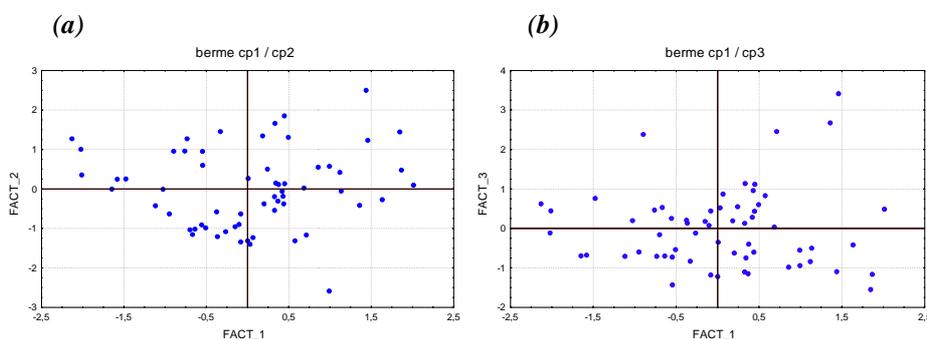


Figure 5: Projections des individus sur les 3 premiers axes.

## 4. Typologie 2D des bermes de la plage du Truc Vert

### 4.1. Principe de la CAH

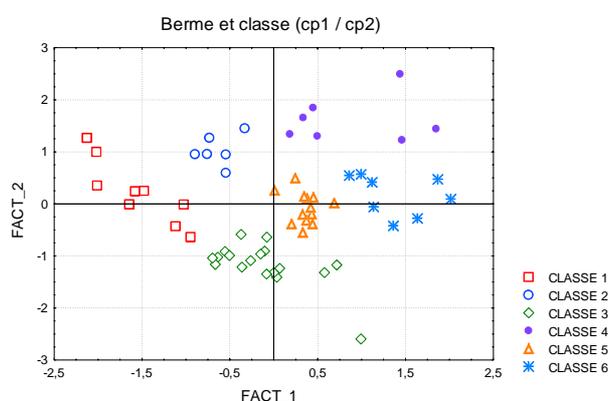
L'analyse en composante principale facilite l'étude d'une matrice de données multivariées. Dans le cas des bermes 2D du Truc Vert, la projection des individus sur les deux premières composantes principales permet de raisonner d'une part, sur la distance de la crête (et les autres variables corrélées à l'axe 1, comme la taille de la berme) et d'autre part sur la netteté (ou arrondi) de la crête. Une fois ce travail de simplification effectué, il est possible de classer les individus pour établir une typologie des structures.

La classification consiste à rapprocher dans une même famille les bermes aux coordonnées les plus proches. Pour cette analyse, la méthode employée est une classification ascendante hiérarchique (CAH) qui a pour but de créer une arborescence partant de chaque individu, puis les regroupant pour ne former qu'une seule classe en fin de compte (Swan, 1995)<sup>5</sup>.

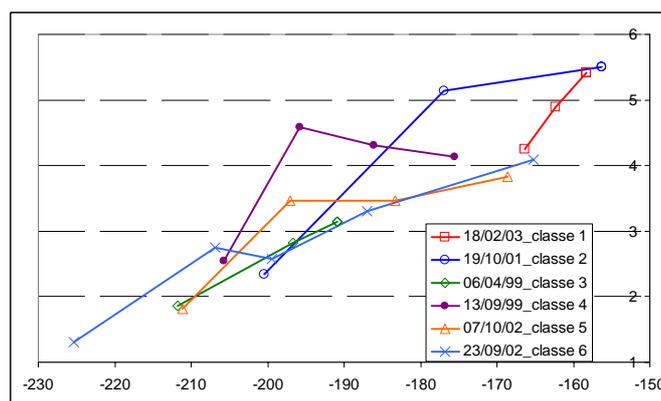
La différence entre les bermes est mesurée par une distance Euclidienne, l'algorithme d'agrégation utilise la méthode de Ward.

#### 4.2.Résultats

L'arborescence obtenue permet d'extraire 6 classes homogènes de bermes (Figure 6). La représentation des différentes bermes sur le plan des composantes principales permet de caractériser simplement ces familles. Ainsi, la classe 1 correspond à de petites bermes proches de la dune. La seconde classe regroupe des structures plutôt petites, mais à la crête nettement marquée. Au contraire de la troisième famille de bermes qui est caractérisée par une crête peu nette. La quatrième classe est bien marquée et de taille supérieure. La cinquième famille représente les bermes classiques à la morphologie plutôt moyenne. Enfin, la sixième classe regroupe les systèmes les plus grands, dont les crêtes sont éloignées.



**Figure 6:** Projections sur les 2 premières composantes principales des bermes regroupées en classes.



**Figure 7:** Exemple de 6 bermes caractéristiques des classes déterminées par l'analyse. X : distance (m) ; Y : altitude (m)

Afin de donner un sens pratique à cette classification objective, il est maintenant nécessaire d'utiliser la typologie adoptée pour décrire et comparer les bermes mesurées sur la plage du Truc Vert. Les exemples suivants illustrent chacun un type de berme. La structure du 18 février 2003 est caractéristique de la classe 1. Elle est petite (8m), pentue (13,2 % au minimum) et sa crête est relativement proche de la dune (162m).

La berme du 19 octobre 2001 possède une crête haute (5,1 m), nette (10,6) et proche de la dune (177 m). Elle fait partie de la seconde famille définie. La morphologie du 06 avril 1999 (classe 3) est opposée au type précédent. En effet, la crête de cette berme est peu marquée (1,6), plutôt éloignée (196 m) et basse (2,8 m). Tout comme l'exemple du type 1 (18/02/03), ce genre de berme est à peine visible. Le système du 13 septembre 1999 montre pour sa part un développement important, c'est une berme assez grande et bien formée (type 4). Sa crête se situe à 195 m, elle est plutôt haute (4,6 m) et particulièrement bien marquée (23,5). La pente minimale du versant interne est négative, car dirigée vers la dune (-2,96 %). Quant à la berme classique, se rapprochant de la moyenne (classe 5), elle peut être illustrée par la morphologie du 7 octobre 2002. Sa pente minimale est nulle, la distance de la crête (197 m) et son altitude (3,5 m) sont intermédiaires. Le dernier exemple de berme (23 septembre 2002) est classé dans la sixième catégorie de berme. Sa taille est importante (60 m), sa crête est donc loin (207 m) et se situe plutôt bas en altitude (2,8 m). Il faut enfin remarqué que ce type de berme peut avoir tendance à posséder une double crête (à 186m dans ce cas).

### **5. Conclusions et perspectives**

L'analyse des données topographiques du haut de plage du Truc Vert (Gironde, France) a permis de définir une typologie des structures bidimensionnelles observées. Le modèle morphologique de berme a simplifié l'étude des points caractéristiques de la structure et l'extraction de 7 variables descriptives. L'analyse en composantes principales de ces variables sur les 61 bermes repérées a amélioré la compréhension des formes de ces systèmes en synthétisant objectivement les variables. Ensuite, la classification ascendante hiérarchique des projections des individus sur les 2 composantes principales a dégagé 6 classes de bermes, allant des petites structures peu marquées aux plus grands systèmes très nets. Enfin, à cette description objective des structures en classes, il est utile de préciser la présence de crêtes secondaires, ainsi que la position de l'individu étudié sur la 3<sup>ème</sup> composante principale (rapport de largeur des versants) qui peut mettre en évidence des particularités morphologiques importantes.

Les perspectives de ce travail consistent dans un premier temps à utiliser la classification 2D établie pour améliorer la description tridimensionnelle du haut de plage, sur une petite échelle spatiale. Ensuite, il est nécessaire d'associer cette typologie à des calculs volumiques pour permettre l'étude morphodynamique de l'évolution de la plage, en liaison avec les systèmes adjacents et les processus hydrodynamiques sur court et moyen terme.

### **6. Remerciement**

Pr. J. Desmazes, pour son approche des traitements statistiques.

### **7. Références**

1. Butel, R., Dupuis, H., Bonneton, P. (2002). Spatial variability of wave conditions of the French Atlantic Coast using in situ data. Proc. ICS 02. J. Coast. Res. S.I. 36.
2. Desmazes, F., Michel, D., Howa, H., Pedreros, R. (2002). Etude morphodynamique du domaine pré-littoral nord-aquitain, site atelier du Truc Vert. Proc. 7<sup>ème</sup> Journées Nationales GCGC, Anglet, 155-162.
3. Lafon, V., Dupuis, H., Howa, H., Froidefond, J.M. (2002). Determining ridge and runnel longshore migration rate using Spot imagery. *Oceano. Acta.* 25. 149-158.
4. Pedreros, R. (2000). Quantification et modélisation du transport éolien au niveau des zones côtières – application au littoral girondin. Thèse Bordeaux 1.
5. Swan, A.H.R. et Sandilands, M. (1995). Introduction to Geological Data Analysis. Blackwell, 446 p.