

Systematic Palaeontology (Vertebrate Palaeontology) / Paléontologie systématique

Extinction of endemic vertebrates on islands: The case of the giant rat *Canariomys bravoii* (Mammalia, Rodentia) on Tenerife (Canary Islands, Spain)

Hervé Bocherens^{a,b}, Jacques Michaux^{a,c,*}, Francisco Garcia Talavera^d,
Johannes Van der Plicht^{e,f}

^aInstitut des sciences de l'évolution, université Montpellier-2, place Eugène-Bataillon, 34095 Montpellier cedex 05, France

^bInstitute für Ur- und Frühgeschichte und Archäologie des Mittelalters,

Abteilung Ältere Urgeschichte und Quartärökologie, Schloss, Burgsteige 11, 72070 Tübingen, Germany

^cLaboratoire de paléontologie des Vertébrés de l'EPHE, 34095 Montpellier cedex 05, France

^dMuseo de la Naturaleza y el Hombre, 38080 Santa Cruz de Tenerife, Islas Canarias, Spain

^eCentre for Isotope Research, Groningen University, Nijenborgh 4, 9747 AG Groningen, The Netherlands

^fFaculty of Archaeology, Leiden University, P.O. Box 9515, 2300 RA Leiden, The Netherlands

Received 16 January 2006; accepted after revision 25 April 2006

Available online 13 June 2006

Abstract

Fossil bone collagen ¹⁴C dating and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotopic measurements of the rodent *Canariomys bravoii* from Tenerife (Canary Islands, Spain) were used to test two different hypotheses about the causes of extinctions of endemic vertebrates on islands, climate versus humans. For the Tenerife giant rat, we show that it survived the climatic change that occurred between the Middle and Late Holocene, but not the settlement of humans on the island. **To cite this article: H. Bocherens et al., C. R. Palevol 5 (2006).**

© 2006 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Résumé

L'extinction des vertébrés endémiques insulaires : le cas du *Canariomys bravoii* (Mammalia, Rodentia) de l'île de Tenerife (archipel des Canaries, Espagne). Datations ¹⁴C et mesures des abondances isotopiques $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ à partir du collagène d'ossements du *Canariomys bravoii* de Tenerife (îles Canaries, Espagne) démontrent que ce rongeur insulaire, aujourd'hui éteint, a survécu aux variations climatiques du passage Holocène moyen–Holocène supérieur, avant de s'éteindre à l'arrivée des premiers humains sur l'île. Comme un âge ¹⁴C établit que le rongeur et l'Homme ont été contemporains, il souligne la responsabilité probable de ce dernier dans l'extinction de *Canariomys bravoii*. **Pour citer cet article : H. Bocherens et al., C. R. Palevol 5 (2006).**

© 2006 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Murinae; Holocene; Climate; Anthropogenic cause; Insular endemism; Extinction; Isotopes; Canary Islands

Mots clés : Murinae ; Holocène ; Climat ; Action anthropique ; Endémisme insulaire ; Extinction ; Isotopes ; Îles Canaries

* Corresponding author.

E-mail address: michaux@isem.univ-montp2.fr (J. Michaux).

Version française abrégée

Introduction

L'Homme a provoqué de nombreuses extinctions au cours des derniers millénaires et les espèces endémiques insulaires en ont été les victimes les plus spectaculaires [23]. Pour les rongeurs, citons les exemples fournis par les îles de la Méditerranée [26], les Caraïbes, les îles Galápagos ou l'archipel des Canaries. Les espèces endémiques insulaires actuelles sont pour la plupart en danger [16]. L'interprétation des modalités et des causes des extinctions demande l'intégration de nombreuses données relatives à la chronologie, à l'histoire du climat et des environnements et à l'installation humaine. L'obstacle majeur demeure l'inégalité dans l'abondance et la qualité de ces données, surtout pour les faunes insulaires : par exemple, les âges radio-isotopiques sont souvent en nombre insuffisant et les preuves de la coexistence de l'espèce endémique et des humains sont difficiles à réunir. L'extinction est-elle provoquée par les humains, comme souvent admis maintenant (par exemple, [12,25]) ? Mais le climat a changé au cours de l'Holocène et n'a-t-il pas aussi joué un rôle ? Pour la première fois est apporté, pour l'archipel canarien, une argumentation qui souligne mieux le rôle probable de l'Homme.

Matériel et méthode

L'archipel des Canaries a abrité une faune endémique de vertébrés (chauves-souris et oiseaux non considérés ici), qui incluait, au moment des premiers contacts avec les êtres humains, des reptiles (lézards, scinques, geckos, tortues et un serpent) et des mammifères (une musaraigne et trois rongeurs). Beaucoup des reptiles endémiques, dont des lézards géants, sont maintenant éteints [13,27]. Chacune des espèces endémiques de mammifères n'était, ou n'est, présente que sur une seule île ou groupe d'îles. Les rongeurs endémiques sont tous maintenant éteints et ils appartenaient à la sous-famille des Murinae, qui rassemble les nombreux rats et souris de l'Ancien Monde : *Malpaisomys insularis* sur les îles orientales [11], *Canariomys tamarani* sur la Gran Canaria [14] et *Canariomys bravoii* sur Tenerife [7,28]. Le présent travail porte sur *C. bravoii* de Tenerife, considéré comme remontant aux âges Pliocène et Pléistocène [28]. Il a bénéficié d'une première datation ^{14}C , qui a donné l'âge de $12\,230 \pm 140$ BP (OxA-54502) correspondant, une fois calibré, à l'intervalle 12 430–11 940 BC [20]. Cinq nouveaux âges ^{14}C (AMS), obtenus au centre de recherche sur les isotopes

de l'université de Groningen, aux Pays-Bas, s'y ajoutent maintenant. Ils portent sur des spécimens préalablement analysés pour les rapports isotopiques $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ [4]. Trois sites différents, situés dans le secteur d'Icod (au nord-ouest de Tenerife), ont fourni ce matériel. Le collagène a été extrait comme décrit précédemment [4] et la datation radiocarbone est une datation AMS (*Accelerator Mass Spectrometry*). Les âges limites inférieurs pour la méthode sont de l'ordre de 45 000 à 50 000 ans.

Résultats

Les cinq nouveaux âges étendent la documentation datée du *Canariomys* dans l'Holocène (Tableau 1) ; les âges sont donnés avant le présent (BP) avec 1σ pour l'erreur standard sur la mesure. En âges calendaires, ils sont respectivement les suivants : 4551–4826 BC (GrA-22658), 3040–3361 BC (GrA-22661) et 206–410 BC (GrA-22680) pour la localité dite Cueva del Viento (secteur d'Icod del Vino), 1176–2281 BC pour celle d'El Sobrado (GrA-22656), et 1125–1394 BC pour une autre localité désignée ici Icod (GrA-22657). Chacun de ces âges provient de mesures faites sur un unique os, et les trois spécimens de la Cueva del Viento ont été récoltés à quelques mètres les uns des autres sur le plancher même du tube de lave. Les cinq nouveaux âges ^{14}C couvrent un intervalle de temps de 3500 ans.

Variations chronologiques des rapports $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$

La combinaison des âges ^{14}C et des valeurs $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ permet d'envisager une possible variation chronologique des rapports isotopiques mesurés auparavant [4]. La stabilité des valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ (–20,2 à –19,5‰) contraste avec la très grande variation des valeurs du $\delta^{15}\text{N}$ (–0,7 à 7,4‰), les valeurs du rapport $\delta^{15}\text{N}$ chutant fortement entre 5800 et 2300 BP. Les valeurs du $\delta^{15}\text{N}$ obtenues pour trois sites distincts d'âges voisins sont proches, et la plus basse valeur est fournie par le site le plus jeune.

Discussion

L'alimentation du rat géant de Tenerife était purement végétarienne. En effet, il appartient comme le rat géant de Gran Canaria à la tribu des rats africains, désignée sous le nom d'Arvicanthini [10,14], qui réunit des espèces au régime alimentaire végétarien [21]. Les valeurs du rapport $\delta^{13}\text{C}$ s'accordent tout à fait avec un régime végétarien dans un contexte de plantes en C3 [4]. L'absence de covariation des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ lors

de la baisse du rapport $\delta^{15}\text{N}$ exclut l'apport d'aliments d'origine animale terrestre [3] ou marine, comme cela se voit chez le rat de l'île [4]. La baisse du rapport $\delta^{15}\text{N}$ pourrait traduire une modification de ce rapport chez les plantes consommées par le rongeur, en raison de variations de température ou d'aridité [1]. L'absence de covariation des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et de $\delta^{15}\text{N}$ exclut l'aridité comme explication de ces variations et rend très probable l'hypothèse d'une baisse des températures de croissance des plantes pour expliquer la baisse observée des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ (par exemple, [1]).

L'absence de données botaniques ou palynologiques pour les îles Canaries oblige à étendre le champ des investigations au continent voisin. Des renseignements importants proviennent du Maroc et de sondages carottés effectués en Atlantique, entre les îles du Cap-Vert et l'Afrique tropicale. Ainsi, une séquence pollinique analysée dans le Moyen Atlas au Maroc [6] montre un contraste important entre le début et la fin de l'Holocène. Le sondage ODP 658C (20° 45' N et 18° 35' W) révèle une forte augmentation des apports éoliens en provenance du Sahara à partir de 5000 BP, le Sahara devenant un désert [8,9]. Des modifications climatiques sont aussi relevées en Afrique tropicale [17,18]. Tout cela souligne un déterminisme global et les îles Canaries n'ont pu y échapper.

Rien ne vient soutenir que le changement climatique a joué un rôle dans l'extinction du *Canariomys bravoii*, qui survit encore plusieurs millénaires après le changement de climat. En revanche, l'âge ^{14}C le plus jeune démontre que l'extinction s'est produite sans aucun doute après l'entrée de l'Homme dans l'archipel. La variation du rapport $\delta^{15}\text{N}$ qu'enregistre le *Canariomys* démontre de toute manière que le *Canariomys* enregistre une variation de l'environnement. Toutefois, il est difficile de décider entre un abaissement général de la température ou un déplacement des zones de végétation sous l'effet du climat.

Le site de Cueva del Viento a livré plusieurs spécimens de *Canariomys bravoii*, dont les squelettes n'avaient été que peu dispersés. Il est probable que les animaux piégés vivants furent incapables de quitter la cavité, mais il n'est pas possible de déterminer si ces animaux venaient de la partie inférieure ou supérieure de la pente, ce qui serait important pour interpréter les valeurs du rapport isotopique $\delta^{15}\text{N}$. Le site est localisé à 650 m d'altitude, le relief passant rapidement dans cette zone de 0 à plus de 1500 m.

C. bravoii et l'homme ont été contemporains un temps sur l'île. Aucun âge absolu pour les sites archéologiques dans les Canaries n'est supérieur à 2490 BP [22] et une compilation récente d'âges ^{14}C ne modifie

pas sensiblement ce constat pour Tenerife [19]. Les faits archéologiques ne démontrent toutefois pas leur association, contrairement aux cas des deux autres rongeurs endémiques éteints, *C. tamarani* sur Gran Canaria et *Malpaisomys insularis* dans les îles orientales.

La comparaison avec des zones insulaires où des rongeurs de la famille des Murinae sont présents, comme les Philippines ou des îles de l'archipel nippon d'Okinawa, fait ressortir que la surface réduite d'îles comme la Gran Canaria ou Tenerife a augmenté les chances d'extinction des *Canariomys*, comme le moindre isolement de ces îles comparé à celles de l'archipel d'Okinawa, qui prolonge celui de l'archipel nippon.

Conclusion

Le présent travail montre que *Canariomys bravoii* a enregistré la variation du climat du début de l'Holocène supérieur. Il est aussi très probable qu'il y a eu un chevauchement avec la présence humaine, chevauchement établi sur la Gran Canaria et les îles Canaries orientales, où des restes de rongeurs endémiques sont trouvés dans des niveaux archéologiques. Il est avancé que l'homme a contribué à l'extinction du rat endémique. Comme une incertitude persiste sur la date exacte de l'installation humaine, il est encore possible que le *Canariomys*, ou ait enregistré le changement de climat depuis l'Holocène moyen, ou ait été repoussé en altitude par les populations humaines d'abord installées sur le littoral. Ensuite, chasse et compétition avec les animaux domestiques (ou leurs parasites), ou encore avec la souris domestique, ont conduit le *Canariomys* à l'extinction.

1. Introduction

Recent human expansion entailed the extinction of many species, the island faunas supplying many examples [23]. Aboriginal island mammal faunas were poor in species compared with the continental faunas, but they hold singular species, such as dwarf elephants, hippopotamuses, and cervids, as well as giant rodents and insectivores. These insular species differed strongly from their continental relatives not only by their size but also by their body proportions [26]. Almost all of these insular mammalian species are now extinct. Most of the extinction events occurred during the last millennia and examples are well known for several islands of the Mediterranean Sea, such as Corsica, Sardinia, and Balearic Islands, the Caribbean Archipelago, the Galápagos Islands, and the Canary Islands. Today nearly all extant insular species are endangered [16]. However,

the search for modalities and causes of these extinctions still remains a difficult task, which needs integrating data from various research domains, such as absolute chronology, reconstruction of environment, climate history, and the study of the stages of human settlement on the island. Indeed, humans are commonly thought to be the proximal cause of the extinction of aboriginal species (e.g., [12,25]). The lack of data makes explanation of the extinction often uncertain, especially radiocarbon dates and direct evidence of the co-occurrence of humans and endemic species [2]. Was the extinction natural, arising before human settlement on the island? Was there a combination of climatic change and anthropogenic actions? Or are humans the single cause of extinction? Arriving in a virgin area, they could have hunted the endemic species into extinction, or introduced competitors and fatal parasites. One of the endemic rodents of the Canary Islands, *Canariomys bravoii*, provides a case that illustrates the complexity of the question: for the first time the role of humans is more clearly exposed.

2. Material and methods

An endemic fauna of vertebrates (bats and birds not considered here) including reptiles (terrestrial turtles, one snake, lizards, geckos and skinks) and mammals (three rodents and one shrew) was present on the Canary Islands before human settlement. The snake, the turtles, the rodents and several species of reptiles among which are giant lizards, are now extinct [13, 27]. Each of the endemic mammalian species of the Canary archipelago was present only on one or a few islands. The rodents, that all belonged to the sub-family Murinae, the rats and the mice of the Old World, were: *Malpaisomys insularis* on the oriental islands [11], *Canariomys bravoii* on Tenerife [7], and *Canariomys tamarani* on Gran Canaria [14]. The present work deals with *C. bravoii*, one of the giant rats. *C. bravoii* was considered Pliocene and Pleistocene in age [28] until radiocarbon dating provided the first chronological information: the ^{14}C age is $12\,230 \pm 140$ BP (reference OxA-5450 2, [20]) which – after calibration [24] – corresponds to a calendar date of 12 430–11 940 cal BC. In the present study, collagen from five bones belonging to *C. bravoii*, which were previously analysed for the stable carbon and nitrogen isotopic ratios have been radiocarbon dated. These specimens come from three different sites from the area of Icod, to the northwest of Tenerife (Fig. 1).

Collagen was extracted as described previously [4]. The radiocarbon age was measured using AMS (Accel-

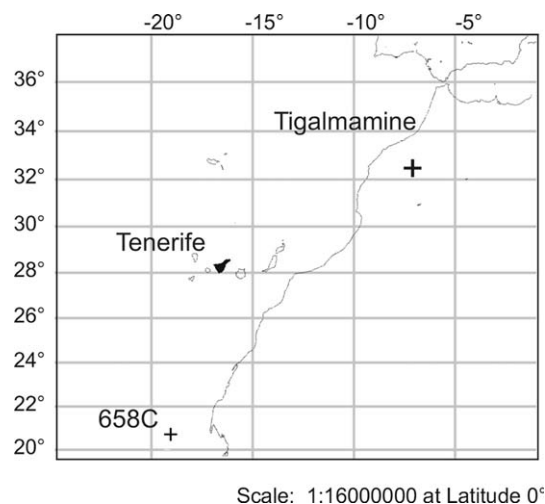


Fig. 1. Location map of the Canary Archipelago, of drilling sites ODP 658C and of Lake Tigalmamine (Morocco). In black, Tenerife Island. Fig. 1. Archipel des Canaries et localisation des sondage ODP 658C et du lac de Tigalmamine (Maroc). En noir, île de Tenerife.

erator Mass Spectrometry) at the Centre for Isotope Research, Groningen, the Netherlands. For these radiocarbon measurements, background levels are in the range 45–50 000 years.

3. Results

3.1. Radiocarbon dates

The five new ages extend the documentation of *C. bravoii* into the Holocene (Table 1). The ^{14}C dates are reported in BP, with 1σ measurement errors. In calendar years, they correspond to 4551–4826 BC (GrA-22658), 3040–3361 BC (GrA-22661) and 206–410 BC (GrA-22680) for the locality Cueva del Viento, 1176–2281 BC for the locality El Sobrado (GrA-22656), and 1125–1394 BC for a bone from another locality near Icod (GrA-22657). Each ^{14}C date represents a unique bone or fragment of bone; three of the five bones were collected a few metres apart on the floor of a lava tube that belongs to the Cueva del Viento system located near Icod del Viento. In spite of the arrangement of bones on the lava tube floor, in Cueva del Viento, the time range of ^{14}C ages observed is rather long, ca. 3500 years.

3.2. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ chronological variations

The combination of radiocarbon dates as well as $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values for the same collagen samples allows investigating possible chronological variations

Table 1
Data relative to the specimens used for ^{14}C (AMS) dating
Tableau 1. Données relatives aux échantillons utilisés pour la datation ^{14}C (AMS)

Number	Site	Element	Yield (mg g^{-1})	%C	%N	C/N coll	$\delta^{13}\text{C}$ coll	$\delta^{15}\text{N}$	date BP	±	cal BC $\pm 2 \sigma$
GrA-22656	Icod	scapula	96.5	42.6	15.6	3.2	-19.5	2.8	3010	45	1394–1125
GrA-22657	El Sobrado	scapula	84.7	42.8	15.5	3.2	-19.5	1.9	3720	45	2281–1976
GrA-22658	Cueva del Viento	femur	41.9	39.1	14.1	3.2	-20.0	3.9	4515	45	3361–3040
GrA-22680	Cueva del Viento	long bone	115.8	41.8	15.2	3.2	-19.6	-0.7	2305	40	410–206
GrA-22661	Cueva del Viento	long bone	85.8	40.6	15.0	3.2	-20.2	7.4	5840	50	4826–4551

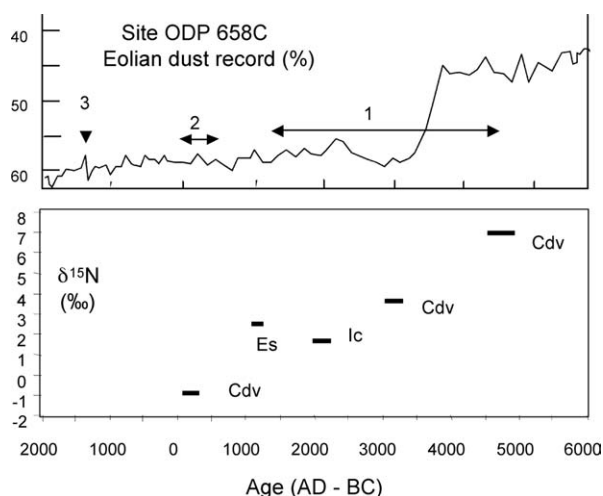


Fig. 2. Variation of $\delta^{15}\text{N}$ values in *Canariomys bravoï* fossil bone collagen as a function of time (calibrated ^{14}C ages). The isotopic ratio $\delta^{15}\text{N}$ is the $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratio, relative to a standard value, expressed in permil. The curve gives the variation of aeolian dust record for the last eight millennia in the ODP hole 658C off coast of Mauritania (from de Menocal et al. [8,9]). Abbreviations: **CdV**, Cueva del Viento; **ES**, El Sobrado; **Ic**, locality near Icod del Vino; **1**, time interval of the palynological analysis of lake Tigalmamine in Morocco [6]; **2**, time interval of dates for archaeological remains in Tenerife [19]; **3**, European settlement.

Fig. 2. Variation du rapport $\delta^{15}\text{N}$ du collagène chez *Canariomys bravoï* en fonction de l'âge ^{14}C (âge calendaire). Le rapport isotopique $\delta^{15}\text{N}$ est le rapport $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ comparé à une valeur standard et exprimée en pour mille. La courbe reportée est tirée de Menocal et al. [8,9] pour la variation des apports éoliens des huit derniers millénaires, relevée dans le sondage ODP 658C au large du cap Blanc. Abréviations : **CdV**, Cueva del Viento ; **ES**, El Sobrado ; **Ic**, localité près d'Icod del Vino ; **1**, intervalle de temps correspondant à l'étude palynologique du lac de Tigalmamine au Maroc [6] ; **2**, intervalles des datations archéologiques à Tenerife [19] ; **3**, arrivée des Européens aux îles Canaries.

of these stable isotopic signatures. Measurements of isotopic ratios $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ were already available and used in a previous study [4]. The $\delta^{13}\text{C}$ values are very stable through the considered time period, ranging from -20.2 to -19.5‰, while the $\delta^{15}\text{N}$ values show an important decrease from around 5800 to 2300 BP (Fig. 2), ranging from -0.7 to 7.4‰. The $\delta^{15}\text{N}$ values

for three different specimens coming from different sites are very close in age and in $\delta^{15}\text{N}$ values, and the lowest value is measured for the youngest bone.

4. Discussion

The diet of *Canariomys* is shown to be purely vegetarian. Indeed, the aboriginal rat of Tenerife, as the one from Gran Canaria, belongs to the tribe of African rats Arvicanthini [10,14], a group that includes species with a vegetarian diet [21]. Moreover, the $\delta^{13}\text{C}$ values and their stability in *Canariomys* are consistent with such a vegetarian diet in an environment of C_3 plants [4]. The variability of the $\delta^{15}\text{N}$ values may be explained by a change in diet composition, such as varying amounts of animal proteins of terrestrial or marine origin in addition to terrestrial plants, or by a change in the isotopic composition of an unchanging food resource, that would be terrestrial plants. The stability of the $\delta^{13}\text{C}$ values strongly suggests that the observed changes in $\delta^{15}\text{N}$ values cannot be explained by varying amounts of marine food in the diet. Indeed, the addition of terrestrial animal proteins would lead to a coeval increase in $\delta^{13}\text{C}$ values [3], and the study of present-day black rat on Tenerife has shown that a diet mixing terrestrial and marine resources leads to covarying $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values [4], which is not observed for *Canariomys*. The decrease of the $\delta^{15}\text{N}$ isotopic ratio can be explained by a change in the $\delta^{15}\text{N}$ values of the consumed plants, a phenomenon that can be linked to a decrease of plant growth temperatures or to a change in aridity (e.g., [1]). Changes in aridity would also affect the $\delta^{13}\text{C}$ values of plants, a phenomenon that is not observed in present case. Variations in temperature are therefore the most likely explanation for the observed changes in $\delta^{15}\text{N}$ values.

Botanical and palynological data lack in the Canary Islands; it is therefore necessary to search for palaeoclimatological facts on a wider area. On one side, a palynological analysis at Lake Tigalmamine (1650 m asl in the Middle Atlas) in Morocco [6] shows a strong shift in environmental conditions between the Middle and

Late Holocene. This climatic shift is characterised by a lowering of temperatures, especially of winter temperatures. On the other side, a core from ODP drill 568C located 20°45'N and 18°35'W off the African coast at the level of Cap Blanc (Mauritania) shows a strong increase in aeolian dust during the Holocene since ca 6000–5000 BP [8,9]. The dust originates from the Sahara, which has become the desert area that we know today. These data indicate a strong climatic change and likely stronger differences in temperatures between northwestern and tropical Africa. The time correlation between the change noticed in Morocco and the one in tropical Africa supports a global determinism, as acknowledged by many studies [17,18].

Did this climatic event drive to the extinction of *Canariomys bravoii* on Tenerife? Nothing supports such a hypothesis as the giant rat survived two or three additional millennia. However, the youngest ^{14}C date allows seeing humans as the likely responsible of the autochthonous rat extinction. The $\delta^{15}\text{N}$ values demonstrate that in any case *Canariomys* recorded a change in its environment. It is nevertheless difficult to hypothesise either a general decrease in temperature or a climatically forced lowering of the vegetation zone. The Cueva del Viento locality has yielded several specimens of *C. bravoii*, whose skeletons were not dispersed, many bones being in connexion. It is therefore likely that animals entered the cave but were unable to leave and subsequently died. It is not possible to determine whether these animals were coming from the lower or upper part of the slope and that may be important for interpreting the $\delta^{15}\text{N}$ values in the context of this island with a very strong relief. Indeed, the elevation of the site is ca 650 m asl and the steep slope makes area of lower and higher elevations within close distance to the site.

The most recent radiocarbon date indicates that humans and *C. bravoii* have much likely lived at the same time on Tenerife. Ages in relation with aboriginal settlements refer to the last millennium BC and first millennium AD. For a time, it was accepted that no absolute dates for archaeological sites in the Canary Islands were older than 2490 BP, in the site of Barrondo Hondo in Tenerife [22]. A more recent compilation of ^{14}C ages does not change the conclusion for Tenerife, with radiocarbon ages extending from 2770 to 1390 BP [19]. The co-occurrence of humans and the giant rat on Tenerife is still not demonstrated by archaeological facts, contrary to *C. tamarani* on Gran Canaria [5,14] and *Malpaisomys insularis* on the eastern islands [11].

The dates reported in the present work are the first direct evidence for chronological overlap between the

extinct endemic rat from Tenerife and human occupation. As the date of human settlement is still not definitely established, it is possible that humans settled first in the more suitable low-altitude part of the island and therefore pushed *Canariomys* upwards. Afterwards, hunting and competition with domestic animals and commensal species or their parasites may have driven *Canariomys* to extinction.

As mentioned in the introduction, endemic insular species of rodents still exist. Among them are several Murinae, as the giant rats *Crateromys* and *Phloeomys* in the Philippines Islands, and *Tokudaia* and *Diplothrix* on a few islands of the Okinawa Archipelago [21], the former rodent being of the size of a large field mouse and the latter of the size of a large rat. The area of the Philippines Islands is much larger than any of the Canary Islands and may explain the survival of these large endemic species [15]. The two Japanese species, which occupy rather small islands, the largest one being of the size of Gran Canaria, are highly endangered.

5. Conclusion

The present study shows that *Canariomys bravoii* recorded a climatic shift that occurred at the beginning of the Late Holocene. It is extremely likely that the giant rat was present when the first humans arrived on Tenerife, in agreement with observations already made on Gran Canaria and western Canary Islands, where remains of endemic rodents are collected in archaeological deposits [5,11,14]. Humans still remain the main cause of species extinctions. Consequently, we argue that humans played a role in the extinction of this endemic rodent. Since the exact date of human settlement on the island is still unknown, the shift of $\delta^{15}\text{N}$ values may indicate that *Canariomys bravoii* either recorded a climatic trend or that it was first forced by humans to occupy more elevated areas, where $\delta^{15}\text{N}$ values are lower than in the lowland. Humans may have hunted the endemic rodent, but they have certainly brought it on the verge of extinction because of competition with domesticated and commensal animals, both being able to have brought diseases with them.

Acknowledgments

Thanks are due to Mr A. Lainez Conception, who led us into the lava tubes of the Cueva del Viento for collecting fossil *Canariomys* specimens, and to D. Drucker, who extracted collagen. J. Maley and D. Jolly are thanked for their valuable suggested read-

ings about past climatic interpretation. Contribution ISEM (UMR 5554) No. 2006-024.

References

- [1] R. Amundson, A.T. Austin, E.A.G. Schuur, K. Yoo, V. Matzek, C. Kendall, A. Uebersax, D. Brenner, W.T. Baisden, Global patterns of the isotopic composition of soil and plant nitrogen, *Global Biogeochem. Cycles* 17 (1) (2003) 1031.
- [2] A.R. Biknevičius, D.A. McFarlane, R.D.E. MacPhee, Body Size in *Amblyrhiza inundata* (Rodentia: Caviomorpha), an extinct megafaunal rodent from the Anguilla Bank, West Indies: Estimates and implications, *Am. Mus. Novit.* 3079 (1993) 1–25.
- [3] H. Bocherens, D. Drucker, Trophic level isotopic enrichments for carbon and nitrogen in collagen: Case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems, *Int. J. Osteoarchaeol.* 13 (2003) 46–53.
- [4] H. Bocherens, H.J. Michaux, D. Billiou, J. Castanet, F. Garcia-Talavera, Contribution of collagen stable isotope biogeochemistry to the reconstruction of the paleobiology of extinct endemic giant rat (*Canariomys bravoii*) and giant lizard (*Gallotia goliath*) in Tenerife (Canary Islands, Spain), *Isot. Health Environ. Sci.* 39 (3) (2003) 197–210.
- [5] P. Boye, R. Hutterer, N. López-Martínez, J. Michaux, A reconstruction of the Lava mouse (*Malpaisomys insularis*), an extinct rodent of the Canary Islands, *Zeitschr. Säugetierkd.* 57 (1992) 29–38.
- [6] R. Cheddadi, H.F. Lamb, J. Guiot, S. Van Der Kaars, Holocene climatic change in Morocco: A quantitative reconstruction from pollen data, *Clim. Dyn.* 14 (1998) 883–890.
- [7] M. Crusafont, F. Petter, Un muridé géant fossile des îles Canaries: *Canariomys bravoii* gen. nov., sp. nov. (Rongeurs, Muridés), *Mammalia* 28 (1964) 608–611.
- [8] P.B. deMenocal, J. Ortiz, T. Guilderson, J. Adkins, M. Sarnthein, L. Baker, M. Yarusinski, Abrupt onset and termination of the African Humid Period: Rapid climate response to gradual insolation forcing, *Quat. Sci. Rev.* 19 (2000) 347–361.
- [9] P.B. deMenocal, J. Ortiz, T. Guilderson, M. Sarnthein, Coherent high- and low-latitude climate variability during the Holocene warm period, *Science* 288 (2000) 2198–2202.
- [10] J.-F. Ducroz, L. Granjon, P. Chevret, J.-M. Duplantier, M. Lombard, V. Volobouev, Characterisation of two distinct species of *Arvicanthis* (Rodentia: Muridae) in West Africa: Cytogenetic, molecular and reproductive evidences, *J. Zool.* 241 (1997) 709–723.
- [11] R. Hutterer, N. López-Martínez, J. Michaux, A new rodent from the Quaternary deposits of the Canary Islands and its relationships with Neogene and recent Murids of Europe and Africa, *Palaeovertebrata* 18 (1988) 241–262.
- [12] H.F. James, T.W. Stafford Jr., D.W. Steadman, S.L. Olson, P.S. Martin, A.J.T. Jull, P.C. McCoy, Radiocarbon dates on bones of extinct birds from Hawaii, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 84 (1987) 2350–2354.
- [13] C. Juan, B.C. Emerson, P. Oromí, G.M. Hewitt, Colonization and diversification: Towards a phylogeographic synthesis for the Canary Islands, *Trends Ecol. Evol.* 15 (2000) 104–109.
- [14] N. López-Martínez, L.F. López-Jurado, Un nuevo murido gigante del Cuaternario de Gran Canaria *Canariomys tamarani* nov. sp. (Rodentia, Mammalia), *Doñana Acta Vertebrata* 2 (1987) 1–66 (Publicación Ocasional).
- [15] R.H. MacArthur, W.O. Wilson, *The Theory of Island Biogeography*, Princeton University Press, Princeton, NJ, USA, 2001 (224 p.).
- [16] R. Mackay, *The Penguin Atlas of Endangered Species*, A Worldwide Guide to Plants and Animals, Penguin, 2002 (128 p.).
- [17] J. Maley, Middle to Late Holocene changes in tropical Africa and other continents: Paleomonsoon and sea surface temperature variations, in: H.N. Dalfes, G. Kukla, H. Weiss (Eds.), 3rd Millennium BC Climate Change and Old World collapse, NATO ASI Series, Global Environmental Change, Springer-Verlag, Berlin, 1997, pp. 611–640.
- [18] R. Marchant, H. Hooghiemstra, Rapid environmental change in African and South American tropics around 4000 years before present: a review, *Earth-Sci. Rev.* 66 (2004) 217–260.
- [19] A. Mederos Martín, G. Escribano Cobo, Los arborígenos y la prehistoria de Canarias. Centro de la cultura popular canaria, 2002 (182 p.).
- [20] J. Michaux, N. López-Martínez, J. J. Hernandez Pacheco, A ¹⁴C dating of *Canariomys bravoii* (Mammalia; Rodentia), the extinct giant rat from Tenerife (Canary Islands, Spain), and the recent history of the endemic mammals in the archipelago, *Vie et Milieu* 46 (1996) (3/4) 261–266.
- [21] R.M. Nowak, *Walker's mammals of the world*, 6th edit, John Hopkins University Press, vol. 2, 1999 (1099 p.).
- [22] J. Onrubia, Les cultures préhistoriques des Canaries. État de la question, *Anthropol.* 91 (1987) 653–678.
- [23] D. Quammen, The song of the Dodo. Island biogeography in an age of extinction, Hutchinson, London, 1996 (702 p.).
- [24] P.J. Reimer, M.G.L. Baillie, E. Bard, A. Bayliss, J.W. Beck, C.J.H. Bertrand, P.G. Blackwell, C.E. Buck, G.S. Burr, K.B. Cutler, P.E. Damon, R.L. Edwards, R.G. Fairbanks, M. Friedrich, T.P. Guilderson, A.G. Hogg, K.A. Hughen, B. Kromer, F.G. McCormac, S. Manning, C. Bronk Ramsey, R.W. Reimer, R.S. Remmele, J.R. Southon, M. Stuiver, M.S. Talamo, F.W. Taylor, J. van der Plicht, C.E. Weyhenmeyer, InTCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0–26 cal kyr BP, *Radiocarbon* 46 (2004) 1029–1058.
- [25] D.W. Steadman, G.K. Pregill, S.L. Olson, Fossil vertebrates from Antigua, Lesser Antilles: Evidence for Late Holocene human-caused extinctions in the West Indies, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 81 (1984) 4448–4451.
- [26] L. Thaler, Nanisme et gigantisme insulaires, *Recherche* 37 (1973) 741–750.
- [27] P. Vogel, J.-F. Cosson, L.F. López Jurado, Taxonomic status and origin of the shrews (Soricidae) from the Canary Islands inferred from a mtDNA comparison with the European *Crocidura* species, *Mol. Phylogenet. Evol.* 27 (2003) 271–282.
- [28] F.E. Zeuner, The first fossil mammal from the Canary Islands, in: *Actas Vº Congreso Panafricano Prehist. y Est. Cuat.*, vol. 2, 1966, pp. 289–298.