

DETERMINATION FRACTALE DES TYPES DE COTES BASEE SUR LES SYSTEMES D'INFORMATIONS GEOGRAPHIQUES : CAS DE LA TUNISIE

Malika BEL HASSEN* et M. AZIZI

Institut National des Sciences et Technologies de la Mer 28 rue 2 mars 1934, 2025 Salammbô

tél. : 00 216 71 73 04 20 fax : 00 216 71 73 26 22

* belhassen.malika@instn.mrnt.tn

ملخص

قيس البعد الكسري للسواحل التونسية باستعمال المنظومات الجغرافية : الشريط الساحلي هو من أهم الأشكال الطبيعية التي تستجيب إلى هيكلية كسرية، الآليات الرقمية مثل المنظومات الجغرافية مكنت من الإستطلاع بدقة وبسرعة على تعقيدات الشريط الساحلي، متمثلة في بعده الكسري، في العديد من المناطق والمقارنة بينها. تم قيس البعد الكسري للسواحل التونسية باستعمال المنظومات الجغرافية اعتمادا على خريطة في سلم 1/100.000 للشريط الساحلي. وقد قدر هذا البعد بـ : 1.0805. إن تقسيم السواحل التونسية إلى ثلاث مناطق مختلفة (شمال، وسط وجنوب) بين إنخفاضا في البعد الكسري من الشمال إلى الجنوب موضحا أن تعقيدات الشريط الساحلي تنقلص مع إنخفاض خطوط العرض. يمكن التوصل إلى العديد من الإستنتاجات عبر هذه النتائج ويكون تطبيقها في عدة ميادين كتقرير إستراتيجية أخذ العينات، فهم البيئات، شرح توزع الكائنات البحرية وأمثلة التنوع البيولوجي. **كلمات مفاتيح :** البعد الكسري، المنظومات الجغرافية، الشريط الساحلي، السواحل التونسية.

RESUME

Les dimensions fractales des côtes tunisiennes ont été déterminées en utilisant les techniques spatiales fournies par les systèmes d'informations géographiques, en se basant sur une cartographie au 1 :100000 du trait côte. La dimension fractale des côtes tunisiennes est estimée à 1,0805. Une segmentation des côtes en trois parties (nord, est et sud) a permis de mettre en évidence une décroissance de la dimension fractale du nord vers le sud, indiquant que la complexité de la côte décroît vers les faibles latitudes. De nombreuses conséquences découlent de ces résultats, applicables à des stratégies d'échantillonnage, comme à la compréhension de l'écologie et l'interprétation de la distribution des espèces et les modèles de biodiversité.

Mots Clés : Fractale, dimension fractale, trait de côte, SIG

ABSTRACT

GIS-Based Fractal Determination of Coastal Types: A case Study of Tunisia : The fractal dimensions of the Tunisian coast are determined using GIS-based techniques, based on a 1:100000 scale map. The fractal dimension is estimated at 1.0805. Subdivision of the Tunisian coast into three parts (north, east and south) highlights a decrease of the fractal dimension from north to south, indicating that the complexity of the coast decreases toward low latitudes. Numerous consequences emerged from these results, applicable to sampling strategies and the interpretation of species distributions and diversity patterns along the coast.

Key words : Fractal, Fractal Dimension, Coastline, GIS

INTRODUCTION

Le trait de côte a été le principal exemple de formes naturelles qui obéissent à une structuration fractale. Les incertitudes dans la mesure de la longueur de la côte ont été évoquées pour la première fois en 1967 dans une tentative de détermination de l'étendu des côtes britanniques (Mandelbrot, 1967). Le concept de fractales a été présenté pour la première fois et a été depuis cet article appliqué dans de nombreux domaines comme l'écologie paysagère (Milne, 1991a; Milne, 1991b) ou la biologie (Basillais, 1998). Le suivi des sinuosités des côtes, sur des cartes à différentes échelles, révèle que la longueur des côtes est variable et dépend de l'échelle de la carte

utilisée. Il ne s'agit pas d'erreurs de mesure mais plutôt de la prise en compte de plus de détails quand l'échelle est grande. En effet, une carte détaillée prend en compte des sinuosités qui n'apparaissent pas sur une carte à petite échelle, et qui décuplent ou centuplent la longueur mesurée (Frontier et al., 2004). La dimension fractale, à savoir la constante qui caractérise le rapport entre l'augmentation de la longueur mesurée et la diminution du pas d'arpentage de différentes côtes a été déterminée par plusieurs auteurs dans diverses régions du globe (Mandelbrot, 1967; Goodchild, 1980; , Philips, 1986; Zhu et al., 2000). Cette constante qualifie la complexité d'un système et permet de discriminer les paramètres ou les variables fondamentales du système.

Déterminer la complexité des côtes Tunisiennes est le but du présent travail. Il permettra de nuancer les informations médiatiques définissant une valeur unique pour l'étendue de la côte, sans précision de l'échelle ni des pas d'arpentage utilisés au cours du calcul. De plus, une segmentation de la côte en parties avec différentes dimensions fractales, permet d'apprécier le degré d'hétérogénéité de chacune d'elles et les implications possibles de ces résultats sur la diversité de la côte.

MATERIELS ET METHODES

Les cartes utilisées pour la détermination de la longueur du trait de côte ont été digitalisées par

photo-interprétation d'orthophoto-aériennes, ayant 10 m de résolution et une échelle au 1/100000 (Figure 1). Pour cette étude, il s'agit de prendre en compte la ligne de contact entre le haut de plage et l'arrière plage sans comptabiliser les contours des îles (Figure1). La côte a été divisée en trois parties, selon un gradient décroissant de latitude, une première partie incluant les côtes nord du pays depuis la frontière algérienne jusqu'au Cap Bon, une deuxième partie s'étendant des côtes est, du Cap Bon au Cap Kaboudia et une troisième partie sud du Cap Kaboudia à la frontière Libyenne (Figure.1).

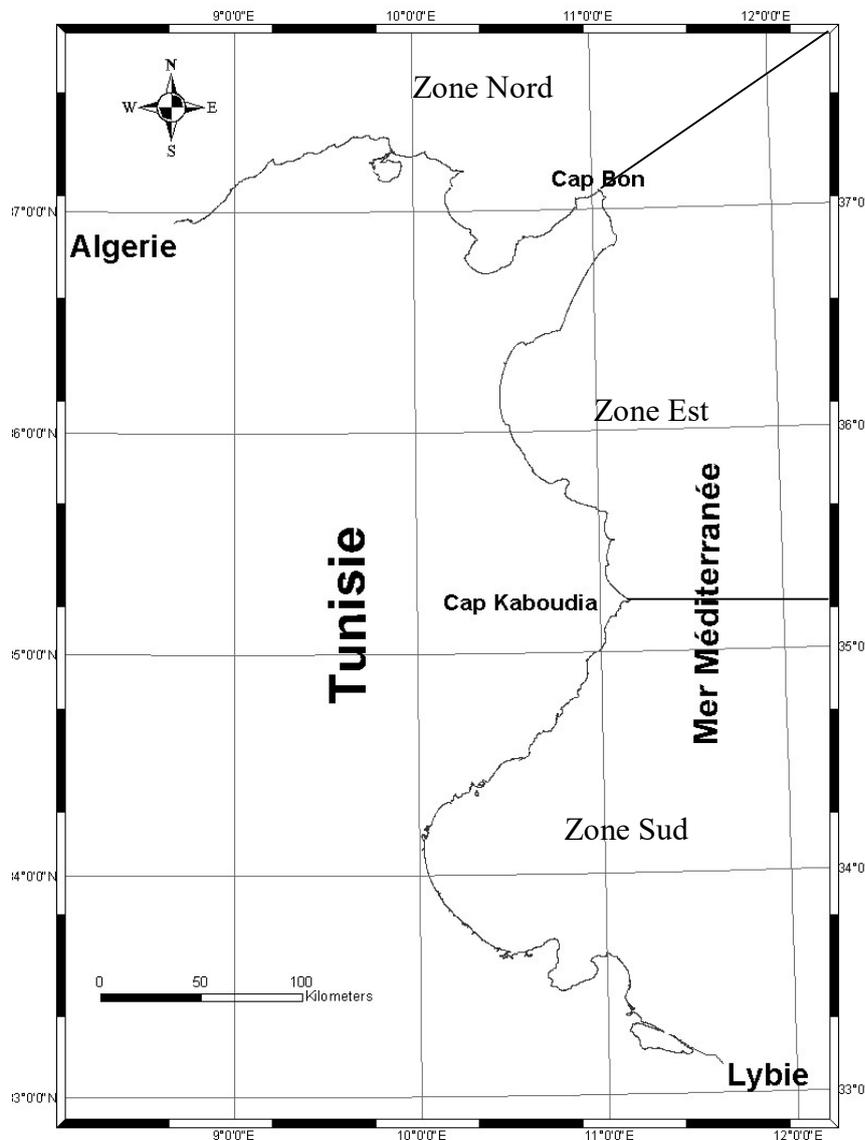


Figure 1. Carte des côtes Tunisiennes. Les limites adoptées pour la segmentation spatiale sont aux niveaux du Cap Bon et du Cap Kaboudia.

Il existe deux méthodes pour calculer la dimension fractale : la méthode *divider* (Mandelbrot, 1982) et la méthode du *box counting* (Grassberger, 1983). Selon Mandelbrot (1967), si la côte de longueur L est mesurée par des critères de constance r , la longueur sera égale au nombre de mesures N , multiplié par r .

$$L = N \times r$$

Si différents critères r , courbes et complexités de la côte ont été pris en considération, le résultat de mesure sera différent en exactitude.

Assumant que la dimension fractale est D (Mandelbrot, 1967), on obtient l'équation

$$N = M \times r^{-D}$$

où M est une constante.

En combinant les équations ci-dessus, on obtient

$$L = M \times r^{1-D}$$

une équation équivalente étant

$$\log L = (1-D) \log r + c$$

où C est une constante et la pente K est égale à $1-D$.

Cette méthode, originalement utilisée pour calculer les dimensions fractales, est moins appropriée que la méthode du *box counting* pour le calcul de la dimension des courbes discontinues (Zhu et al., 2004). Cette dernière méthode consiste à couvrir les courbes définissant le trait de côte par des grilles de différentes longueurs. Supposant que la longueur du côté de la grille soit β_k , qui est variable, et N le nombre de grilles couvrant les courbes du trait de côte, selon la théorie des fractales,

$$N = \beta_k^{-D}$$

Les longueurs correspondant aux côtés des grilles utilisées sont, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_k$, et les nombres de grilles couvrant les courbes sont respectivement $N(\beta_1), N(\beta_2), N(\beta_3), \dots, N(\beta_k)$. L'équation équivalente devient

$$\log N = -D \log \beta + A$$

où A est une constante et D est la dimension fractale des courbes définissant le trait de côte.

La méthode *box counting* a été adoptée pour cette étude. Le Système d'Information Géographique (Arcview 3.2) a été utilisé pour l'analyse spatiale des grilles, ensuite les données extraites ont été analysées pour la détermination de la dimension fractale.

RESULTATS

Selon la théorie des fractales, la longueur du trait de côte est variable en fonction du critère spatial adopté (β). Plus ce critère spatial de mesure est petit, plus le

trait de côte s'allonge et s'approche de sa valeur réelle (Tableau 1).

Tableau I. Variation de la longueur du trait de côte en fonction de différents critères spatiaux de mesure (pas spatial)

Pas spatial, β (Km)	Nombre, N	Longueur, L (Km)
5	283	1415
10	138	1380
15	92	1380
20	66	1320
25	53	1325
50	25	1250
100	11	1100

Il existe une différence de la longueur du trait de côte de 315 km entre les valeurs calculées avec un pas spatial de 5 km ou de 100 km, ce qui représente une diminution de l'ordre de 22%.

La régression linéaire entre $\log(N)$ et $\log(\beta)$ a été établie (Figure 2), l'équation de régression étant

$$\log(N) = -1,0805 \log(\beta) + 14,884$$

avec

$$R^2 = 0,9992$$

où β est la longueur du côté de la grille et N est le nombre de grilles couvrant les côtes tunisiennes. Le coefficient de détermination R^2 étant significatif, il confirme le caractère fractal des côtes tunisiennes. La dimension fractale, définie par la valeur absolue de la pente de la droite de régression, est estimée à 1,0805.

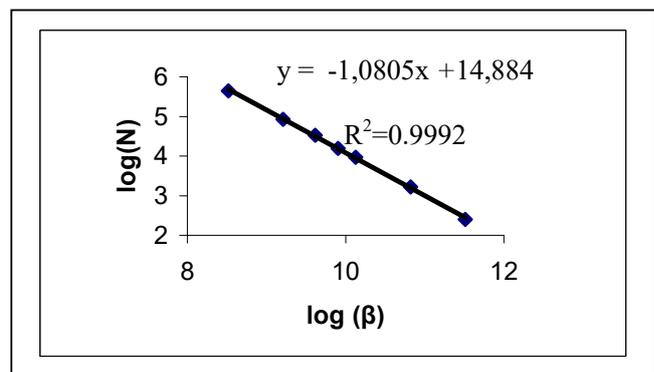


Figure 2 : Courbe de corrélation entre $\log(N)$ et $\log(\beta)$

Des critères similaires à ceux utilisés pour le calcul de la dimension fractale de l'ensemble des côtes tunisiennes ont été appliqués aux trois zones, nord, est et sud, identifiées selon un gradient décroissant de latitude (Figure 1). Il apparaît que le caractère fractal existe pour ces trois zones (Tableau II). Une diminution de la dimension fractale est aussi notée en allant du nord vers le sud, c'est à dire en allant des latitudes les plus aux moins élevées (Tableau II).

Tableau II. Les équations de régression, les dimensions fractales et les coefficients de détermination, déterminés selon un gradient de latitude des côtes Tunisiennes (Nord, Est et Sud)

	Nord	Est	Sud
Equation de régression	$\log(N) = -1,2348 \log(\beta) + 15,041$	$\log(N) = -1,1579 \log(\beta) + 14,215$	$\log(N) = -1,0754 \log(\beta) + 13,937$
Dimension fractale	1.2348	1.1579	1.0754
Coefficient de détermination	0.9933	0.9885	0.9988

DISCUSSION

Plusieurs facteurs semblent intervenir dans la détermination du caractère fractal d'une côte et le calcul de sa dimension fractale. Le choix de la méthode (*divider ou box counting*) est un facteur qui n'affecte pas l'existence ou non du caractère fractal d'une côte (Zhu et al., 2004), mais pourrait agir en terme d'évaluation de sa dimension fractale. Un autre facteur qui pourrait avoir un effet sur le calcul de la dimension fractale est le choix du modèle des pas

d'arpentage, c'est à dire les séries des côtés de grilles utilisées pour le calcul du trait de côte (Tableau 1), souvent affectées d'une manière arbitraire (Zhu and Cai, 2004). En effet, l'application de cinq modèles à différents pas d'arpentage (Tableau III), a permis de mettre en évidence que si le modèle utilisé est basé sur de faibles valeurs du pas d'arpentage (modèles M1 et M2), la dimension fractale sera relativement faible. Inversement, la dimension fractale s'accroît pour les modèles aux pas d'arpentage élevés (exemple le modèle M5).

Tableau III. Différents modèles de pas d'arpentage utilisés dans la détermination de la dimension fractale. La dimension fractale pour chaque modèle est indiquée dans la dernière ligne.

	M1	M2	M3	M4	M4	M5
	0.025	0.1	2,5	2,7	2,9	5
	0.05	0.5	5	5,4	5,8	10
	0.1	1	7,5	8,1	8,7	15
	0.5	5	10	10,8	11,6	20
	1	10	12,5	13,5	14,5	25
	5	15	15	16,2	17,4	30
	10	20	17,5	18,9	20,3	35
	15	25	20	21,6	23,2	40
	20	30	22,5	24,3	26,1	45
	25	35	25	27	29	50
	30	40	27,5	29,7	31,9	75
	35	45	30	32,4	34,8	100
	40	50	32,5	35,1	37,7	
	45		35	37,8	40,6	
	50		37,5	40,5	43,5	
			40	43,2	46,4	
			42,5	45,9	49,3	
			45	48,6		
			47,5			
			50			
D	1.0507	1.0562	1,0737	1,0578	1.0617	1,0886

Bien qu'une corrélation positive soit mise en évidence entre la longueur moyenne des côtés des séries de grille utilisées (β) et la dimension fractale (Figure 3), l'amplitude de variation entre ces deux paramètres n'est pas proportionnellement comparable, en effet une augmentation de 50% de la valeur de β va induire une augmentation de la valeur de la dimension fractale de seulement 3.5%.

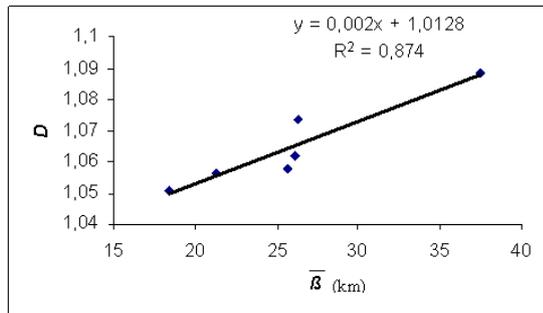


Figure 3 : Courbe de Corrélation entre la dimension fractale (D) et la longueur moyenne des côtés des séries de grille utilisées pour le calcul de la dimension fractale (β).

La mise en évidence d'un modèle optimal pour le calcul de la dimension fractale demeure une chose à accomplir (Zhu and Cai, 2004). Il faudrait d'abord identifier les paramètres du modèle qui agissent sur la valeur de la dimension fractale. La moyenne des séries de grille du modèle étant explorée, d'autres paramètres restent toutefois à investiguer. Finalement, l'outil utilisé pourrait affecter la valeur de la dimension fractale, les outils digitaux, tels que les systèmes d'informations géographiques permettent d'explorer en détail et rapidement la complexité d'une côte et permettent également de s'affranchir de toutes les erreurs engendrées par le calcul manuel.

Le caractère fractal a été vérifié pour l'ensemble des côtes tunisiennes, ainsi que pour ses trois parties étudiées indépendamment. La dimension fractale de l'ensemble des côtes tunisiennes estimée à 1.0805, est différente de la moyenne des dimensions fractales de ses trois parties, soit 1.1557. Cette même conclusion a été atteinte par Zhu et al., (2004), qui ont démontré que la différence entre la dimension fractale de l'ensemble de la côte chinoise et la moyenne des dimensions fractales des parties la constituant, tend à croître quand la segmentation de la côte augmente. D'ailleurs, il est important d'approfondir la compréhension des dimensions fractales et leurs possibles corrélations, dans le but de déduire la dimension fractale et la forme de la côte à partir des relations existantes entre les dimensions fractales des parties qui la composent.

Selon l'analyse de la fluctuation spatiale de la dimension fractale des trois parties des côtes tunisiennes, il a été conclu que la dimension fractale tend à décroître du nord vers le sud indiquant que la

complexité de la côte décroît vers les faibles latitudes. Des tendances inverses ont été mises en évidence sur les côtes atlantiques américaines, où la dimension fractale varie de 1.00 à 1.70 (Jiang and Plotnick, 1998) ainsi que sur les côtes chinoises, où la dimension fractale fluctue entre 1.06 et 1.24 (Zhu et al., 2004), indiquant une croissance vers les faibles latitudes. Cette tendance observée à grande échelle spatiale (côtes atlantiques des états unis et côtes chinoises) n'est pas vérifiable à petite échelle spatiale (côte tunisienne), bien que ces trois côtes soient situées dans des latitudes comparables, entre 25° N et 45° N.

La tendance observée sur les côtes tunisiennes est vraisemblablement influencée par l'effet dynamique de la mer, le type des côtes et le climat. En effet, la côte nord de la Tunisie est rocheuse et fortement accidentée, alors qu'en général, la côte sud est constituée de zones de balancement de marée, elle est le siège de dépôt de fin sédiment, sa surface est plate, elle est connectée avec un plateau continental très large et son comportement est comparativement homogène durant le processus dynamique de la marée. La combinaison de ces facteurs conduit à une relativement petite dimension fractale dans la partie sud de la Tunisie.

Ces résultats ont des implications pour l'interprétation de la distribution des espèces et les modèles de biodiversité le long de la côte, ainsi que pour la compréhension de la dynamique de la couverture biotique (Basillais, 1997; Basillais, 1998). De nombreuses conséquences découlent de ces résultats, applicables à des stratégies d'échantillonnages comme à la compréhension de l'écologie avec ses multiples échelles emboîtées (Frontier et al., 2004). Des relations directes entre la dimension fractale et des indices de diversité de la communauté benthique devraient être mises en évidence afin d'utiliser la dimension fractale, qui est une mesure facilement extraite à différentes échelles spatiales, pour identifier des zones de forte diversité et qui requièrent des dispositifs spécifiques de protection.

BIBLIOGRAPHIE

- Basillais E., 1997. Coral surfaces and fractal dimensions: a new method. *C. R. Biologies*, 320: 653-657.
- Basillais E., 1998. Functional role of the fractal morphology of corals: a full model of the nutrient turbulent diffusion fluxes to a coral reef. *C. R. Biologies*, 321: 295-298.
- Frontier S., Pichod-Viale D., Leprêtre A., Davoult D., Luczak C., 2004. *Écosystèmes Structure, Fonctionnement, Évolution*, Dunod, Paris .

- Goodchild M.F., 1980. Fractal and the accuracy of geographical measures, *Math. Geol*, 12: 85-98.
- Grassberger P., 1983. On efficient box counting algorithms, *Int. J. Mod. Phys.C.*, 4 : 515-523.
- Jiang J.W., Plotnick R.E., 1998. Fractal analysis of the complexity of united states coastlines. *Math. Geol*, 30:535-546.
- Mandelbrot B.B., 1967. How long is the coast of Britain ? statistical self-similarity and fractional dimension. *Science*, 156: 636-638.
- Mandelbrot B.B., 1982. *The fractal geometry of nature*, W.H. Freeman, San Francisco.
- Milne B.T., 1991a. Lessons from applying fractal models to landscape patterns, in : *Quantitative Methods in Landscape Ecology*, Springer-Verlag, New York, pp. 199-235.
- Milne B.T., 1991b. The utility of fractal geometry in landscape design, *Landscape and Urban Planning*, 21: 81-90.
- Philips J.D., 1986. Spatial analysis of shoreline erosion, Delaware Bay, New Jersey, *Ann. Assoc.Am.Geogr.* 76 :50-62.
- Zhu X.H., Cai Y.L., 2004. Influence of the series of squares grids on fractal dimensions, *China Geog. Sci.* 14: 9-14.
- Zhu, X.H. Cai Y.L., Yang X.C., 2004. On fractal Dimensions of China's Coastlines, *Math Geol.*, 36: 447-461.
- Zhu X.H., Yang X.C., Xie W.J., Wang J., 2000. On spatial fractal character of coastline-A case study of jiangsu province, China. *Ocean. Eng.*, 14:533-540.