

Analyse de l'évolution 4D de la granularité des sédiments sur les plages sableuses dominées par l'action des vagues.

Carla LABARTHE¹, Bruno CASTELLE¹, Thierry GARLAN², Vincent MARIEU¹, Stéphane BUJAN¹, Pierre SHUTE²

1. Université de Bordeaux, UF Sciences de la Terre et Environnement, UMR CNRS 5805 EPOC, Allée Geoffrey Saint-Hilaire CS 50023 33615 Pessac, France.

carla.labarthe@u-bordeaux.fr

2. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), 13 rue Chatelier, CS 92803, 29228, Brest Cedex 2, France.

thierry.garlan@shom.fr

Résumé :

Cet article expose les premiers résultats de l'application d'une méthode expérimentale *in situ* visant à caractériser la variabilité spatiale et temporelle de la granularité des sédiments sableux dans le cadre du projet du Shom MEPELS (Modèle d'Evolution des Plages et Environnements Littoraux Sableux). Les cinq plages sectionnées pour cette étude font l'objet de suivis biannuels, depuis 2020. Pour tous les sites d'étude, les prélèvements sédimentaires ont été accompagnés de mesures de topographie à l'aide de Drones et/ou de GNSS. Les résultats des analyses des sédiments collectés sur le terrain montrent le potentiel de ces mesures pour mieux décrire, comprendre et prédire les processus contrôlant la distribution spatiale et temporelle des sédiments selon le type de plage considéré.

Mots-clés :

Plages sableuses, Morphodynamique, Granularité, Variabilité spatiale, Variabilité temporelle.

1. Introduction

Les sédiments des plages présentent souvent une très forte variabilité à la fois dans l'espace et dans le temps. Pourtant, les différents modèles numériques ou empiriques visant à simuler la morphodynamique d'une plage ou simplement estimer la pente moyenne de celles-ci, s'appuient le plus souvent sur une taille de grains unique pour l'ensemble de la plage, généralement représentée par le diamètre médian (D_{50}) du sédiment de surface. Ne pas prendre en compte cette variabilité spatiale et temporelle peut limiter la compréhension de la réponse morphologique des plages et à terme les performances des modèles (GALLAGHER *et al.*, 2011). De nombreuses publications mentionnent l'importance de considérer le comportement hétérogène des sédiments dans la zone de surf pour améliorer l'analyse de la morphologie côtière (BASCOS, 1951 ;

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

INMAN & CHAMBERLAIN, 1955 ; MOUTZOURIS, 1989 ; JIANG *et al.*, 2015 ; PEDREROS *et al.*, 1996 ; HOLLAND & ELMORE, 2008 ; GALLAGHER *et al.*, 2011, GUNARATNA *et al.*, 2019). La variabilité saisonnière et interannuelle de la granularité des sédiments sableux (en surface et en profondeur) est ici étudiée sur plusieurs plages sableuses situées en France métropolitaine.

2. Matériels et méthodes

2.1 Présentation des sites d'étude

Il s'agit de plages qui d'une part sont représentatives de la diversité naturelle en terme de forçages de vagues et de marée, et d'autre part ont déjà fait l'objet de suivis réguliers afin de disposer d'une bonne connaissance de leur dynamique à l'échelle de la tempête jusqu'aux évolutions saisonnières et interannuelles. Les cinq plages retenues pour cette étude : Saint-Trojan-les-Bains (17), Truc Vert (33), Saint-Malo (35), Anglet (64) et Saint-Aygulf (83) ont fait l'objet de suivis biannuels, depuis 2020 (figure 1 et tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques des plages et dates des prélèvements sédimentaires.

Plage	Morphologie	Marnage	Date des échantillonnages	Nombre d'échantillons prélevés
Truc Vert (33)	Intermédiaire	Méso-macrotidal	18/09/2020	77
			29/03/2021	66
			08/09/2021	68
Anglet (64)	Intermédiaire à Réflective	Mésotidal	21/09/2020	75
			30/03/2021	68
			09/09/2021	75
Saint-Aygulf (83)	Intermédiaire	Microtidal	18/05/2021	76
			19/10/2021	76
Saint-Malo (35)	Dissipative	Macrotidal	19/10/2020	78
			28/04/2021	70
			07/10/2021	61
Saint-Trojan-les-Bains (17)	Dissipative	Macrotidal	31/03/2021	65
			10/09/2021	65

Les plages sont réparties en Manche, Golfe de Gascogne et en Méditerranée (figure 1). Les sites d'étude ont été sélectionnés à partir de critères physiques en termes par exemple de forçages hydrodynamiques (marnage, hauteur de vagues), et d'héritage géologique (e.g. présence de caps rocheux) et d'impact anthropique (e.g. présence d'ouvrages), conduisant à différents états de plages (tableau 1).

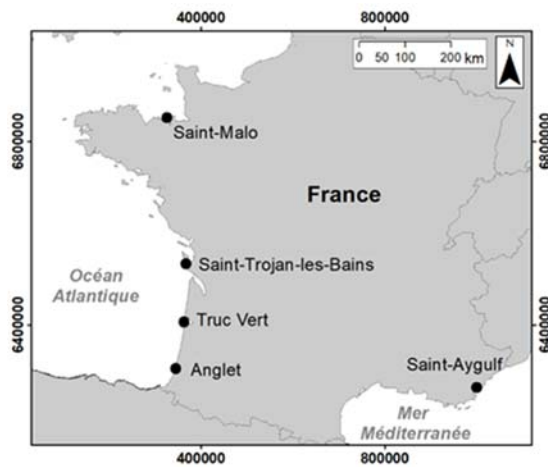


Figure 1. Carte de localisation géographique des cinq sites d'étude, en Lambert-93.

Les plages du Truc Vert, Anglet et Saint-Trojan-les-Bains sont soumises à des régimes de vagues et de marée de méso à macro-tidale (tableau 1) avec des systèmes de barres-bâines bien développés pour la première. La plage de Saint-Malo est dissipative avec un des marnages les plus importants d'Europe. Non affectée par la marée, la plage de Saint-Aygulf est fortement anthropisée avec des brise-lames lui conférant une morphologie particulière (présence de tombolos, figure 2.c) et par de nombreux aménagements touristiques qui perturbent la répartition des sédiments. Le rechargement des plages est également un paramètre à prendre en compte dans le forçage anthropique, c'est en particulier le cas à Anglet et dans une moindre mesure à Saint-Malo, alors que la plage du Truc vert conserve une morphologie toujours naturelle.

2.2 Stratégie d'échantillonnage *in situ*

Pour toutes les plages de l'étude, plusieurs campagnes d'échantillonnage ont été effectuées. Chaque année, un premier levé comprenant des prélèvements de sédiments et des levés topographiques sont réalisés à la fin de l'été, le second l'étant à la fin de l'hiver (tableau 1). Les prélèvements sédimentaires sont effectués après la pleine mer durant l'étale de basse mer de vives eaux pour avoir accès à toute la zone intertidale. La laisse de haute mer et la laisse de basse mer constituent les limites de nos zones d'étude. Pour chacune des plages, 13 stations de prélèvements sédimentaires sont réparties le long de trois profils : un transversal (perpendiculaire à la plage) et deux longitudinaux (parallèles à la plage) (figure 2.b). La longueur des profils dépend de la morphologie des plages considérées. Par exemple, le profil transversal mesure environ 170 m sur la plage du Truc Vert et 280 m à Saint-Malo. Les profils longitudinaux mesurent environ 500 m sur toutes les plages de l'étude. Pour la plage de Saint-Aygulf, la répartition des prélèvements sédimentaires a dû être adaptée pour se conformer à la morphologie particulière de la plage avec la présence de tombolos. Les 13 points de prélèvement sont donc répartis le long de quatre profils de plage : deux transversaux et deux longitudinaux qui suivent la

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

morphologie de la plage (figure 2.c). Pour positionner les trois radiales sur les quatre autres plages de l'étude, une distinction a été faite pour les plages à chenaux des autres. Pour les plages à chenaux : Le Truc Vert, Anglet et Saint-Trojan-les-Bains, la position des profils de plage est choisie selon la morphologie de la plage le jour de l'étude avec le profil de plage transversal situé entre les deux baïnes, un profil longitudinal situé au pied de la berme et l'autre profil longitudinal localisé sur la barre en bas de plage (figure 2.a). Pour les plages sans chenaux telles que Saint-Malo, les profils de plage et les stations de prélèvement sédimentaires sont fixes, c'est-à-dire effectuées au même endroit lors de chaque mission (figure 2.b).

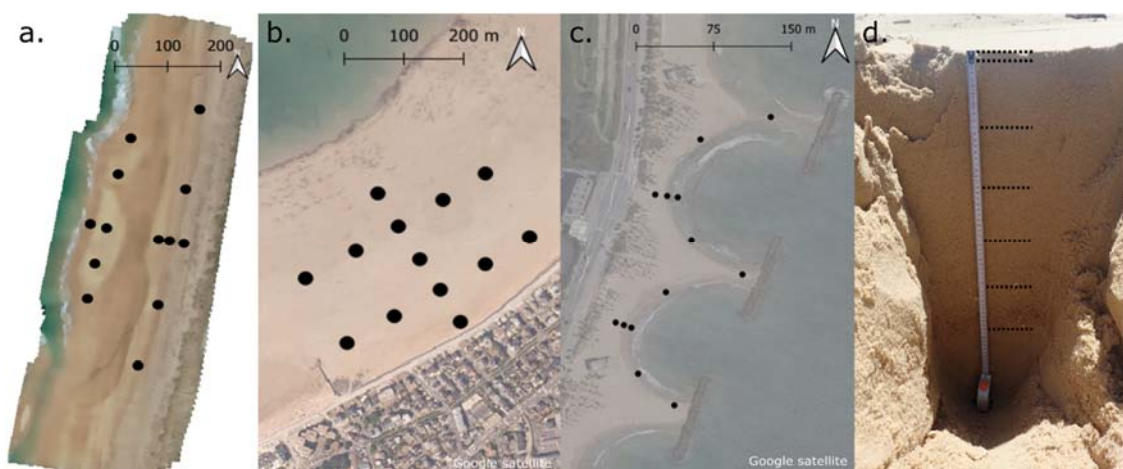


Figure 2. Stratégie d'échantillonnage in situ. Distribution des profils de plage et des prélèvements sédimentaires représentés par les cercles noirs (a) Truc Vert, orthophotographie prise le 22/09/2020, (b) Saint-Malo, (c) Saint-Aygulf ; (d) Stratégie d'échantillonnage à la verticale, en ligne pointillée la limite des strates.

Pour chaque point de prélèvement, une tranchée est réalisée manuellement à l'aide d'une simple pelle. L'échantillonnage est effectué premièrement en surface sur le premier centimètre puis tous les dix centimètres et jusqu'à cinquante centimètres de profondeur (figure 2.d). Chaque station est donc caractérisée par six échantillons provenant des profondeurs : [0,1] cm ; [1,11] cm ; [11,21] cm ; [21,31] cm ; [31,41] cm ; [41,51] cm. Théoriquement, 78 échantillons sont donc collectés par plages. Cependant, ce nombre peut être affecté par l'impossibilité de prélever les couches de sédiment situées en profondeur lorsque le sédiment est saturé en eau notamment en bas de plage (tableau 1).

2.3 Traitement des échantillons de sable : Tamisage par voie sèche

L'analyse granulométrique des différents échantillons prélevés s'effectue par tamisage à sec. Ce système permet de séparer les différents grains présents dans un échantillon en plusieurs classes granulométriques, en fonction de la taille des mailles des tamis choisis respectant la norme AFNOR. A l'aide de cette méthode, les sédiments sont classés par

diamètres de coupure. La figure 3 présente le protocole utilisé. Les échantillons collectés au cours des différentes campagnes sur le terrain sont tout d'abord rincés à l'eau claire afin d'éliminer le sel présent dans les échantillons puis séchés à l'étuve durant une période minimale de 12 heures à 80°C.

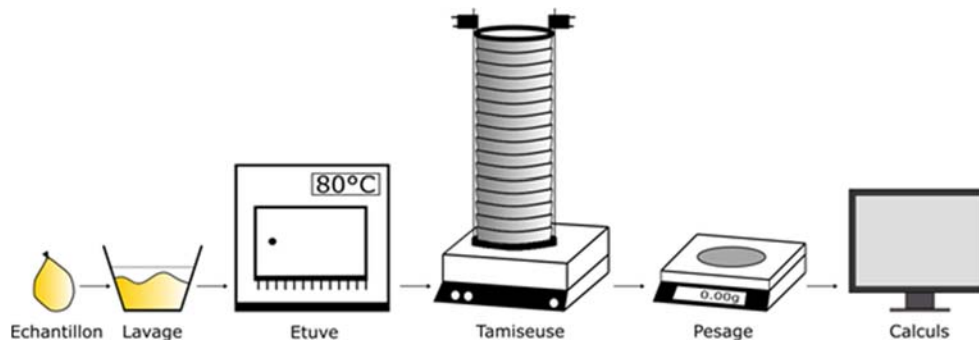


Figure 3. Schéma du traitement des échantillons de sable au laboratoire.

Puis, les échantillons sont tamisés à sec sur une colonne de 16 tamis soumis à des vibrations alternées pendant 10 minutes. De la base vers le sommet, les mailles des tamis utilisés sont les suivantes : 50 μm , 100 μm , 200 μm , 250 μm , 315 μm , 400 μm , 500 μm , 630 μm , 800 μm , 1.00 mm, 1.25 mm, 1.60 mm, 2.00 mm, 2.50 mm, 3.15 mm et 4.00 mm. Ces tailles englobent toutes les classes de la famille des sables. Les masses de refus sont recueillies sur chacun des tamis et pesées avec une précision de 0.01 g.

2.4 Analyse statistique des données issues du tamisage

Les pesées issues du tamisage à sec sont exploitées à l'aide du programme Gradistat (BLOOT & PYE, 2001). Ce logiciel permet le calcul de différents paramètres statistiques dont le grain médian, noté D_{50} . Le logiciel Matlab est ensuite utilisé pour regrouper toutes les données acquises afin de constituer la base de données finale.

3. Résultats

Le paramètre statistique utilisé pour représenter la distribution granulométrique d'un échantillon est le diamètre médian (D_{50}). Pour des raisons logistiques, seulement deux campagnes ont été menées pour l'instant sur les plages de Saint-Aygulf et Saint-Trojan-les-Bains.

3.1 Variabilité intersites

Le tableau 2 présente le D_{50} moyen (dans le temps et l'espace) calculé pour chaque plage prenant en compte tous les échantillons collectés de toutes les campagnes. Cette moyenne permet de mettre en évidence la variabilité de la granularité des cinq plages de cette étude.

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

Tableau 2. D_{50} moyenné sur toutes les campagnes pour les cinq plages de l'étude.

	Anglet	Truc Vert	Saint-Aygulf	Saint-Trojan	Saint-Malo
Nombre de campagnes	3	3	2	2	3
D_{50} moyen (μm)	2 105	390	387	349	329

En première approche, la granularité moyenne va des sédiments les plus grossiers sur la plage d'Anglet ($D_{50} = 2\,105\ \mu\text{m} \pm 953\ \mu\text{m}$), à ceux de la plage de Saint-Malo ($D_{50} = 329\ \mu\text{m} \pm 193\ \mu\text{m}$). Selon la classification granulométrique d'Udden-Wentworth (1922), la plage d'Anglet se situe à la limite des sables très grossiers et des graviers. Pour les trois autres plages, la moyenne granulométrique est comprise entre $390\ \mu\text{m}$ et $349\ \mu\text{m}$ (sables moyens).

3.2. Variabilité temporelle

Pour les cinq sites, le D_{50} moyen par campagne a été calculé (tableau 3) afin de comparer les deux campagnes réalisées à la sortie de l'été (1 et 3) et celle effectuée à la sortie de l'hiver (2).

Tableau 3. D_{50} moyenné par campagnes pour les cinq plages de l'étude.

	D_{50} moyen (μm)				
Numéro de la campagne terrain	Anglet	Truc Vert	Saint-Aygulf	Saint-Trojan	Saint-Malo
1	1 983	385	-	-	325
2	2 411	377	405	312	314
3	1 921	408	368	385	349

Pour la plage du Truc Vert la taille des grains pour les campagnes 1 et 3, c'est-à-dire celles réalisées à la sortie de l'été, est plus forte (D_{50} de $385\ \mu\text{m}$ et $408\ \mu\text{m}$) et plus faible pour la campagne 2 réalisée à la sortie de l'hiver ($D_{50} = 377\ \mu\text{m}$). Cette tendance est également visible pour la plage de Saint-Malo avec des valeurs de D_{50} plus fortes en sortie d'été (D_{50} de $325\ \mu\text{m}$ et $349\ \mu\text{m}$) qu'en sortie d'hiver ($D_{50} = 314\ \mu\text{m}$). Pour les plages du Truc Vert et de Saint-Malo, la variation de la taille des grains est donc accompagnée d'une variabilité saisonnière, avec un sédiment généralement plus grossier en fin d'été. En revanche, la tendance est inversée pour la plage d'Anglet, avec une taille de grain plus forte en sortie d'hiver ($D_{50} = 2\,411\ \mu\text{m}$ contre $1\,983\ \mu\text{m}$ et $1\,921\ \mu\text{m}$ en sortie d'été).

3.3 Variabilité sur la profondeur

Pour caractériser la variabilité de la granularité sur la verticale, le D_{50} moyen a été calculé par plage pour chacune des six strates (figure 4).

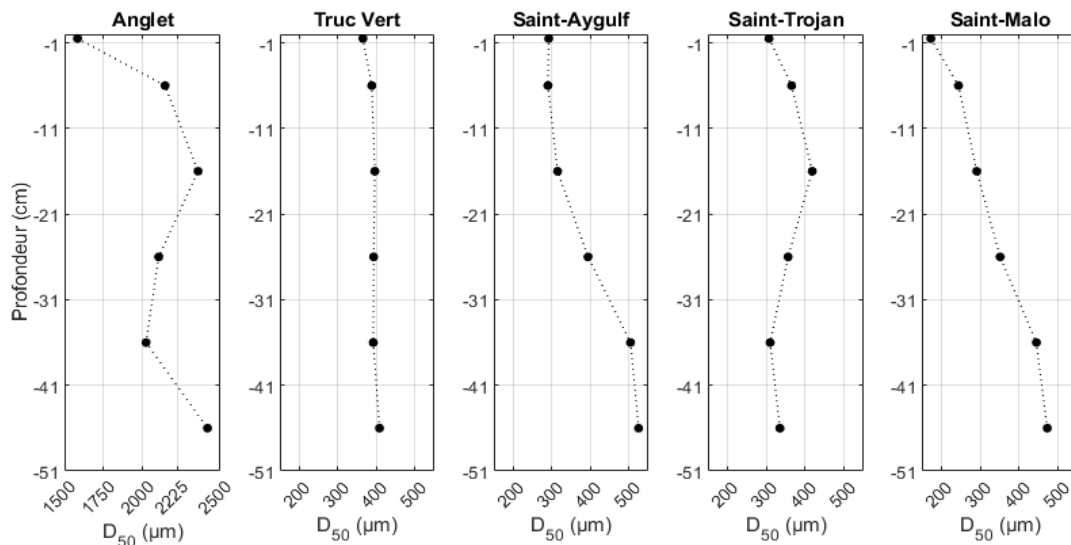


Figure 4. D_{50} moyenné par strates, pour tous les échantillons des cinq plages.

Ces résultats montrent tout d'abord que les sédiments de surface sont d'une manière générale plus fins que les sédiments sous-jacents. Sur la profondeur, la granularité va d'une variabilité faible pour la plage du Truc Vert, avec un D_{50} ne variant que de 43 μm entre la surface ($D_{50}=365 \mu\text{m}$) et le sédiment le plus grossier ($D_{50}=408 \mu\text{m}$) ; à une forte variabilité pour la plage de Saint-Malo où celle-ci atteint 300 μm . Le D_{50} de la couche de surface (0 à 1 cm) est plus faible que celui des strates situées en profondeur (de 1 à 51 cm) avec un grano-classement croissant entre la couche de surface (0 à 1 cm) et les couches sous-jacentes (figure 4). Ce gradient est très net à Saint-Aygulf et à Saint-Malo mais cette tendance n'est pas observée pour les autres sites de la façade atlantique.

Les dernières campagnes en cours d'analyse permettront de compléter la description de ces tendances.

4. Conclusion

En combinant les données de morphologie et les valeurs de D_{50} moyen de chacune des plages pour toutes les campagnes (tableau 2), nous retrouvons les principes de Dean avec une relation directe entre la granularité et la forme de la plage, les plages intermédiaires à réfléchive ayant une granularité plus élevée que les plages dissipatives. Les premiers résultats issus de l'analyse des échantillons de sable réalisés sur les plages de cinq sites de granularité différente allant de sables très grossiers sur la plage d'Anglet aux sables fins sur la plage de Saint-Malo montrent une variabilité saisonnière pour les sites du Truc Vert et Saint-Malo avec un sédiment plus grossier en fin d'été et plus fin en sortie d'hiver et pour la plage d'Anglet où cette succession est inversée. La variabilité spatiale se caractérise par des sédiments de surface systématiquement plus fins que les sédiments sous-jacents pouvant aller jusqu'à une grano-croissance de la surface jusqu'à 50 cm de profondeur dans le cas de la plage de Saint-Malo (figure 4). L'objectif consiste

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

maintenant à établir l'impact de cette variabilité verticale sur la pente de plage. Pour cela seront intégrées les résultats d'analyse des campagnes effectuées en avril et mai 2022 puis seront mis en relation ces données avec les données de houle et de pente pour chaque site afin d'établir la relation entre la dynamique de la granularité avec l'hydrodynamique. Pour cela le D_{50} sera complété par la distribution granulométrique et d'autres paramètres granulométriques. Car si le D_{50} peut suffire lorsque le sédiment est unimodal comme à Saint-Malo, ce paramètre n'est plus suffisant lorsque le sédiment est complexe comme par exemple à Anglet.

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet d'études amont MEPELS piloté par le Shom et financé par la DGA. Nous remercions pour leur participation aux campagnes de terrain : Pierre Shute, Aurélien Gangloff, André Lusven, Benoit Le Gac, Patrick Guyomard, Randa Krieche, Maxime Gosselin, Hermann Gauduin.

5. Références bibliographiques

- GALLAGHER E.L., MACMAHAN J., RENIERS A.J.H.M., BROWN J., THORNTON E.B. (2011). *Grain size variability on a rip-channeled beach*. Mar. Geol. 287 (1), 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2011.06.010>
- GUNARATNA T., SUZUKI T., YANAGISHIMA S. (2019). *Cross-shore grain size and sorting patterns for the bed profile variation at a dissipative beach: Hasaki coast, Japan*. Marine Geology 407: 111–120. doi:10.1016/j.margeo.2018.10.008
- BASCOM W.N. (1951). *The relationship between sand size and beach-face slope*. Eos. Trans. AGU 32 (6), 866–874. <https://doi.org/10.1029/TR032i006p00866>
- BLOTT S.J., PYE K. (2001). *GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments*. Earth Surface Processes and Landforms, 26, 1237–1248. <https://doi.org/10.1002/esp.261>
- HOLLAND K.T., ELMORE P.A. (2008). *A review of heterogeneous sediments in coastal environments*. Earth Sci. Rev. 89 (3), 116–134. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.03.003>
- INMAN D.L., CHAMBERLAIN T.K. (1955). *Particle-size distribution in nearshore sediments*. Am. Assoc. Pet. Geol. 581–603. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1287220>
- JIANG C., WU Z., CHEN J., DENG B., LONG Y. (2015). *Sorting and sedimentology character of sandy beach under wave action*. Procedia Engineering. 116. pp. 771–777. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.363>
- MOUTZOURIS C.I. (1989). *Longshore sediment transport rate vs. cross-shore distribution of sediment grain sizes*. Coastal Engineering Proceedings. 1988. pp. 1959–1973. <https://doi.org/10.1061/9780872626874.146>
- PEDREROS R., HOWA H.L., MICHEL D. (1996). *Application of grain size trend analysis for the determination of sediment transport pathways in intertidal areas*. Mar. Geol. 135 (1–4), 35–49. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(96\)00042-4](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(96)00042-4)