

---

# Crisis? What crisis?: l'anthropisation du milieu et la biodiversité dans la Baie de Cádiz (Espagne). Les apports de la Palynologie

José Antonio López Sáez

Pilar López García

Laboratorio de Arqueobotánica, Departamento de Prehistoria,  
Instituto de Historia, CSIC  
Duque de Medinaceli 6, 28014 Madrid, Espagne.

Corinne Tixier

Centre National de Préhistoire (C.N.P.), U.M.R. 9933 du CNRS  
Ministère de la Culture, 38 rue du 26ème, 24000 Périgueux, France.

Manuscrit reçu le septembre, 2002

---

## Résumé

La reconstruction temporelle des changements dans la diversité biologique est un fait potentiellement très important, autant d'un point de vue paléoécologique qu'écologique, parce que la diversité des formations végétales est, en partie, le résultat de tout un processus historique. La richesse palynologique, dans notre cas, a été estimée à partir de l'analyse de raréfaction, qui nous a permis d'étudier le site archéologique de Pocito Chico (Cádiz, Espagne). Situé dans le Parc Naturel de la Baie de Cádiz, ce gisement couvre les 5000 dernières années, entre la période du Chalcolithique et le Moyen Âge.

**Mots clé:** Analyse de raréfaction, Biodiversité, Paléopalynologie, Archéobotanique, Holocène, Baie de Cádiz, Espagne

**Abstract.** *Crisis? What Crisis?: human impact of the environment and biodiversity in the Bay of Cádiz (Spain) Contributions of palynology.*

---

Reconstructing temporal changes in diversity from pollen assemblages is potentially important both palaeoecologically and ecologically because community diversity may, in part, result from historical process. Palynological richness has been estimated by rarefaction analysis with one data set from the archaeological site of Pocito Chico (Cádiz, Spain), placed in the Natural Park of the Cádiz Bay, covering the last 5000 years from the Chalcolithic period to the Middle Age.

**Key-words:** Rarefaction analysis, Biodiversity, Palaeopalynology, Archaeobotany, Holocene, Bay of Cádiz, Spain

---

## Introduction

*Here's a little song to make you feel good  
put a little light in your day  
these are crazy times  
and it's all been getting pretty serious.*

Supertramp, 1982.

La diversité biologique est, en effet, un concept très utilisé dans le domaine de l'écologie depuis 30 ans (Whittaker, 1960; Wilson, 1989; Pineda et al., 1991), comme une expression de la complexité biologique d'un habitat, en considérant plutôt le nombre des espèces (richesse biologique), l'équilibre et la proportion entre les individus de chacune des espèces. En fait, la diversité biologique est capable de décrire l'état de l'environnement, question qui est en directe correspondance avec l'ensemble des changements qui ont eu lieu depuis longtemps (Pineda et al., 1991). De cette façon, on peut alors considérer que la diversité répond à tout un processus historique, et pourtant elle accuse les influences des incidences externes qui sont arrivés sur l'ensemble biologique considéré (Margalef, 1974, 1991).

La valeur de conservation naturelle d'un milieu est considéré plus élevée d'autant que sa diversité biologique est aussi plus importante. Néanmoins, cette expression de la diversité a besoin de trouver d'autres éléments, à part des espèces, comme les références plus communes. Voici que les dernières investigations considèrent aussi les éléments morphologiques et fonctionnels des organismes (taille et disposition des semences, architecture, présence d'épines, etc).

D'un point de vue de la composition numérique des communautés végétales, une certaine intensité et fréquence de perturbations provoque l'augmentation de la valeur de la diversité biologique (Connell, 1979). Perturbations de différentes natures et intensités qui sont normalement circonstanciées à l'évolution, ce sont, en effet, comme «*la musique au rythme de laquelle doit danser la biosphère*» (Margalef, 1974). Depuis une perturbation - une altération imprévisible des conditions habituelles - les écosystèmes paraissent réagir au point de mettre en compte un fonctionnement de plusieurs ressources - les espèces -, de telle façon que la diversité d'un lieu déterminé, et récemment perturbé, a tendance à une augmentation progressive, particulièrement s'il n'y a pas eu de la compétence entre les espèces présentes (Pineda et al., 1991). La persistance de ces espèces ou ressources chute assez vite, mais même si la perturbation reste intense ou fréquente, on peut donc penser qu'on parvient à un changement substantiel du milieu, dans lequel seulement les espèces les plus adaptées sont capables de survivre. Dans ce cas, la diversité s'appauvrit également et le système devient instable; néanmoins, dans certains cas, le système reste stable puisqu'ils existent différents comportements des écosystèmes face aux intensités et fréquences des perturbations (Margalef, 1972, 1974; Connell, 1979).

Un cas très spécial, dont nous désirons aborder à partir des études paléopalynologiques, sont les perturbations des écosystèmes liées aux activités humaines

(Phipps, 1991), lesquelles, si elles sont assez fortes conduisent obligatoirement à une perte de la diversité (Pineda et al., 1991). Dans le cadre de cette étude, la diversité biologique est d'un intérêt majeur mis en relation avec la gestion du milieu, notamment pour les raisons suivantes: a) intensification des activités agricoles et des autres utilisations du sol, qui normalement conduisent à un appauvrissement croissant de la diversité; b) la qualité du patrimoine naturel est évalué, entre autres, par des critères de diversité; c) l'esthétique, ou *qualité émotionnel* du paysage, dans un sens large, trouve dans la diversité un des ingrédients universels les plus importants (González Bernáldez, 1991).

De ce fait, le concept de «diversité biologique», en écologie, fait référence à la richesse d'espèces ainsi qu'à sa distribution équilibrée (Margalef, 1972). Le même Margalef (1974) confirme le besoin de corriger l'expression de la diversité en terme de la biomasse relative des espèces et de sa persistance ou vie moyenne dans le milieu. González Bernáldez (1991) va encore plus loin, en disant qu'il faut mettre en relation l'idée de la diversité avec celle-ci associée à l'organisation des écosystèmes à partir de plusieurs aspects spatiaux-temporels. En effet, ces puisque ils sont très importants dans l'évolution du paysage, dans des phénomènes liés à la diversité des habitats et, en général, ils sont en très forte relation avec les activités agro-pastorales et leur gestion.

### *La Baie de Cádiz: la végétation et le milieu*

La province de Cádiz, entre Grazalema et Tarifa, ainsi que dans le Parc de Doñana jusqu'aux montagnes d'Aljibe, offre un vaste exemple d'espaces naturels de forte valeur écologique. On y trouve parmi les éléments les plus remarquables, les plus importantes formations de sapin pinsapo (*Abies pinsapo*) à Grazalema, considérée comme une espèce relique dans le sud d'Europe, les plus grandes forêts de chêne liège (*Quercus suber*) d'Espagne dans le Parc des Alcornocales. On y découvre également les dernières formations naturelles d'olivier sylvestre (*Olea europaea* subsp. *sylvestris*), ainsi qu'une laurisilve relictuelle unique en Europe mais aussi la fougère intertropicale *Psilotum nudum* (Los Canutos). De plus, cette région est caractérisée par d'abondantes formations végétales du littorales (salines, marais cotiers, dunes). Les raisons expliquant l'existence de tels ensembles sont multiples et certainement complexes, mais les hypothèses les plus vraisemblables nous renvoient à l'isolement biogéographique de certains de ces secteurs, ainsi qu'à des systèmes d'exploitation anthropique des ressources favorables à leurs conservation, et ça depuis les périodes historiques. Dans l'ensemble de la province, la Baie de Cádiz a joué un rôle prépondérant au niveau écologique mais surtout dans le cadre de l'archéologie du territoire.

Le domaine d'étude géographique inclue le Parc Naturel de la Baie de Cádiz (Fig. 1), et y compris la réserve naturelle du complexe de lacunes d'El Puerto de Santa María, qui constitue une niche écologique exceptionnelle. Son histoire géologique est relativement récente après avoir été défini son paysage dans le dernier millénaire. Le contact entre le fleuve et la mer a permis la création des barrières de sable qui ferment l'estuaire, aussi bien augmentent le dépôt sédimentaire à l'in-



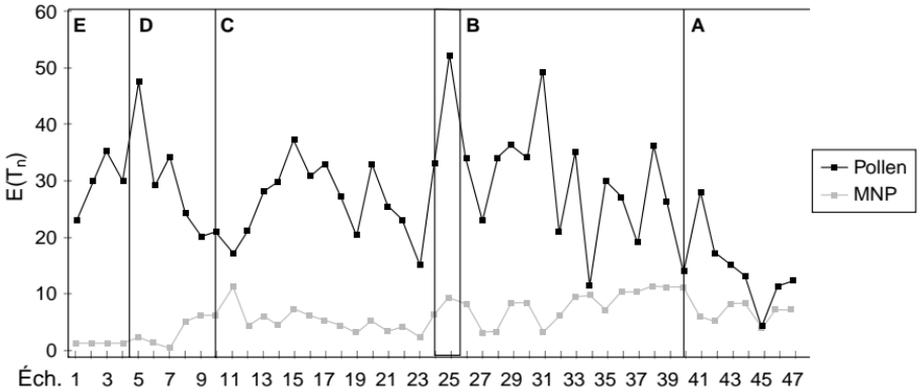
**Fig. 1:** Situation du site archéologique de Pocito Chico dans l'ensemble de la Baie de Cádiz (SW Espagne).

térieur de la baie. De ce fait, des milliers d'hectares de sédimentation forment actuellement le marais. C'est en effet à partir de la transgression du Flandrien qu'un processus relativement rapide de régularisation côtière a eu lieu, et à causé la réduction du niveau de la mer par l'action d'une dérive active et par la contribution de dépôt par les canaux fluviaux. On peut donc affirmer que vers 5000 BP le niveau marin chute brusquement jusqu'à atteindre pratiquement son niveau actuel, et qu'il a favorisé la progression du littoral. Le paysage façonné de cette façon réunit une série d'écosystèmes divers en corrélation: plages, dunes, plaines, marais, etc. C'est en effet le contact entre la zone de la mer et du fleuve qui fait de la Baie de Cádiz un espace singulier et fragile, d'énorme importance écologique et économique.

D'un point de vue biogéographique, la région atlantique de l'Andalousie – dont la province de Cádiz est incluse – constitue un écosystème singulier individualisé comme la province Gaditano-Onubo-Algarviense, avec abondance d'espèces endémiques, en particulier dans la région du détroit du Gibraltar, par sa position central entre l'Europe et l'Afrique. Les séries de végétation correspondantes à la zone d'étude sont celles du chêne liège et de l'olivier sauvage. La zone propre de la baie correspond, néanmoins, aux séries des marais et dunes côtières.

## Méthodes

La science moderne a développé un nombre assez important de modèles mathématiques et équations pour expliquer et exprimer la diversité du milieu, surtout en terme de l'entropie d'un système écologique (Phipps, 1991). Margalef (1991) fait aussi une synthèse critique de différents index de diversité qui ont été proposés.



**Fig. 2:** Courbe du nombre de taxa prévus –  $E(T_n)$  – dans chaque période culturelle en référence aux pollens et aux MNP (microfossiles non polliniques).

Dans notre cas, nous avons choisi l'analyse de raréfaction comme la meilleure méthode pour mesurer les variations temporelles de la diversité biologique dans la Baie de Cádiz. L'utilisation de cette méthode dans le domaine de la paléopalynologie a déjà été démontré dans le travail de Birks et Line (1992). L'analyse de raréfaction produit différents moyens de mesure de la richesse pollinique (nombre of taxa,  $t$ ), qui sont normalement standardisés en référence à une dimension indiquée de l'échantillon  $n$ , où  $n \leq N$ , étant  $n$  un échantillon aléatoire dessiné sans remplacement des spécimens de  $N$  d'un total de  $T$  espèces (Wolfe, 1995). D'autre façon, l'analyse de raréfaction nous permettra de mesurer assez robustement l'index de la diversité cela prévoit que la richesse d'espèces pour une dimension de l'échantillon standardisée dans l'ensemble des données. La principal application de l'étude de Birks et Line (1992) est le calcul de la richesse estimée d'espèces par raréfaction, «rarefaction-estimated species richness», ou  $E(Tn)$  pour toute une série d'échantillons en utilisant des valeurs pour  $n$  progressivement plus petites. Toute la théorie mathématique, le développement de la formule de calcul pour l' $E(Tn)$  ainsi que les principales assumptions biologiques à cette méthode peuvent être consultées aussi dans Birks et Line (1992) et Birks et al. (1988).

Dans ce travail nous avons utilisé une base de données provenant du site archéologique de Pocito Chico (Fig. 1). L'interprétation paléocologique de cette séquence palynologique est déjà publiée (López Sáez et al., 2001) tandis que l'étude des palynomorphes non-polliniques est aussi le fruit d'une deuxième publication des mêmes auteurs (López Sáez et al., 2002).

## Résultats et Discussion

La courbe du nombre de taxa prévus –  $E(T_n)$  – (Fig. 2) a été divisée en 5 parties (A-E):

**A** - La première partie correspond au Chalcolithique et le nombre de taxons présents est de l'ordre de 2 à 25 taxa. Au début du Chalcolithique la diversité biologique, en termes de  $E(T_n)$ , est très faible, avec des valeurs inférieures à 10 (entre les échantillons 47 et 44), tandis qu'à partir de l'échantillon 43 la diversité augmente progressivement pour atteindre son maximum (25) dans l'échantillon 42. Elle diminue ensuite brusquement à la transition Chalcolithique-Age du Bronze (échantillon 40).

Cette dynamique de la courbe pendant le Chalcolithique peut être mise en relation avec l'évolution de la mer, puisque cette période correspond plutôt au maximum de la transgression Flandrienne. Néanmoins, les différences observées durant cette période sont plutôt à mettre en relation avec des phénomènes d'origine anthropique. La première partie, de faible diversité biologique (nombre de taxons  $\leq 10$ ) correspond à une phase fortement anthropisée avec l'installation de prairies nitrophiles riches en Cichorioideae (López Sáez et al., 2001). Il peut correspondre également à une période érosive avec l'utilisation du feu. De plus, certains microfossiles non polliniques (MNP), présents, comme *Chaetomium* sp., *Pseudoschizaea circula* et *Glomus* cf. *fasciculatum* sont indicateurs de ces phénomènes (López Sáez et al., 2002). Par contre, dans la deuxième partie du Chalcolithique  $E(T_n)$  monte à son maximum (25) parallèlement à la chute des taxons anthropiques et les microfossiles non polliniques auparavant cités disparaissent.

**B** - La deuxième partie correspond à la transition Chalcolithique-Age du Bronze. Le nombre de taxons oscille entre un minimum de 8 et un maximum de 48. En général, la courbe de cette partie montre des valeurs pour  $E(T_n)$  plus hautes que la partie inférieure (A). Le travail de López Sáez et al. (2001) montre assez bien le développement dans cette phase de la forêt méditerranéenne ainsi que de la ripisylve, l'existence des cultures du céréalières est manifeste. Les prairies halophytes se développent dans un contexte de régression marine. Cependant, dans cette partie on trouve aussi des phases où  $E(T_n)$  chute rapidement. Ces mouvements peuvent être corrélés à la présence de certains microfossiles non polliniques typiques dans un processus érosif ponctuel et aussi à l'utilisation du feu par l'homme (López Sáez et al., 2002).

**C** - La troisième partie correspond au début de l'occupation des hommes de l'Age du Bronze Final et de l'Age du Fer dans la région. La diversité biologique est stable, entre 20 et 30 taxons. Le fait le plus remarquable dans cette phase est la montée progressive de l'anthropisation du site qui se traduit par des pourcentages élevés de Cichorioideae, qui correspond d'un point de vue archéologique à une augmentation de la densité des peuplements. On observe également à ce niveau, une diminution des prairies halophytes, composant le marais salant, et au contraire le développement de formation marécageuse d'eau plus douce (López Sáez et al., 2001). L'utilisation du feu et la présence de processus érosifs à été aussi démontré par la présence de microfossiles non polliniques (López Sáez et al., 2002). La céréaliculture diminue sensiblement durant cette phase.

**D et E-** La quatrième et cinquième phases de la figure 2 correspondent à la période Andalusi (siècles XIII-XIV A.D.) et aux XV-XVI A.D. siècles, donc au dernier millénaire.

La diversité biologique pour la période Andalusi (phase D) montre une courbe croissante entre l'échantillon 10 et 4, où l' $E(T_n)$  atteint son maximum. Pendant la période Andalusi, le travail de López Sáez et al. (2001) révèle le développement de la ripisylve mais surtout du frêne. Les valeurs des taxons d'origine anthropique sont assez élevés, conjointement à la culture des céréales. Parmi les microfossiles non polliniques (López Sáez et al., 2002), on ne constate pas la présence de variété typique liée à des phénomènes d'incendies ou érosifs, donc la diversité des microfossiles non polliniques chute notablement pendant la période Andalusi (Fig. 2).

Pendant la dernière partie (E) de la figure 2, correspondant aux XV<sup>e</sup>-XVI<sup>e</sup> siècles, la diversité biologique, l' $E(T_n)$ , chute notablement. Cet affaissement est engendré d'une part par la disparition des boisements de chêne liège, et d'autre part par la diminution de l'anthropisation du milieu sans qu'il ne soit attesté de culture céréalière (López Sáez et al., 2001). L'absence de processus érosifs ou d'incendie (López Sáez et al., 2002) aurait pu permettre l'enregistrement d'une plus haute diversité biologique. Toutefois, chronologiquement cette phase se situe durant le Petit Age Glaciaire, ce qui ne permet pas le développement de certains type de végétation et induit donc une chute de la diversité biologique.

## Conclusions

D'une façon générale, on peut donc affirmer que l'utilisation du feu par l'homme aboutit à un amoindrissement de la diversité biologique. Ce fait est vérifié de façon significative pendant la période Chalcolithique et durant certaines phases de l'Age du Bronze et de l'Age du Fer. L'érosion engendre également une diminution des valeurs de l' $E(T_n)$  et le meilleur exemple est le Chalcolithique. Ces deux facteurs, que ce soit le feu ou la montée de la mer, sont responsables de la disparition de la forêt et donc de la chute de la diversité biologique.

En revanche, les périodes de régression marine (c'est le cas pendant la transition Chalcolithique-Age du Bronze) permettent l'installation des formations végétales halophytes diversifiées et donc un enrichissement de la diversité biologique.

La céréaliculture est aussi un facteur d'augmentation de la diversité et de l' $E(T_n)$ , puisque la diminution de cette activité conduit à une chute de la diversité biologique. C'est le cas pour la transition Age du Bronze-Age du Fer.

L'augmentation de la population dans cette région entraîne, dans des conditions normales, une rudéralisation du milieu et donc le développement des prairies nitrophiles, qui réduit la diversité biologique. Le meilleur exemple de cette affirmation est la transition Bronze-Fer. Néanmoins, l'anthropisation du milieu peut également être un facteur de l'enrichissement biologique. Le problème majeur est justement d'établir un limite entre un processus d'anthropisation trop fort, comme à l'époque actuelle qui ne permet pas la régénération de la végétation, et un processus anthropique à l'époque historique ou préhistorique où le

milieu anthropisé montre valeurs de diversité biologique plus hauts qu'aujourd'hui.

Le point important de cette conclusion est que la diversité des paysages méditerranéens est intimement liée au poids historique des activités humaines qui, loin d'être systématiquement destructrices, ont entraîné par la conjonction des différentes pratiques sociales (pastoralisme, agriculture, défrichement par le feu, etc...) une transformation du milieu. La Baie de Cádiz est donc un très bon exemple de cette affirmation. L'analyse palynologique du site préhistorique de Pocito Chico (López Sáez et al., 2001, 2002) nous a permis de reconstruire l'histoire de la végétation et de déterminer le grade d'anthropisation à une échelle chronologique et culturelle très claire, en relation directe avec l'érosion du littoral et les variations du niveau de la mer. En fait, la palynologie démontre que la richesse écologique, donc la diversité biologique, pendant les périodes préhistoriques et protohistoriques est la même ou encore plus grande qu'à l'actuelle. On peut donc affirmer que les systèmes traditionnels d'exploitation du territoire, moins intensifs qu'actuellement, offrent, en revanche, une source très importante d'inspiration pour le dessin de nouvelles solutions agricoles plus appropriées à la société actuelle.

## Bibliographie

- Birks, H.J.B.; Line, J.M. 1992. The use of rarefaction analysis for estimating palynological richness from Quaternary pollen-analytical data. *The Holocene* 2 (1): 1-10.
- Birks, H.J.B.; Line, J.M.; Persson, T. 1988. Quantitative Estimation of Human Impact on Cultural Landscape Development. *In*: H.H. Birks, H.J.B. Birks, P.E. Kaland; D. Moe (ed.). *The Cultural Landscape – Past, Present and Future*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 229-240.
- Connel, J.H. 1979. Tropical rain forest and coral reefs as open non-equilibrium systems. *In*: R.M. Anderson, B.D. Turner; L.R. Taylor (ed.). *Population Dynamics*. Blackwell Sci. Publ., Oxford, p. 141-163.
- González Bernáldez, F. 1991. Diversidad biológica, gestión de ecosistemas y nuevas políticas agrarias. *In*: F.D. Pineda, M.A. Casado, J.M. de Miguel and J. Montalvo (ed.). *Biological Diversity*. Fundación Ramón Areces, Madrid, p. 23-31.
- López Sáez, J.A.; López García, P.; Martín Sánchez, M. 2001. Análisis palinológico del yacimiento arqueológico de Pocito Chico (El Puerto de Santa María): el paisaje prehistórico y protohistórico durante el Holoceno reciente en las Marismas de Cádiz. *Cuaternario y Geomorfología* 15 (1-2): 45-59.
- López Sáez, J.A.; López García, P.; Martín Sánchez, M. 2002. Palaeoecology and Holocene environmental change from a saline lake in South-West Spain: the Protohistorical and Prehistorical vegetation in the Cádiz Bay. *Quaternary International* 93-94: 197-206.
- Margalef, R. 1972. Homage to Evelyn Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity. *Trans. Connect. Acad. Arts and Sciences* 44: 211-255.
- Margalef, R. 1974. *Ecología*. Editorial Omega, Barcelona.
- Margalef, R. 1991. Reflexiones sobre la diversidad y significado de su expresión cuantitativa. *In*: F.D. Pineda, M.A. Casado, J.M. de Miguel; J. Montalvo (ed.). *Biological Diversity*. Fundación Ramón Areces, Madrid, p. 105-112.

- Phipps, M. 1991. Diversity in Anthropogenic Ecological Systems: The Landscape level. *In*: F.D. Pineda, M.A. Casado, J.M. de Miguel; J. Montalvo (ed.). Biological Diversity. Fundación Ramón Areces, Madrid, p. 63-70.
- Pineda, F.D.; di Castri, F.; Orcoyen, C.G.; Villanueva, J.R. 1991. Estudio y conservación de la diversidad biológica. *In*: F.D. Pineda, M.A. Casado, J.M. de Miguel and J. Montalvo (ed.). Biological Diversity. Fundación Ramón Areces, Madrid, p. 15-19.
- Whittaker, R.H. 1960. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21: 213-251.
- Wilson, E.O. 1989. Biodiversity. Nat. Acad. Press, Washington.
- Wolfe, A.P. 1995. Rarefaction Analysis and microfossil count size. INQUA Working Group on Data-Handling Methods, Newsletter 13: 1-3.