



HAL
open science

Vanuatu environments from the Holocene to the present day: A state of knowledge

Claire Combettes

► **To cite this version:**

Claire Combettes. Vanuatu environments from the Holocene to the present day: A state of knowledge. *L'anthropologie*, 2016, 120 (2), pp.175-208 10.1016/j.anthro.2016.03.003 . hal-01314826

HAL Id: hal-01314826

<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-01314826v1>

Submitted on 12 May 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

1 Les environnements du Vanuatu de l'Holocène à nos jours
2 : Un état des lieux des connaissances
3 Vanuatu environments from the Holocene to the present
4 day: A state of knowledge

5

6 Claire Combettes, Département de Préhistoire (UMR7194)-MNHN Institut de
7 Paléontologie Humaine, 1, rue René Panhard, 75013 PARIS ; IRD-Sorbonne
8 Université (UPMC, Univ Paris 06)-CNRS-MNHN, LOCEAN Lab. UMR7159, IRD
9 France-Nord, 32 avenue Henri Varagnat, 93143 BONDY cedex,
10 01.48.02.56.17., claire.combettes@ird.fr

11

12 RÉSUMÉ

13

14 La découverte des premiers sites archéologiques du Vanuatu remonte aux années
15 60. Depuis, les connaissances scientifiques et archéologiques sur cet archipel ont
16 grandement augmenté. Cependant, les relations entre l'Homme et les différents
17 changements paléoenvironnementaux du Vanuatu restent un sujet débattu. Afin de
18 mieux décrire ces relations, il est important de faire un point sur ce que nous savons
19 des environnements passés et présents. Ce papier présente donc un état des lieux
20 des connaissances en géologie, climat, biodiversité et archéologie du Vanuatu, de
21 l'Holocène moyen jusqu'à nos jours. L'archipel du Vanuatu est relativement jeune et
22 issu d'une forte activité volcanique et tectonique de la zone de subduction entre la
23 plaque Pacifique et Australie. Le climat est majoritairement influencé par les

24 relations atmosphère-océan Pacifique, déterminant les saisons humides et sèches.
25 La faune et la flore sont principalement originaires d'Asie du sud-est mais
26 l'isolement de l'archipel, la taille des îles et le gradient climatique entre le nord et le
27 sud sont à l'origine de la présence de certaines espèces et sous espèces endémiques
28 à l'archipel, voire à quelques îles. Les premières populations humaines n'ont atteint
29 l'archipel qu'autour de 3200 ans BP. Entre 3200 et 2900 ans BP, la culture Lapita,
30 caractérisée par des poteries très décorées, est commune à tout le Vanuatu. Après
31 2900 ans BP, les cultures divergent et diffèrent d'une île à une autre. A partir de 600
32 ans BP, la culture polynésienne domine au Vanuatu dans les îles du centre et du sud.

33

34 Mots-clés

35 Vanuatu, Holocène, Tectonique, Volcanisme, Climat, Flore et Faune, Histoire de
36 l'Homme.

37

38 **ABSTRACT**

39 The first Vanuatu archaeological site discovery dates back to the 60s, then the
40 scientific and archaeological knowledge of this archipelago have increased.
41 Nevertheless, the human activities-palaeoenvironmental changes relation in
42 Vanuatu is still a matter of debate. In order to better determine this relation,
43 reviewing the literature on past and actual environment is needed. This paper
44 presents here a state of knowledge on Vanuatu geology, climate, biodiversity and
45 archaeology, from the mid-Holocene to our present-day. The young archipelago
46 results from strong volcanic and tectonic activity, due to the active subduction zone
47 between Australian and Pacific plates. The atmosphere-ocean interactions

48 determine the wet and dry seasons. Fauna and flora are principally derived from
49 Southeast Asia. The occurrence of several species and subspecies endemic to the
50 archipelago, if not to some islands, is probably due to the Vanuatu isolated location,
51 the size of the islands and the climatic gradient between north and south. The first
52 human populations reached the archipelago around 3200 yr BP. The Lapita culture,
53 characterized by decorated potteries, is shared across the whole Vanuatu between
54 3200 and 2900 yr BP. After 2900 yr BP, cultures differ from one island to another.
55 After 600 yr BP, the Polynesian culture dominates in Vanuatu.

56

57 Keywords

58 Vanuatu, Holocene, Tectonic, Volcanism, Climate, Flora and Fauna, Human history.

59 1. Introduction

60

61 Il paraît déraisonnable aujourd'hui d'essayer de comprendre l'histoire de
62 l'Homme préhistorique sans prendre en compte le contexte environnemental dans
63 lequel il a vécu. Son comportement de subsistance, sa culture, ses modes de
64 déplacements sont liés aux conditions naturelles et à leur variations Il convient de
65 citer au préalable les paramètres qui déterminent l'environnement : il s'agit de
66 l'ensemble des éléments naturels (biodiversité et phénomènes physiques)
67 entourant un organisme vivant et pouvant interagir avec lui. Même si nous traitons
68 souvent des relations entre l'Homme et son environnement, l'Homme peut aussi
69 faire partie d'un environnement d'une autre espèce animale ou végétale.

70 Le Vanuatu est considéré comme non habité jusqu'à 3200 ans BP environ
71 (Galipaud et Kelly, 2007), les interactions entre l'Homme et son environnement sur
72 cet archipel sont donc relativement récentes. Dans les années 90-2000, Nunn
73 (1997 ; 2003) proposa l'hypothèse que l'Homme n'avait pratiquement pas
74 d'influence sur son environnement dans cette région du Pacifique sud et qu'il
75 s'adaptait aux aléas du climat. Cette proposition a été contredite par la suite, mais
76 les discussions concernant les liens entre les activités humaines et les événements
77 naturels qui se sont déroulés au cours de la préhistoire du Vanuatu sont toujours
78 d'actualité.

79 Afin de mieux déterminer les interactions Homme-environnement qui se sont
80 déroulées pendant l'Holocène récent, il est important de présenter point par point
81 les différents paramètres environnementaux et les changements qui se sont
82 produits dans le passé. C'est l'objectif de l'état des lieux présenté dans ce papier. La
83 connaissance du présent nous permet de mieux appréhender le passé par le

84 principe d'actualisme (les processus s'étant exercés dans le passé se produisent
85 encore à l'heure actuelle), mais l'état actuel des environnements étant le résultat de
86 tous les évènements passés, la compréhension des phénomènes présents et futurs
87 passe par l'étude des phénomènes antérieurs. Les modèles et les simulations tentent
88 de prévoir les prochains changements environnementaux, et les données
89 paléoécologiques servent de banc d'essai à ces modèles, afin de s'assurer qu'ils
90 reproduisent fidèlement les évènements du passé avant de simuler ceux du futur.
91 Ainsi, chaque chapitre aura une partie consacrée à l'environnement présent et à
92 celui de l'Holocène.

93 Aujourd'hui les populations du Vanuatu subissent de plein fouet les
94 conséquences du changement climatique (transfert de villages des côtes vers
95 l'intérieur du pays par exemple). Or ces populations dépendent de leur
96 environnement : les trois quarts des Vanuatais vivent grâce à l'agriculture et surtout
97 l'horticulture : une grande diversité de plantes est utilisée depuis les premières
98 installations humaines (Bourdy et Walter, 1987 ; Walter et al., 2003). La biodiversité
99 a donc toujours fait partie du patrimoine vital de ces insulaires.

100 Tout d'abord, le contexte océanique sera exposé, puis nous présenterons la
101 formation de l'archipel, ainsi que son activité tectonique et volcanique au cours du
102 Quaternaire. La variabilité climatique actuelle sera ensuite abordée et nous
103 développerons les changements climatiques qui ont eu lieu tout au long de
104 l'Holocène. Nous présenterons ensuite un inventaire de la faune et la flore et
105 l'origine de cette biodiversité. Les espèces animales et végétales n'ont pas changé
106 depuis l'Holocène, seules des variations d'abondance de certaines espèces ont été
107 observées selon les évènements climatiques, tectoniques, volcaniques et
108 anthropiques. Nous exposerons également les données archéologiques et les

109 hypothèses concernant les déplacements et installations des populations humaines.
110 La dernière partie de ce papier sera dédiée aux relations qui ont pu exister par le
111 passé entre les environnements décrits précédemment.

112 2. Cadre géologique du Vanuatu

113

114 2.1. L'océan

115 Dans le cas d'un archipel, la terre et la mer sont indissociables. Celui du Vanuatu
116 est localisé dans le sud ouest du Pacifique, entre 13°04' et 20°16 S et 166°32' et
117 170°14' E, au niveau de la zone de subduction caractérisée par l'enfoncement de la
118 plaque tectonique Australie sous la plaque Pacifique. La marge convergente du
119 Vanuatu s'étendant sur 1400 km est profonde de 6000 à 8800 m (Siméoni, 2009 for
120 a review). L'archipel est d'origine volcanique, et les premières îles ont émergé vers
121 la fin de l'Oligocène (voir Annexe 2) à partir d'une large plateforme comprise entre
122 100 et 3000 m de profondeur et située entre la marge convergente et un bassin
123 arrière arc (bassin nord fijien – Figure 1).

124 Les fréquents mouvements tectoniques empêchent la formation de barrières de
125 corail, mais il existe des récifs frangeants le long des côtes (faune actuelle, voir point
126 4.3.). Dans le cadre d'études géologiques, la datation de terrasses coralliennes
127 émergées peut être utilisée pour déterminer l'amplitude des mouvements verticaux
128 passés (eg. Cabioch et al., 2003 – voir point 2.2.) et actuels (eg. Calmant et al., 1999).
129 L'étude des isotopes stables (de l'oxygène et du carbone), ainsi que des rapports
130 géochimiques Sr/Ca, Mg/Ca dans les coraux (eg. Kilbourne et al., 2004) et les
131 mollusques (eg. Duprey et al., 2014), principalement les bénitiers (dont on ne
132 prendra que les grands spécimens), permettent de reconstituer la température de
133 surface, la salinité, les précipitations et donnent des informations précieuses sur le

134 climat du passé et ses changements. Si l'étude se focalise sur un ou quelques
135 individus (cas des sites archéologiques), une courte fenêtre de temps (moins de 100
136 ans) sera analysée à très haute résolution (annuelle à saisonnière) (eg. Cobb et al.,
137 2003 ; Loubere et al., 2013). Une analyse sur une plus longue période de temps sera
138 possible dans le cas d'étude des carottes de corail fossile (eg. Cabioch et al., 2008).

139

140 2.2. La tectonique

141 Le Vanuatu est composé de volcans sous-marins et terrestres dont certains
142 toujours en activité (Ash et al., 1978). Les îles sont constituées de laves datant de la
143 fin du Miocène (11-8 Ma) à l'Holocène ; s'ajoutent à cela des terrasses calcaires
144 coralliennes issues des soulèvements tectoniques.

145 Durant le Quaternaire, les changements du niveau de la mer ont été dus à des
146 soulèvements tectoniques et à des variations eustatiques. Les variations eustatiques,
147 associées à la fonte des glaciers, ont entraîné une augmentation du niveau de la mer
148 d'environ 120m depuis le Dernier Maximum Glaciaire, avec une importante
149 accélération entre 11.3 ka et 6000 ans BP (Cabioch et al., 2003, Dickinson, 2003). Un
150 réajustement hydro-isostatique a suivi l'arrêt de la fonte des glaces (Dickinson
151 2001). Des soulèvements ont également affectés la morphologie côtière, dus à la
152 proximité de la zone de subduction, s'ajoutent à ces fluctuations eustatiques. Le
153 niveau de la mer a ainsi fluctué d'environ un mètre entre 3500 et 2500, en positif
154 puis s'est établi à son niveau actuel (Bedford et al., 2007 ; Lecolle et al., 1990 ; Neff et
155 Veeh, 1977 ; Pineda et Galipaud, 1998). Ces soulèvements varient d'une région à
156 l'autre de l'archipel : les plus forts au niveau des îles du nord (jusqu'à 3.2mm/an à
157 Malo) et les plus faibles vers le sud (maximum 1mm/an à Efate).

158 2.3. Le volcanisme

159 Le Vanuatu peut être divisé en trois chaînes parallèles, qui correspondent à trois
160 épisodes volcaniques majeurs (Figure 2 et Annexe 2) : de l'Oligocène supérieur au
161 Miocène moyen pour la chaîne occidentale, du Miocène supérieur à Pliocène
162 inférieur pour la chaîne orientale et du Pliocène supérieur à actuel pour la chaîne
163 centrale (Ash et al., 1978 ; Dugas et al., 1976 ; Luyendyk et al., 1974). Depuis
164 l'Holocène, une douzaine de volcans sont actifs au Vanuatu (Figure 2). Nous
165 développerons ici les activités éruptives des volcans les plus étudiés actuellement.
166 Sauf précision, les données sont issues du site Smithsonian Institution Global
167 Volcanism Program (www.volcano.si.edu).

168 Volcans phréatomagmatiques

- 169 - La caldera actuelle du volcan Ambrym s'est formée autour de 2000 ans BP,
170 lorsqu'une forte éruption phréatomagmatique, sans doute due à l'infiltration
171 de l'eau de mer, a été à l'origine de l'effondrement d'une partie du volcan et
172 du haut de la chambre magmatique (McCall et al., 1970 ; Robin et al., 1993).
173 L'activité s'est ensuite concentrée à l'intérieur de la caldera, autour de deux
174 cônes éruptifs principaux. Les éruptions ont formé une série de cônes de
175 scorie et maars le long d'un système de fissure orienté ENE-WSW. Ambrym
176 est aujourd'hui un des volcans les plus actifs du Vanuatu, les éruptions se
177 sont déroulées presque annuellement depuis le 18^{ème} siècle.
- 178 - Le volcan Aoba est l'un des plus massifs du Vanuatu. Il est composé d'un
179 volcan bouclier de style hawaïen au sommet duquel se trouve un cône
180 pyroclastique contenant trois cratères. Des éruptions explosives sont
181 régulièrement observées, mais la dernière éruption ayant causée des
182 dommages à la population s'est déroulée il y a environ 300 ans.

183 - La caldera du Kuwae est située à l'emplacement actuel de plusieurs îles, qui
184 constituaient, avant l'éruption de 1452 AD, un seul et unique volcan, le
185 Kuwae. Cette éruption a vraisemblablement atteint des proportions
186 catastrophiques et est considérée comme l'une des plus importantes de ces
187 derniers 10 000 ans (Gao et al., 2006 ; Pang 1993). L'éruption s'est déroulée
188 en plusieurs phases, éjectant 32-39 km³ de roches et 235-414 Tg
189 (Téragramme) d'aérosols (Monzier et al., 1994 ; Witter et Self, 2006).
190 Pendant plusieurs mois, une éruption d'origine phréatomagmatique a
191 expulsé des scories de type andésite basaltique. Une seconde phase
192 d'éruption de magma dacitique, toujours d'origine phréatomagmatique,
193 aurait entraîné l'effondrement du cratère du Kuwae. Des dépôts
194 d'ignimbrites indiquent que cette phase a été accompagnée de coulées
195 pyroclastiques. Depuis cette éruption, le Kuwae n'est pratiquement plus
196 actif.

197 Volcans stromboliens

198 - L'activité éruptive du Yasur enregistrée depuis 1.5 ka BP est tout d'abord
199 irrégulière, puis d'intensité supérieure à l'actuel et de faible fréquence entre
200 1.25 ka et 650 ans BP, et enfin de plus en plus fréquente (Firth et al., 2014).
201 Selon Firth et al. le renforcement des phénomènes El Niño dans le Pacifique
202 sud et les plus faibles précipitations seraient une conséquence des
203 constantes éruptions du Yasur entre 650 et 200 ans BP (Petit Âge Glaciaire).

204 Volcans basaltiques-andésitiques

205 - Le stratovolcan Gaua est en partie sous-marin et surmonté d'une caldera.
206 Les premières éruptions, principalement des coulées de laves, dateraient du
207 Pléistocène. La formation de la caldera a été accompagnée de l'émission

208 d'importantes quantités de cendres. Avant les années 60, peu d'éruptions
209 volcaniques ont été enregistrées. Depuis, une douzaine d'éruptions se sont
210 déroulées sur le Gaua.

211 - Le stratovolcan Lopevi est très actif depuis la fin du 19^{ème} siècle. Les
212 éruptions sont explosives, constituées d'émissions de cendres et de coulées
213 pyroclastiques et accompagnées de coulées de laves visqueuses.

214 - Le Suretamatai est un volcan composé d'une chaîne de petits stratovolcans
215 construits sur un ancien volcan pléistocène. Depuis la fin du 19^{ème} siècle, les
216 éruptions sont à caractère explosif mais de moyenne intensité.

217 Volcans basaltiques

218 - L'île d'Epi est constituée de deux volcans d'âge quaternaire, et dans sa partie
219 est se trouve une entaille formée par une caldera sous-marine. C'est au
220 niveau de cette caldera qu'a eu lieu l'ensemble des éruptions historiques
221 d'Epi, notamment sur trois cônes dont les sommets sont localisés entre 35 et
222 170 mètres de profondeur. Les éruptions, principalement effusives, sont de
223 courte durée.

224 - Les volcans situés au nord d'Efate, à Mere Lava et à Motlav ont été actifs au
225 cours de l'Holocène et du Pléistocène supérieur, mais aucune éruption n'a
226 été enregistrée dans les temps historiques (Mallick et Ash, 1975).

227

228 2.4. Les différents types de sols

229 Les sols, issus de l'érosion des roches volcaniques et des terrasses coralliennes,
230 présentent une grande diversité de composition chimique et de structure selon l'âge
231 de l'île, le type d'éruption volcanique, la géomorphologie et le climat (Aubert, 1972-
232 1977 ; Quantin, 1975 ; Siméoni, 2009, for a review).

233 Les volcans actifs sur les îles les plus jeunes de l'archipel produisent des roches
234 basaltiques, andésitiques et des cendres selon le type d'éruptions. Les andosols et
235 les sols bruns eutrophes obtenus par l'érosion de ces roches sont peu évolués et
236 fertiles. Ils varient selon la composition chimique de la roche dont ils sont dérivés.

237 Les îles sans volcans actifs depuis l'Holocène possèdent des sols bruns matures
238 ferrallitiques ou fersiallitiques (évolution particulière des oxydes de fer) dont la
239 composition chimique est influencée par le climat, différent selon l'altitude et
240 l'exposition au vent. Sur des sols jeunes, les différenciations dues au climat sont
241 presque imperceptibles. Cependant, des apports d'éjectas volcaniques entraînent
242 systématiquement le rajeunissement des sols en surface, retardant leur évolution,
243 estompant les effets des différents climats et augmentant leur fertilité. La
244 composition chimique et la structure de ces sols se rapprochent des andosols.

245 Une forte érosion est présente sur les îles au relief important, comme Santo,
246 Pentecost et Maewo. Même sous un climat très humide et sans éruption volcanique
247 récente, les sols évoluent peu sur ces îles.

248

249 3. Variabilité climatique au Vanuatu

250

251 3.1. État moyen et saisonnalité

252 L'Océan Pacifique est le plus étendu du globe, associé à des structures de
253 circulations atmosphérique et océanique influençant la variabilité climatique
254 mondiale. Les vents dominants sont les alizés : ces vents de sud-est et de nord-est
255 convergent, formant la Zone de Convergence Inter-Tropicale ou ZCIT (Waliser et
256 Gautier 1993 ; Xie et Saito 2001).

257 Les alizés poussent les eaux de surface de l’océan d’est en ouest, et l’accumulation
258 d’eaux chaudes à l’ouest du Pacifique forme la Warm Pacific Warm Pool ou WPWP
259 (Wyrтки, 1989 – Figure 3). Ces eaux chaudes plongent à l’ouest du Pacifique,
260 entraînant un courant sous-marin, et un upwelling côtier au niveau de l’Amérique
261 du sud. La WPWP génère des convections intenses de chaleur et d’humidité
262 (Graham et Barnett 1995). Dans les hautes couches de l’atmosphère, cet air chaud et
263 humide est repoussé vers l’est et descend le long de la côte ouest de l’Amérique du
264 Sud. Cette boucle convective est appelée cellule de Walker (Newell, 1979). Le
265 déplacement saisonnier des alizés et des structures qui leur sont associées suit la
266 position apparente du soleil avec un décalage moyen de 6 à 8 semaines.

267 Une autre zone de convergence, la Zone de Convergence Sud Pacifique (ZCSP), se
268 sépare de la ZCIT au niveau de la Papouasie et s’étend jusqu’à la Polynésie Française
269 (Vincent, 1994 - Figure 3). Les processus mis en jeu dans la formation de cette zone,
270 différents de ceux à l’origine de la ZCIT, sont encore difficilement expliqués
271 (Beucher, 2010 for a review). Une des hypothèses les plus courantes est basée sur
272 de forts gradients de températures de surface de la mer entre les tropiques et les
273 moyennes latitudes qui entraîneraient d’importants flux de chaleur et donc une zone
274 de convection (Kiladis et Weickmann, 1992).

275 Durant l’hiver austral (de mai à octobre), la ZCSP et la ZCIT se déplacent vers le
276 nord et les alizés deviennent plus importants alors que pendant l’été austral, les
277 zones de convergences se déplacent vers le sud et les alizés deviennent plus faibles
278 et de direction plus variable.

279 Durant l’été austral, le climat est également influencé par la mousson d’été
280 Indonésienne/Australienne (IASM), débutant dans l’hémisphère Sud en décembre,
281 associée à des cyclones et à de fortes dépressions (McBride, 1987). Cette mousson

282 concerne les deux hémisphères, mais nous ne nous intéresserons qu'au cas de
283 l'hémisphère sud. Plusieurs facteurs sont à l'origine du déclenchement de cette
284 mousson (Hung et Yanai, 2004). Un contraste de température entre le sol et la mer,
285 débutant vers la fin de l'hiver austral va créer une circulation d'air humide et chaud
286 au dessus du nord de l'Australie et des îles adjacentes. L'arrivée de l'Oscillation de
287 Madden-Julian (MJO), une perturbation atmosphérique originaire de l'océan Indien
288 (Madden et Julian, 1971), est considérée comme l'évènement majeur dans le
289 déclenchement de l'IASM. Le système de convection est soutenu par la MJO
290 (Wheeler et al., 2009) et les alizés attirés par la dépression au dessus de l'Australie,
291 qui continuent à apporter de l'air humide (Suppiah, 1992 ; Wheeler et McBride,
292 2011).

293

294 3.2. Variabilité interannuelle du climat

295 Dans l'ensemble de l'océan Pacifique tropical, les variations interannuelles de
296 température de surface et de précipitation sont principalement influencées par
297 ENSO (Neelin et Latif, 1998). Il s'agit en réalité de deux évènements liés, le
298 phénomène El Niño/La Niña et l'Oscillation australe. L'Oscillation australe
299 correspond à la différence des anomalies de pression entre l'est et l'ouest du
300 Pacifique sud, forte en période normale et faible en période El Niño (Walker et Bliss,
301 1932).

302 Le phénomène El Niño se produit au début de l'été austral, lorsque le
303 ralentissement des alizés sur l'équateur diminue l'intensité de l'upwelling côtier
304 d'Amérique du sud, les eaux froides étant remplacées par des eaux plus chaudes. Ce
305 réchauffement océanique est local (Wyrтки, 1975).

306 Certaines années, le réchauffement des eaux du Pacifique atteint une intensité
307 exceptionnelle, et persiste jusqu'au début de l'hiver austral. Cette anomalie n'est
308 plus locale mais liée à une anomalie du couplage océan-atmosphère régionale
309 (Fedorov et Philander, 2001 ; McPhaden et Yu, 1999 ; Schopf et Suarez, 1988). La
310 diminution du gradient de pression entre les régions est et ouest s'accompagne
311 d'alizés plus modérés voire inexistantes (Wyrтки, 1975). Durant cette période,
312 l'accumulation d'eau chaude ne se fait plus dans le Pacifique ouest et la WPWP se
313 déplace vers le centre équatorial, entraînant avec elle les précipitations qui lui sont
314 associées ; cela se traduit par une diminution de la température de l'eau et une
315 sécheresse du climat dans les îles du Pacifique sud-ouest (Wyrтки, 1975). On parle
316 alors d'années "El Niño". Ces événements se reproduisent à des intervalles
317 irréguliers pouvant varier de 2 à 7 ans. Les événements La Niña sont associés à des
318 impacts de structure similaire mais de déroulement et conséquence opposés.

319 Un autre phénomène, propre à l'océan Indien (Saji et al, 1999), peut influencer le
320 climat du Pacifique sud ouest via les téléconnexions atmosphériques (Annamalai et
321 al., 2005 ; Terray et Dominiak, 2005 ; Wu et Kirtman, 2005) : le Dipôle Océan Indien
322 (IOD). L'IOD est positif quand la température de la surface de l'eau de l'océan Indien
323 est supérieure à la normale à l'ouest et inférieure à la normale à l'est. Ces variations
324 de températures de surface sont couplées avec des anomalies de vent et de
325 précipitation. Dans le cas d'un IOD positif, une sécheresse en Asie du Sud-Est
326 insulaire et dans le Nord de l'Australie est observée. Ce phénomène est cependant
327 encore mal connu et son influence sur les océans Indien et Pacifique est toujours
328 débattue (Dwivedi, 2012 ; Konecky et al., 2014 ; Kug et al., 2009).

329

330 3.3. Variabilité climatique depuis l'Holocène moyen

331 3.3.1. Les forçages sur le climat

332 Pendant pratiquement tout l'Holocène, le climat est influencé par trois forçages
333 naturels principaux : solaire, orbital et volcanique. Durant les derniers 6000 ans, la
334 combinaison des différents forçages n'a cessé de changer. Un certain nombre
335 d'enregistrements paléoclimatiques et de modèles ont fourni des résultats pouvant
336 indiquer un lien entre les changements climatiques et les changements d'activité
337 solaire (Ammann et al., 2007 ; Wanner et Bütikofer, 2008 for a review).

338 Des enregistrements à long terme ont montré qu'il existait une cyclicité
339 millénaire du climat à l'Holocène (Baker et al., 2001 ; Fleitmann et al., 2003 ; Gupta
340 et al., 2003 ; Jones et al., 2006 ; Wang et al., 2005), mais les événements ne sont pas
341 synchrones d'une région à l'autre.

342 3.3.2. Histoire du climat et de la variabilité climatique

343 Les analyses paléoclimatiques réalisées dans tout le Pacifique sud et les
344 simulations montrent l'apparition d'une variabilité d'ENSO comparable à l'actuel
345 débutant autour de 5000 ans BP (e.g. Anshari, 2000 ; Chazen et al., 2009 ; Clement et
346 al., 2000 ; Conroy et al., 2008 ; Donders et al., 2008 ; Gagan et al., 2004 ; Ganopolski
347 et al., 1998 ; Haberle et al., 2001 ; McGregor et Gagan, 2004 ; Moy et al.,
348 2002 ; Sandweiss et al., 2001 ; Servant et Servant-Vildary, 2003 ; Vargas et al., 2006).
349 Certains auteurs proposent cependant que de fréquents et intenses El Niño se
350 seraient produits au cours de l'Holocène inférieur (Fan et al., 2013 ; Zhang et al.,
351 2014). Entre 4000 et 1500 ans BP, la plus forte variabilité d'ENSO est enregistrée
352 mais les pics d'amplitudes et/ou de fréquences varient selon les sites, les auteurs et
353 les proxies utilisés (Brijker et al., 2007 ; Cobb et al., 2013 for a review ; Corrège et al.,
354 2000 ; Denniston et al., 2013, 2014 ; Donders et al., 2007 ; Gagan et al., 2004 ;
355 McGregor et Gagan, 2004 ; Moy et al., 2002 ; Tudhope et al., 2001 – Figure 4). En

356 compilant toutes ces données nous pouvons en déduire que la variabilité climatique
357 au cours de l'Holocène, correspondant au maximum de variabilité d'ENSO, a été
358 supérieure à l'actuel entre 2500 et 1700 ans BP.

359 L'apparition de cette variabilité d'ENSO autour de 5000 ans BP est plus soudaine
360 dans les enregistrements paléoclimatiques que dans les modèles (Beucher et al.,
361 2010, for a review). Ces modèles ne prenant en compte que le forçage orbital, cette
362 différence montre que d'autres phénomènes peuvent influencer la fréquence et
363 l'intensité d'ENSO. Les déplacements de la ZCIT et de la ZCSP seraient aussi pour
364 partie à l'origine des variations d'ENSO (Fleitmann et al., 2003 ; Haug et al., 2001 ;
365 Hu et al., 2008 ; Partin et al., 2007; Renseen et al., 2005 ; Wang et al., 2005). Ainsi, à
366 l'Holocène moyen, le déplacement de la ZCIT vers le nord et des pluies qui lui sont
367 associées va affaiblir les interactions entre l'Oscillation australe et ces pluies
368 entraînant une faible variabilité d'ENSO. Autour de 4000 ans BP, la ZCIT se déplace
369 vers le sud et favorise la variabilité d'ENSO. Les variations de l'intensité de
370 l'insolation pourraient également influencer la fréquence et l'intensité des
371 évènements ENSO (Braconnot et al., 2012 ; Loubere et al., 2013). Enfin, Thompson et
372 al. (2000) suggèrent que de forts ENSO diminueraient l'intensité de la mousson. Le
373 sujet est toujours discuté aujourd'hui (Denniston et al., 2013, 2014 ; McRobie et al.,
374 2015 ; Nan et al., 2014 ; Steinke et al., 2014 ; Sun et al., 2005).

375 A partir de 1300 ans BP et jusqu'à environ 750 ans BP, les évènements La Niña
376 deviennent plus importants que les El Niño, provoquant une humidification du
377 climat en Océanie (Cobb et al., 2003 ; Khider et al., 2011 ; Mohtadia et al., 2007 ; Rein
378 et al., 2004), phénomène connu sous le nom d'Optimum Médiéval - OM (Lamb,
379 1965). L'amplitude et la fréquence marquées des évènements La Niña et IOD est à

380 l'origine d'une importante variabilité climatique à cette période (Goodwin et al.,
381 2013 for a review ; Mohtadia et al., 2007).

382 Une période globalement plus froide suit l'Optimum Médiéval et persiste
383 jusqu'au 19^{ème} siècle environ : il s'agit du Petit Âge Glaciaire – PAG (Bradley et Jones,
384 1993 ; Crowley et North, 1991). Cependant, les baisses importantes de températures
385 ont été restreintes aux hautes latitudes (Rind, 2000 for a review). Sous les tropiques
386 cet événement est marqué par un renforcement des vents associés à de plus forts El
387 Niño (Goodwin et al., 2013 for a review ; Mann et al., 2009 ; Matthey et al., 2011).

388 Ces modifications du système océan-atmosphère, à l'origine de l'OM et du PAG,
389 pourraient être liées à des variations de l'activité solaire (Mohtadi et al., 2007), mais
390 aussi à de fortes éruptions volcaniques, comme celles des volcans Yasur et Kuwae
391 (point 2.3.) (Adams et al., 2003 ; Cole-Dai et al., 2013 ; Firth et al., 2014). Tous les
392 auteurs ne s'accordent pas sur les conséquences climatiques de ces évènements sur
393 les tropiques : certains suggèrent qu'ils ont eu des conséquences différentes de
394 celles qui ont été citées plus haut, voire qu'ils n'ont pas significativement modifié le
395 climat (Barr et al., 2014 - OM sec et PAG humide ; Oppo et al, 2009 - pas de
396 changement de conditions pendant l'OM ; Yan et al., 2011 - OM sec et PAG humide).
397 En revanche, tous s'accordent à dire que le climat a changé de façon importante au
398 moment de la transition OM/PAG : une diminution de la température de surface de
399 la mer et la prédominance, soit d'El Niño soit de La Niña. Ces variations
400 coïncideraient, nous le verrons, avec des modifications des comportements humains
401 observées en Océanie (voir point 6.).

402 Au cours de l'été austral, la présence dans l'hémisphère sud de perturbations
403 atmosphériques (ZCIT et ZCSP) associées à une température de subsurface de la mer
404 (50 premiers mètres) au moins égale à 28°C vont être à l'origine d'un courant d'air

405 chaud ascendant entouré d'une couverture nuageuse dense : un cyclone. Il y a
406 environ 40 à 50 cyclones par an (Beucher, 2010 for a review), mais leur variabilité
407 actuelle comme passée reste encore difficile à cerner. Les différents enregistrements
408 des cyclones tropicaux à l'Holocène récent montrent une alternance de périodes à
409 activité cyclonique intense puis réduite. Dans le Pacifique sud-ouest, de forts
410 cyclones sont enregistrés autour de 5000-4500, 4100-3400 et 2100-900 ans BP
411 (Forsyth et al., 2010 ; Nott et al., 2009), mais la faible résolution de ces analyses
412 (souvent millénaire) ne permet pas d'obtenir de dates plus précises pour ces
413 évènements. Ainsi, Nott et al. (2007) ont identifié de grandes variations d'amplitude
414 et de fréquence des cyclones pour les 800 dernières années. La comparaison
415 modèles - données est une autre méthode d'investigation possible : Nott et Hayne
416 (2001) ont pu remarquer que des cyclones extrêmement violents se produisaient
417 tous les 200-300 ans environ depuis les 5000 dernières années.

418

419 4. Diversité floristique et faunistique du Vanuatu

420

421 4.1. Endémisme et spécificité de la biodiversité

422 De par son origine volcanique, le Vanuatu a d'abord été une île vierge de toute
423 espèce animale comme végétale. Le vent, les oiseaux, les courants marins ou les
424 radeaux naturels ont transporté la faune et la flore, principalement originaires de
425 l'Asie du sud est, jusqu'à l'archipel (Munzinger et Lowry, 2011 ; Schmid, 1987).

426 Au Vanuatu, 4% des espèces de ptéridophytes et 20% des espèces
427 d'angiospermes sont endémiques (Schmid 1987). Seuls quelques espèces de
428 vertébrés et un tiers des espèces d'insectes sont endémiques à l'archipel (Siméoni,
429 2009 for a review).

430 En se basant sur la distribution des oiseaux, chauves-souris, reptiles, végétaux et
431 invertébrés, Hamilton et al. (2010) ont montré la présence d'une limite
432 biogéographique distincte au Vanuatu, appelée la ligne de Cheesman (Fig. 5),
433 divisant l'archipel en deux ensembles entre Efate et Erromango. Cheesman (1975)
434 est la première à avoir suggéré l'existence de cette ligne, sans la définir de façon
435 précise. De part et d'autre de cette ligne, certaines espèces sont plus abondantes au
436 nord qu'au sud, et le cas inverse se présente pour d'autres espèces, marquant un
437 filtre géographique entre ces deux régions (Gillison, 1975). Les biota (ensembles des
438 organismes vivants présents dans une région donnée) distincts entre le nord et le
439 sud de l'archipel peuvent s'expliquer par les différents types de climat et de sol (voir
440 point 2.4.), influençant la végétation et donc la faune associée : le climat est
441 légèrement plus humide et les sols sont plus variés au nord qu'au sud de la ligne.

442 En 2006, une importante mission de recensement de la biodiversité animale et
443 végétale s'est déroulée sur l'île de Santo. Le Vanuatu est un "point chaud" de la
444 biodiversité, et depuis les années 90 les populations locales, avec l'aide
445 d'organisations non gouvernementales, tentent de protéger l'environnement face
446 aux changements climatiques et à l'urbanisation du pays. Le développement de
447 l'écotourisme, la protection de certains lieux en les rendant tabou ou en les faisant
448 reconnaître officiellement (cinq Zones Protégées sont reconnues) font partie des
449 actions menées au Vanuatu (Siméoni, 2009 for a review).

450

451 4.2. Diversité de la flore

452 La végétation tropicale se développe en majorité en fonction des précipitations,
453 favorisant le stockage de l'eau dans le sol, de la présence/absence d'eau douce ou
454 saumâtre et de la température en haute altitude (Aubert, 1972-1977 ; Morishita et

455 Heki, 2008 ; Munzinger et Lowry, 2011 ; Siméoni, 2009 for a review ; Smith, 1979 ;
456 Wheatley, 1992). On distingue huit grands types de végétation au Vanuatu (Figure
457 5) :

458 La forêt humide de basse altitude, composée de grands arbres, lianes et fougères
459 arborescentes est la végétation naturelle des côtes au vent (côte est), se développant
460 jusqu'à 300-500m d'altitude selon les îles. Les vents apportent de la pluie en plus
461 grande quantité sur la côte est (jusqu'à 400mm/mois) que sur la côte ouest
462 (maximum 320mm/mois). Cette forêt est la plus diversifiée et structurellement la
463 plus complexe des forêts du Vanuatu. Les genres *Syzygium*, *Metrosideros*
464 (*Myrtaceae*), *Dysoxylum* (*Meliaceae*), *Meryta*, *Schefflera* (*Araliaceae*) et *Myristica*
465 (*Myristicaceae*) sont les grands arbres dominants. Ces arbres sont couverts par la
466 liane *Freycinetia spp.* (*Pandanaceae*). Sous la canopée, beaucoup d'espèces de
467 *Rubiaceae* sont présentes, ainsi que *Dillenia spp.* (*Dilleniaceae*) et *Litsea spp.*
468 (*Lauraceae*). La forêt à *Agathis* (*Araucariaceae*) et *Calophyllum* (*Clusiaceae*) est
469 particulièrement présente dans les îles au sud d'Efate mais peut aussi être retrouvée
470 dans le nord de l'archipel.

471 A l'ouest, au niveau des côtes sous le vent, la végétation est plus adaptée à des
472 précipitations moindres : on remarque un effet marqué de la saison sèche sur la
473 végétation. Cette forêt semi décidue est caractérisée par quelques grands arbres,
474 dominés par *Acacia spirorbis*, *Gyrocarpus americanus*, *Intsia bijuga* et *Pterocarpus*
475 *indicus* (*Fabaceae*), *Garuga floribunda* (*Burseraceae*) et *Kleinhovia hospita*
476 (*Malvaceae*) ainsi que de nombreuses espèces de buissons et d'herbes comme
477 *Clerodendrum buchanamii* (*Verbenaceae*), *Micromelum spp.* (*Rutaceae*), *Psychotria*
478 *spp.* (*Rubiaceae*), *Croton spp.* et *Glochidion ramiflorum* (*Euphorbiaceae*), des *Poaceae*
479 et des *Asteraceae*.

480 Au niveau des plaines inondées et des marécages, la forêt est composée d'épais
481 taillis à *Hibiscus tiliaceus* (Malvaceae), de *Pandanus tectorius* (Pandanaeae), de
482 Cyperaceae et de lianes comme *Caryatia trifolia* (Vitaceae).

483 Ces types de végétation sont dégradés par l'Homme ou naturellement (cyclones)
484 et remplacés alors par une végétation secondaire composée de plantes pionnières
485 héliophiles, le plus souvent des buissons, comme *Macaranga spp.*, *Mallotus spp.* et
486 *Homalanthus spp.* (Euphorbiaceae), *Commersonia bartramia* (Malvaceae), *Cordia*
487 *dichotoma* (Boraginaceae) et *Premna corymbosa* (Verbenaceae). Lorsque les
488 conditions de stress diminuent, ces espèces vont ensuite laisser la place à une
489 végétation plus exigeante, comme *Castanospermum australe* et *Serianthes spp.*
490 (Fabaceae), *Dendrocnide latifolia* et *Pipterus argenteus* (Urticaceae), *Antiaris toxicaria*
491 et *Ficus spp.* (Moraceae), *Endospermum medellosum* (Euphorbiaceae) et *Gardenia*
492 *tannaensis* (Rubiaceae). Ce type de végétation est aujourd'hui très fréquent près des
493 habitations.

494 Au dessus de 600m, le taux d'humidité augmente et la température baisse, une
495 couverture nuageuse omniprésente donne son nom à cette végétation : la forêt de
496 nuages. Les arbres sont plus petits et la canopée est principalement composée de
497 *Metrosideros collina* et *Syzygium spp.* (Myrtaceae), *Weinmannia spp.* et *Geissois spp.*
498 (Cunoniaceae), *Quintinia spp.* (Quintiniaceae) et *Ascarina spp.* (Chloranthaceae). De
499 nombreux épiphytes, le plus souvent des orchidées dont *Dendrobium spp.* couvrent
500 les arbres et la strate herbacée est dominée par des fougères, principalement
501 *Cyathea spp.* (Cyatheaceae) et *Dicksonia spp.* (Dicksoniaceae).

502 La végétation des coulées de laves récentes est composée de mousses, de lichens,
503 de fougères comme *Histiopteris incisa* (Dennstaedtiaceae) ou *Cyathea spp.* et de
504 Poaceae comme *Imperata cylindrica* et *Miscanthus floridulus*. L'installation de cette

505 flore permet à des buissons comme *Melastoma denticulatum* (Melastomataceae),
506 *Macropiper latifolium* (Piperaceae), *Wikstroemia rotundifolia* (Thymelaeaceae),
507 *Pipturus argenteus*, *Pandanus spp.*, puis à des arbres comme *Ficus spp* de se
508 développer.

509 Les mangroves, localisées dans les zones de balancement des marées, sont peu
510 développées dans l'archipel. La végétation de mangrove est composée d'une dizaine
511 d'espèces, dominée par *Rhizophora spp.*, *Bruguiera spp.*, *Cerriops tagal*
512 (Rhizophoraceae), *Sonneratia alba* (Sonneratiaceae) et *Avicennia marina*
513 (Verbenaceae), adaptée à une faible oxygénation du sol ainsi qu'à une eau saumâtre.
514 Sur le front de plage se développe des lianes rampantes comme *Ipomea pes-caprae*
515 (Convolvulaceae), *Vigna spp.* et *Canavalia spp.* (Fabaceae). En bordure de la plage
516 poussent des petits arbres comme *Pandanus spp.* et *Tournefortia spp.* (Boraginaceae)
517 ainsi que des arbres comme *Casuarina equisetifolia* (Casuarinaceae), *Barringtonia*
518 *asiatica* (Lecythidaceae), *Terminalia catappa* (Combretaceae), *Hernandia spp.*
519 (Hernandiaceae) et *Vitex negundo* (Verbenaceae).

520 En protégeant certaines espèces locales comme *Cocos nuctifera* (Arecaceae),
521 *Barringtonia edulis*, *B. novae-hiberniae*, *Burckella fijiensis* (Sapotaceae), *Canarium*
522 *indicum* (Burseraceae), *Dracontomelon vitiense*, *Spondias cytherea* (Anacardiaceae),
523 *Inocarpus fagifer* (Fabaceae), *Morinda citrifolia* (Rubiaceae), *Pometia pinnata*
524 (Sapindaceae), *Syzygium malaccense* et *Terminalia catappa*, l'Homme, depuis 3
525 millénaires, modifie la végétation naturelle. Des plantes ont ainsi pu être importées,
526 à différentes périodes entre 3000 ans et l'époque actuelle, comme *Artocarpus altilis*
527 (Moraceae), *Musa spp.* (Musaceae), *Colocasia esculenta* (Araceae), *Dioscorea*
528 *bulbifera* (Dioscoreaceae), *Ipomea batatas*, *Citrus spp.* (Rutaceae), *Mangifera indica*
529 (Anacardiaceae) et *Theobroma cacao* (Malvaceae). Cependant, certaines des espèces

530 introduites, comme *Merremia peltata* (Convolvaceae) ou *Mikania micrantha*
531 (Asteraceae), envahissent les écosystèmes naturels et les cultures.

532 La végétation actuelle du Vanuatu est en grande partie recensée par les herbiers
533 de Port Vila (<http://publish.plantnet-project.org/project/vanuaflora>), de Nouméa
534 (IRD) (<http://herbier-noumea.plantnet-project.org>) et de Paris (MNHN)
535 (<https://science.mnhn.fr/institution/mnhn/search#botany>).

536 La flore marine est aussi à prendre en compte. Les algues vertes les plus
537 fréquentes sont les genres *Halimeda* (Halimedaceae) et *Caulerpa* (Caulerpacaeae) ;
538 les algues rouges gélatineuses sont représentées par *Predaea* (Nemastomataceae) et
539 *Gibsmithia* (Dumontiaceae). Les phanérogames marines *Thalassia*
540 (Hydrocharitaceae), *Cymodocea* et *Syringodium* (Cymodoceaceae) et *Halophila*
541 (Hydrocharitaceae) sont les seules plantes vasculaires marines présentes dans
542 l'archipel.

543

544 4.3. Diversité de la faune

545 L'isolement de l'archipel du Vanuatu et la taille des îles a défavorisé l'installation
546 et le développement de mammifères de grande taille, à l'inverse d'autres espèces de
547 petite taille (plus de 2000 espèces d'insectes par exemple). La faune marine du
548 Vanuatu est connectée avec les autres îles du Pacifique ouest, à l'origine de son
549 importante diversité. La faune aquatique d'eau douce a été peu étudiée et les
550 premières données importantes vont être issues des résultats de l'expédition Santo
551 2006.

552 La description de la faune, naturellement simplifiée, est basée sur les ouvrages
553 suivants : Bouchet (2011) ; Bregulla (1991) ; Corbara (2011) ; Deharveng (2011) ;

554 Keith (2011) ; Poupin et Juncker (2010) ; Siméoni (2009 for a review) et Thollot
555 (1996).

556 Les coraux

557 Les espèces de coraux sont les mêmes que celles composant la grande barrière de
558 corail en Australie. Les genres les plus fréquents sont les coraux branchus *Acropora*
559 (*Acroporidae*) et *Millepora* (*Milleporidae*) qui se développent dans les baies
560 abritées, les coraux pionniers *Pocillopora* (*Pocilloporidae*) et les coraux massifs
561 *Porites* (*Poritidae*), *Goniastrea* (*Merulinidae*) et *Diploastrea* (*Diploastreidae*) adaptés
562 aux eaux claires et turbulentes. Les conditions de vie des coraux dépendent aussi de
563 la nature du substrat, de la profondeur, de la présence des brouteurs, des cyclones,
564 de la compétition avec d'autres organismes benthiques et dans le cas du Vanuatu, de
565 la tectonique, dont les soulèvements font émerger régulièrement des terrasses
566 coralliennes.

567 Les mollusques

568 En mer, les *Terebra* (*Terebridae*), les *Acmaeidae*, les *Seguenzioidea*, les
569 *Pectinoidea* et les *Anomiidae* sont fréquents et diversifiés. Le bénitier géant
570 *Tridacna maxima* (*Tridacnidae*) est commun à tous les récifs du Vanuatu. Certaines
571 espèces se développent sur un substrat biogénique (bois, os ou algues), d'autres
572 vivent en symbiose avec les coraux, afin de se cacher des prédateurs. Mais les
573 relations mollusques-hôtes restent souvent floues.

574 Dans la mangrove, la plupart des mollusques sont des gastéropodes, dont le plus
575 fréquent est *Terebralia palustris* (*Potamididae*). Les genres *Saccostrea* (*Ostreidae*)
576 *Nerita*, *Neritodryas* et *Clithon* (*Neritidae*) sont également communs.

577 Sur terre, les familles les plus fréquentes sont les *Achatinellidae*,
578 *Athoracophoridae* et les *Euconulidae*. Les espèces sont retrouvées en fonction du

579 type de sol et de l'altitude principalement. Les mollusques terrestres ont pu
580 atteindre le Vanuatu, d'après certains auteurs, grâce aux cyclones et aux oiseaux
581 migrants ; le faible pourcentage qui a pu arriver sur l'archipel a ensuite évolué,
582 entraînant un fort taux d'endémisme spécifique (69%).

583 Les Arachnides

584 Les informations concernant le nombre d'espèces d'araignées sont anciennes, et
585 les récoltes réalisées pendant l'expédition Santo 2006 sont en cours d'étude. Le
586 genre le plus connu tant par sa taille (abdomen de 5 cm) que par sa forte présence
587 est *Nephila* (Nephilidae). Beaucoup d'espèces sont ubiquistes et vivent souvent
588 proches des habitations.

589 Les crustacés

590 En mer, les Caridea, les Xanthiadeae et le genre *Calappa* (Calappidae) sont les
591 crustacés les plus fréquents. Ils se développent respectivement dans les récifs
592 coralliens, sur les côtes rocheuses et sur les fonds sableux des lagons.

593 La mangrove sert de refuge à des crustacés comme *Macrophtalamus*
594 (Macrophtalamidae), *Uca* (Ocipodidae) et *Neosarmatium* (Sersarmidae).

595 Les insectes

596 Ce sont les animaux terrestres les plus diversifiés, mais seule une petite partie est
597 recensée et le nombre d'espèces augmente régulièrement. Les abeilles et les guêpes
598 sont solitaires, comme *Palaeorhyza maluae* (Colletidae) ou *Sphex spp.* (Sphecidae).
599 Chez les papillons, les Pyraloidea et Noctuidae sont les plus communes. Les
600 scarabées, très diversifiés, sont surtout représentés par les familles Cerambycidae,
601 Curculionidae et Chrysomelidae. La plupart des crickets, comme les Eneopterinae,
602 Podoscirtinae, Phaloriinae et Trigonidiinae sont présents dans toutes les zones
603 boisées. Le moustique *Culex quinquefasciatus* (Culicidae), vecteur de *Plasmodium*

604 *relictum* (malaria), est omniprésent. Beaucoup d'insectes sont ubiquistes, mais
605 certaines espèces ont des besoins très spécifiques, leurs habitats dépendant de la
606 structure de la végétation, définissant des conditions micro climatiques.

607 Les échinodermes

608 L'étoile de mer *Acanthaster planci* est la plus connue, sa faculté à manger du
609 corail met en danger les récifs lorsqu'elle envahit les côtes. Les autres étoiles de mer
610 *Gomophia*, *Celerina* (Ophidiasteridae), *Culcita* et *Choriaster* (Oreasteridae) sont
611 fréquemment retrouvées sur les fonds des récifs coralliens. Dans ces mêmes récifs,
612 les holothuries *Holothuria* (Holothuriidae) et *Thelenota* (Aspidochirotida) sont les
613 plus communes.

614 Les poissons

615 Les vertébrés marins sont représentés en majorité par des poissons de récifs,
616 principalement les Labridae, les Pomacentridae et les Gobiidae. Beaucoup de ces
617 poissons vivent en symbiose avec des coraux. Parmi les poissons des profondeurs,
618 les Lutjanidae et les Serranidae sont les plus fréquents.

619 Les familles de poissons Gobiidae, Apogonidae, Carangidae, Serranidae,
620 Lethrinidae, Clupeidae et Mugilidae sont les plus diversifiées et les plus
621 représentatives des communautés de mangrove.

622 Les mammifères

623 Sur terre, les seuls mammifères naturellement présents sont les chauves-souris,
624 les deux genres *Pteropus* et *Notopterus* (Pteropodidae) étant abondants au Vanuatu.
625 Les autres mammifères terrestres sont introduits : le cochon (*Sus scrofa*), le chien et
626 le rat (*Rattus exulans*, *Rattus praetor*) seraient arrivés avec les navigateurs Lapita,
627 bien que les restes de ces espèces soient peu nombreux dans les sites
628 archéologiques (Kirch, 1997, Noury et Galipaud, 2011 for a review, Sheppard et

629 Green, 1991). Nous verrons plus tard (point 5.2.3.) l'utilisation par les Hommes de la
630 propriété de la croissance continue des dents chez le cochon. Les études génétiques
631 des ossements de rat, systématiquement associés à une installation humaine,
632 permettent d'obtenir des informations sur l'origine et le trajet des migrations
633 humaines (Matisoo-Smith, 2015 for a review). Les bovins et les chevaux ont été
634 introduits par les européens.

635 Une seule espèce de mammifère marin, *Dugong dugon* (Dugongidae) est à noter.

636 Les tortues et les lézards

637 Les espèces de tortues marines *Eretmochelys imbricata* et *Chelonia mydas*
638 (Cheloniidae) sont les plus fréquentes. Il n'y a pas de serpent indigène terrestre, et le
639 serpent marin *Laticauda colubrina* (Elapidae) se rencontre régulièrement sur les
640 plages ou dans les lagons.

641 *Emoia cyanura* (Scincidae) est le lézard le plus commun de la mangrove.

642 Les reptiles terrestres sont mal connus : les geckos, comme le *Nactus arnouxii*
643 (Gekkonidae) et les scinques (lézards) sont les plus représentés.

644 Les oiseaux

645 Sur une centaine d'espèces d'oiseaux, sept sont endémiques. Les espèces marines
646 sont les plus fréquemment rencontrées, comme *Puffinus pacificus* (Procellariidae),
647 présent dans tout le Pacifique, ou *Esacus magnirostris* (Burhinidae), un oiseau
648 migrateur. La plupart des oiseaux sont ubiquistes, à l'exception de quelques espèces
649 dont l'habitat dépend de l'altitude.

650 Certaines espèces d'oiseaux, comme *Sterna bergii* (Laridés), *Egretta sacra* et
651 *Butorides striatus* (Ardeidae) et *Rallus philippensis* (Rallidae) ne se trouvent que
652 dans la forêt de mangrove, les autres espèces observées sont communes au littoral.

653 Le coq (*Gallus gallus*) aurait été introduit par les premières populations qui ont
654 atteint le Vanuatu (Kirch, 1997, Noury et Galipaud, 2011 for a review, Sheppard et
655 Green, 1991), le moineau et le merle des Moluques (*Acridotheres tristis*) ont été
656 apportés par les européens.

657

658 5. Histoire de l'Homme

659

660 5.1. Le Complexe Culturel Lapita

661 5.1.1. Les origines

662 Les premiers peuplements en Océanie Lointaine se sont produits tardivement
663 dans l'histoire de l'humanité, entre 3300 et 2700 ans BP, par des populations
664 possédant une culture bien particulière : la culture Lapita (eg. Bellwood, 1979 ;
665 Kirch, 1984). Ces peuplements ont été à l'origine de la mosaïque de sociétés existant
666 actuellement dans cette région du globe. Plus de 200 sites Lapita se répartissent
667 entre les îles de la Papouasie-Nouvelle-Guinée à l'ouest et l'archipel des Samoa à
668 l'est, en passant par les îles Salomon, Vanuatu, Nouvelle-Calédonie, Fiji et Tonga
669 (Bedford et Spriggs, 2007 ; Bedford, 2006 ; Burley et Connaughton, 2007 ; David et
670 al., 2011 ; Kumar et al., 2004 ; McNiven et al., 2011 ; Noury et Galipaud, 2011 for a
671 review, Petchey, 2001 ; Sand et al., 1998 ; Torrence, 2002). Le site archéologique
672 découvert au lieu-dit Lapita, sur la presqu'île de Koné en Nouvelle-Calédonie, est
673 internationalement connu grâce aux fouilles de 1952 réalisées par E.W. Gifford et R.
674 Shutler (Gifford et Shutler, 1956). Ces recherches ont permis de décrire pour la
675 première fois des tessons de poterie à décors pointillés (voir point 5.1.3.), qui a pris
676 plus tard le nom de « poterie Lapita » et le "complexe culturel Lapita" qui lui est

677 associé (Green, 1979). Malheureusement, encore beaucoup de sites fouillés n'ont
678 pas fait l'objet de publications (Bedford et Sand, 2007 for a review).

679 L'origine de la culture Lapita est encore incertaine : elle aurait émergé, selon
680 certains auteurs, grâce à des innovations au sein de populations de la Mélanésie
681 insulaire (Allen et White, 1989 ; Gosden, 1989 ; Terrel 2004 ; White et Allen, 1980).
682 D'autres voient l'intrusion d'une nouvelle population venant d'Asie du sud-est
683 comme le phénomène à l'origine de cette culture (Bellwood et al., 1995 for a review ;
684 Kirch et Hunt, 1988 for a review). L'hypothèse privilégiée actuellement par les
685 chercheurs est en fait une combinaison des deux précédentes, nommée le modèle du
686 triple i, pour intrusion, innovation et intégration (Green, 2000, 2003 - Figure 6). Les
687 Lapita seraient des austronésiens, il y a environ 5000 ans, ces derniers auraient
688 colonisé le nord de la Mélanésie en partant du sud-est de la Chine et de Taiwan. Les
689 interactions régulières avec d'autres groupes vivant sur les îles Bismarck et
690 Salomon, descendants de populations pléistocènes, auraient permis l'évolution de la
691 culture de ces austronésiens en culture Lapita. Les navigateurs porteurs de la
692 culture Lapita se seraient dispersés rapidement dans tout le Pacifique sud-ouest,
693 jusqu'aux îles Fiji et à la Polynésie occidentale. Les résultats issus de la génétique,
694 l'anthropologie physique, la linguistique et l'archéologie confirment cette hypothèse
695 (Bellwood, 2005, 2011 ; Donohue et Denham, 2012 for a review ; Pawley, 2002,
696 2007 ; Sand, 2010, for a review).

697 5.1.2. Les migrations

698 Des chercheurs proposent que les populations Lapita voyageaient sur des
699 pirogues à balanciers relativement simples (Anderson, 2000, 2003 ; Irwin, 2008),
700 qui ne pouvaient naviguer que sous le vent, mais cette proposition n'est pas admise
701 à l'unanimité (Di Piazza, 2014). La dispersion contre les vents d'est dominants

702 pouvait donc être difficile et se faire à une faible vitesse. Bien que l'hypothèse soit
703 controversée, l'augmentation démographique en Asie du sud-est insulaire aurait pu
704 être un évènement à l'origine des migrations humaines depuis Taiwan jusqu'en
705 Océanie (Bellwood, 2011). Les paramètres climatiques et les vents dominants ont
706 été pris en compte dans le cadre des études sur le peuplement de l'Océanie. Il
707 semble que les déplacements ont dû être plus faciles en période de mousson, au
708 moment où les vents d'est faiblissent (Fitzpatrick et Callaghan, 2013 ; Irwin, 1992
709 for a review). L'augmentation du nombre de El Niño durant la période 3500-2500
710 ans BP a aussi dû avoir un impact sur l'expansion austronésienne, mais la nature
711 aléatoire de ces évènements empêche de connaître l'exact trajet qui serait viable
712 sous de telles conditions. (Anderson et al., 2006). L'éruption massive du volcan W-
713 K2 en Nouvelle Bretagne autour de 3350 ans BP aurait aussi pu pousser les
714 populations à partir (Specht, 2007 for a review ; Specht et Torrence, 2007).
715 L'absence de trace de la culture Lapita au delà des îles Tonga et Samoa pourrait
716 correspondre à l'arrêt de l'expansion Lapita, expliquée par la nécessité d'avoir des
717 embarcations avec une technologie plus complexe pour traverser le Pacifique
718 oriental (Ambrose, 1997 for a review).

719 Au Vanuatu (Figure 7), les premiers colons Lapita ont pu arriver à Makué, au sud
720 de Santo entre 3238 et 3158 ans BP (Galipaud et Kelly, 2007). Le cimetière de
721 Teouma, sur l'île d'Efate, correspond à l'assemblage funéraire le plus important
722 découvert parmi les sites Lapita anciens. Ce site regroupe à ce jour 68 tombes,
723 contenant environ 100 individus, daté entre 2940-2880 ans cal BP, voire 3110-2930
724 ans cal BP (Bedford et al., 2010 ; Petchey et al., 2014). Les positions dans lesquelles
725 ont été retrouvés les squelettes (déplacement des ossements d'une tombe à l'autre,
726 présence de crâne dans des poteries décorées), ainsi que la présence d'une

727 crémation (Scott et al., 2010) indiquent des rituels funéraires assez complexes.
728 Depuis la découverte de ce site, de nombreuses études ont été réalisées afin de
729 mieux connaître ces premières populations et leur relation avec leur environnement
730 (Bentley et al., 2007 ; Buckley et al., 2014 ; Kinaston et al., 2014b ; Valentin et al.,
731 2010, 2014). Un régime alimentaire et des positions funéraires différents ont ainsi
732 pu être observés pour quelques individus. Ils pourraient correspondre aux premiers
733 migrants Lapita arrivés sur l'île d'Efate.

734 5.1.3 La culture Lapita

735 Les céramiques, symboles de la culture Lapita, sont ornées de motifs suivants des
736 règles artistiques bien précises. Ces motifs, majoritairement pointillés ou incisés,
737 réalisés sur une pâte rouge brique, incluent des faces anthropomorphes et des
738 dessins géométriques (Kirch, 1997 for a review). En moyenne, les deux tiers des
739 céramiques sont composés d'argiles et de sables dégraissants, provenant de moins
740 de 200 km du site où a été retrouvée la céramique (Dickinson, 2006). Les plus
741 anciennes poteries Lapita présentent des motifs déjà élaborés, suggérant des
742 compétences importantes et des techniques qui sont familières aux populations
743 (Bedford et Sand, 2007 for a review). En revanche, la forme des poteries et leur
744 décor ne semblent pas permettre d'établir une chronologie ou de connaître l'usage
745 des celles-ci (Bedford et al., 2007 ; Chiu 2005 ; Clark et Murray, 2006). Ces fragiles
746 poteries décorées devaient avoir une fonction particulière, comme offrande ou
747 utilisée lors de rituels, au contraire des poteries plus simples et plus fonctionnelles,
748 les poteries « plainware » employées probablement quotidiennement, que l'on
749 retrouve tout au long de la préhistoire océanienne (Bedford et al., 2007 ; Chiu, 2005
750 ; Chiu, 2007 ; Kirch, 1997 for a review ; Noury et Galipaud, 2011 for a review ;
751 Spriggs, 1997).

752 Mais la culture Lapita se caractérise aussi par une stratégie de subsistance et par
753 une culture matérielle non céramique (Kirch, 1997 for a review). Sur les sites
754 archéologiques sont retrouvés des herminettes en *Tridacna* ou en pierre (souvent
755 de couleur verte), des parures en *Conus* (Conidae), des éclats d'obsidienne et des
756 outils pour la pêche (hameçons) en os et en bois.

757 Le régime alimentaire des populations Lapita a été mixte, principalement basé
758 sur des ressources issues de la pêche et de la cueillette. Des restes de poissons,
759 tortues de mer et crocodiles sont régulièrement retrouvés lors des fouilles (Bedford,
760 2006). Une faible activité horticole et le contrôle de quelques animaux comme le
761 cochon étaient aussi pratiqués (Allen, 2007 ; Horrocks et Bedford, 2005 ; Valentin et
762 al., 2010). Cette stratégie de subsistance peut s'expliquer par le temps qu'il faut aux
763 plantes introduites par les colons pour fournir suffisamment de nourriture pour
764 toute une communauté, les rendant plus indépendants des ressources marines
765 (Walter et al., 2003). Le Kava, boisson rituelle originaire du Vanuatu, aurait été
766 cultivé peu de temps après l'arrivée des premiers Lapita (Lebot et al., 1997 for a
767 review).

768 5.1.4. Les échanges

769 Les réseaux d'échanges de biens (poteries, obsidiennes, ornements en
770 coquillages, animaux domestiques), tels qu'ils sont reconstitués par les archéologues
771 et les linguistes, sont extrêmement vastes à l'échelle géographique (Bedford et Sand,
772 2007 for a review). Le déclin d'ouest en est de la diversité des objets et des espèces
773 (animales comme végétales) circulant entre les différentes îles indiquerait que les
774 réseaux d'échanges s'affaiblissaient au fur et à mesure que les populations se
775 déplaçaient vers l'est (Galipaud et al., 2014 ; Sheppard et Walter, 2006).

776

777 5.2. Les traditions post-Lapita

778 5.2.1 Les origines

779 Le complexe culturel Lapita, identifiable dans cette région du Pacifique par des
780 céramiques particulières et associée à une expansion humaine très rapide, diverge
781 ensuite pour donner un ensemble de cultures post-Lapita qui se terminera autour
782 de 1000 ans BP et dont les caractéristiques varient selon le temps et la géographie
783 (Bedford, 2009 ; Spriggs 2004). Une diminution des contacts entre les îles du nord et
784 du sud du Vanuatu aurait favorisé une évolution différente de la culture selon les
785 îles, expliquant cette variabilité (Lynch 2004 ; Reepmayer and Clark, 2010 ; Spriggs,
786 2004). Les modifications environnementales auraient aussi influencé le
787 développement des sociétés post-Lapita (Bedford, 2006).

788 Ces cultures sont beaucoup moins connues que la culture Lapita, et les poteries
789 retrouvées sur les sites sont très fragmentées, rendant difficile la description de
790 motifs. Les filiations entre les populations Lapita et post-Lapita restent encore
791 discutées (Bellwood et al., 2011 ; Spriggs, 2004).

792 5.2.2. Les cultures Post-Lapita

793 Les céramiques Lapita sont remplacées entre 2900 et 2700 ans BP par des
794 poteries avec des décors incisés et appliqués qui vont être présentes pendant près
795 de 2000 ans. Les sociétés et les traditions céramiques associées forment une
796 mosaïque de cultures qui peuvent être regroupées selon la géographie (Figure 7) : le
797 nord (Santo, Malekula), le centre (Efate, Tongoa) et le sud (Tanna, Erromango). Le
798 réseau d'échange et les migrations qui se sont succédés entre ces zones
799 géographiques et entre le Vanuatu et les autres îles pendant la période post-Lapita
800 expliqueraient la présence de quelques poteries aux formes et motifs similaires
801 d'une île à une autre. Cependant, nous ne développeront pas en détail les cultures

802 post-Lapita : la plupart des caractéristiques de ces céramiques varient en fonction
803 du temps et de l'espace ; à chaque île correspond une culture bien précise (Bedford,
804 2006, 2009 ; Garling, 2007 ; Ward, 1979).

805 L'archéologie montre que les sites d'occupations Lapita semblent avoir été
806 abandonnés rapidement et /ou peu utilisés. Il est possible que ce type de site, en
807 bord de mer et au vent (facilement accessible en pirogue à voile) soit moins adapté à
808 une population plus sédentaire que les Lapita (Bedford, 2006). Les populations
809 post-Lapita se seraient donc déplacées vers l'intérieur des îles, vers des zones moins
810 sèches que le bord de mer (Hope et al., 1999). Le tubercule (taro et igname), riche en
811 amidon, est devenu la base de l'alimentation de ces populations et des animaux
812 domestiqués (comme le cochon - Kinaston et al., 2014a ; Martin et Steadman, 1999).
813 Ces stratégies de subsistances semblent avoir peu changé depuis.

814 5.2.3. L'influence polynésienne

815 Entre le 12^{ème} et le 16^{ème} siècle (de 600 à 250 BP), le Vanuatu est soumis à
816 l'influence culturelle et sociale de la Polynésie. Peu de céramiques ont été retrouvées
817 dans les niveaux datés de 600 ans BP et au delà, mais le nombre et la variété
818 d'artéfacts en coquillages augmente considérablement (Shutler et al., 2002). Les
819 parures et surtout les dents de cochons recourbées en spirales apparaissent
820 (Garanger, 1972 ; Spriggs, 1997 for a review). Ces dents de cochons, présentes dans
821 les îles du centre et du sud du Vanuatu à partir du 15^{ème} siècle, sont aujourd'hui un
822 des symboles de l'archipel et sont supposées être d'origine polynésienne. Elles
823 attestent de la place importante du cochon dans la société vanuataise (Garanger,
824 1972). En ôtant les canines supérieures chez le cochon, celles du bas ne peuvent plus
825 s'user, continuent de pousser et finissent par s'enrouler ; l'animal doit être alors
826 nourri à la main. Une des influences notables des polynésiens a été la

827 restructuration des sociétés des îles du centre du Vanuatu avec à sa tête un chef
828 puissant, prenant le titre de Roy Mata. Les fouilles menées par J. Garanger en 1967
829 sur une sépulture datée autour de 1600 AD sur l'île de Retoka à Efate ont permis de
830 mettre au jour une quarantaine de squelettes, accompagnés de coques, bijoux en os
831 et coquillages, défenses de porc (Coiffier 2009 ; Garanger, 1972). Il s'agit de Roy
832 Mata et vraisemblablement de ses femmes et d'hommes désignés ou volontaires
833 pour l'accompagner dans la tombe. Garanger s'est aussi rendu sur l'île de Lelepa
834 associée historiquement à la demeure de Roy Mata et une couche d'occupation datée
835 de 1450 à 1600 AD a été trouvée.

836

837 6. Interrelations entre les paramètres environnementaux à l'Holocène

838

839 Nous allons nous concentrer sur les relations entre les paramètres
840 environnementaux naturels et anthropiques pendant la période holocène.

841 Les surrections tectoniques, seules ou combinées avec des variations eustatiques
842 ou hydro-isostatique modifient le paysage en modifiant la ligne de rivage, comme la
843 baisse du niveau de la mer qui a pu être observée dans cette région du Pacifique
844 autour de 3000 ans BP (Fall, 2005 ; Wirmann et al., 2011a, Wirmann et al., 2011b).
845 Ces mouvements tectoniques impactent aussi la faune marine en provoquant
846 l'émersion ou l'enfoncement des récifs coralliens (voir point 2.1.). Des déplacements
847 de populations vers l'intérieur des terres et les changements d'alimentation
848 observés entre la période Lapita et post-Lapita peuvent être reliés en partie à cette
849 baisse du niveau de la mer, entraînant une disparition des mangroves, des récifs
850 côtiers, et des ressources qu'ils généraient (Carson, 2013).

851 Les aérosols volcaniques (téphras) contiennent des sels métalliques d'aluminium
852 et de fluorure (Giggenbach, 1996). La présence de ces aérosols dans l'eau douce
853 permettrait la formation de molécules d'aluminofluorure complexes, toxiques pour
854 la faune et la flore en contact avec l'eau. A l'inverse, le pH plus élevé de l'eau de mer
855 empêche la formation de ces molécules toxiques, protégeant les écosystèmes marins
856 des effets des retombées volcaniques (Frogner Kockum et al., 2006). Les aérosols
857 émis lors d'une éruption peuvent avoir un impact à court terme (10-20 ans
858 maximum pour une importante éruption) sur le climat. En diminuant les radiations
859 solaires, les aérosols refroidissent la surface de la Terre de quelques W/m²,
860 (Crowley, 2000), ce qui correspond à un refroidissement d'environ 0.1-0.2°C. A titre
861 d'exemple, lors de l'éruption du Kuwae de 1452 AD, les températures
862 atmosphériques sur les îles Epi et Tongariki ont pu atteindre 40 à 50°C pendant une
863 brève période suivant l'éruption (Hoffman, 2007). Par la suite, l'importante quantité
864 de particules émises dans l'atmosphère a dû être suffisante pour bloquer les rayons
865 du soleil pendant plusieurs années, affectant la flore, la faune et les populations. Les
866 cendres ont aussi dû favoriser les pluies acides, aggravant la destruction de la
867 végétation (Hoffman, 2007 ; Pang, 1993).

868 Le développement de la flore et la faune est dépendant des conditions
869 climatiques, différents selon la côte (ouest ou est), l'altitude et la latitude (voir point
870 4.). D'importantes variations du climat au cours du Quaternaire vont modifier la
871 dynamique floristique et faunistique (Hope et al., 2004 for a review). Les feux,
872 d'origine naturelle ou anthropique, peuvent fortement influencer la végétation et
873 son temps de résilience, la rendant plus vulnérable à des changements climatiques
874 (Biagioni et al., 2015). Cependant dans le Pacifique, les feux, même en période sèche,
875 font office d'exception avant l'arrivée de l'Homme (Spriggs, 2010 for a review).

876 L'origine et le trajet des migrations humaines ont pu être influencés par des
877 variations climatiques. Des évènements climatiques, comme les fluctuations El
878 Niño/La Niña ou la transition OM/PAG, en inondant ou en asséchant de façon
879 importante une partie des zones cultivables, ont entraîné des migrations, des
880 échanges, mais aussi potentiellement des compétitions et des conflits entre les
881 différentes populations insulaires (Field et Lape, 2010 ; Masse et al., 2006). Des
882 changements climatiques pourraient aussi être à l'origine d'un régime alimentaire
883 des populations post-Lapita différent des Lapita (Valentin et al., 2014).

884 L'arrivée d'habitants sur des îles vierges a également influencé l'environnement
885 de l'archipel. Ces populations devront s'adapter à leur nouveau milieu, le modifier
886 pour le rendre habitable ou se déplacer à nouveau. La relativement faible diversité
887 floristique et faunistique des îles à l'est de la Nouvelle-Guinée empêche un
888 peuplement permanent de cette région sans une base économique horticole (Kirch,
889 1997 for a review). L'introduction d'animaux comme le cochon et le poulet, ou de
890 plantes comme le taro, la banane, l'igname, (Anderson, 2009 ; Horrocks et Bedford,
891 2005 ; Horrocks et al., 2009 ; Prebble et Wilmshurst, 2008 ; Storey et al., 2008 ;
892 Walter et al., 2003) ont pu avoir un impact sur la population autochtone animale et
893 végétale. Les données de paléovégétation au Vanuatu sont rares, mais celles des îles
894 voisines nous renseignent sur les relations Hommes-environnement. Des
895 changements de végétation et une augmentation des feux a été interprétée comme
896 l'impact de l'Homme sur son environnement, soit dès l'arrivée des premiers colons
897 (Stevenson, 2004) ou plusieurs générations après (Fall, 2005 ; Hope et al., 1999 ;
898 Wirrmann et al., 2011b). Un rapide appauvrissement, voire une disparition de
899 plusieurs espèces animales – surtout des oiseaux – sont contemporains dans cette
900 région du Pacifique, de l'arrivée des Lapita (Allen, 2007 ; Anderson, 2002). Si la

901 disparition de plusieurs espèces animales coïncide avec la date des premières
902 installations humaines, les changements de paysages se sont surtout produits
903 pendant la période post-Lapita. Avec le développement de l'agriculture, les
904 déforestations et les feux d'origine anthropique se sont multipliés (Anderson, 2002).
905 Les populations s'installant de façon plus permanente que les Lapita ont pu
906 (volontairement ou non, la question n'est pas résolue) accélérer les processus
907 d'érosion ou modifier les formations du sol par l'installation de leur site, de leur
908 jardins ou zones d'élevages. (Spriggs, 2010 for a review).

909 Les travaux sur l'impact de l'arrivée de l'Homme sur ces îles sont toujours en
910 cours de réalisation.

911

912 7. Conclusion

913

914 Les premières îles de l'archipel volcanique du Vanuatu sont datées de la fin de
915 l'Oligocène et des volcans toujours actifs continuent de construire les îles les plus
916 jeunes. Des éruptions peuvent avoir des effets à court terme (1-2 ans) sur le climat
917 océanique, d'autant plus que la myriade d'îles présentes dans cette région du
918 Pacifique complexifie les connexions atmosphère-océan. Les changements
919 climatiques holocènes, majoritairement influencés par les phénomènes de
920 moussons et d'ENSO restent encore difficiles à interpréter. L'isolement de l'archipel
921 a favorisé un certain endémisme de la faune – surtout terrestre – et de la flore
922 originaire d'Asie du sud-est. Les premiers colons sont arrivés tardivement dans
923 l'histoire du Vanuatu, mais l'impact anthropique est surtout marqué après l'arrivée
924 des européens.

925 Les relations entre les différents paramètres environnementaux sont complexes,
926 et les quelques exemples exposés dans le chapitre 6 ne constituent qu'une petite
927 partie de tous les cas possibles que l'on pourrait développer. Distinguer les
928 véritables liens de causes à effets et les simples covariances n'est pas si évident,
929 d'autant plus que des datations issues des sites archéologiques ne sont pas toujours
930 assez précises pour pouvoir les comparer aux dates d'autres évènements,
931 climatiques ou géologiques. De plus, plusieurs changements environnementaux
932 peuvent se produire à la même période. Il reste ainsi compliqué de déterminer si les
933 populations présentes au Vanuatu avant les premiers européens ont seulement
934 profité des changements environnementaux, pour, par exemple, cultiver une plante
935 plutôt qu'une autre, ou si elles ont elles-mêmes été à l'origine de plusieurs
936 modifications écologiques. Tenter de répondre à ces questions est le but du travail
937 de palynologie que je mène depuis bientôt trois ans sur les relations Homme-
938 climat-végétation au Vanuatu à l'Holocène et dont voici une synthèse.

939 Deux carottes prélevées dans un marais et dans un lac sur l'île d'Efate ont été
940 analysées. La carotte issue du marais est la plus longue et remonte jusqu'à 6000 ans
941 BP environ, alors que celle issue du lac couvre le dernier millénaire et est
942 entrecoupée de passées sableuses stériles en pollen. Des analyses
943 sédimentologiques, géochimiques et de micro-faune ont également été réalisées.

944 Un changement important de la végétation est noté autour de 3700 ans BP : la
945 forêt tropicale humide diminue brusquement jusqu'à quasiment disparaître ; elle est
946 remplacée par des taxons pionniers héliophiles. Ce changement se produisant avant
947 l'arrivée de l'Homme peut être relié aux premiers pics importants de fréquence et
948 d'amplitude d'ENSO. Entre 3100 et 2600 BP les plantes pionnières diminuent,
949 favorisant le développement de la forêt semi décidue, une végétation plus mature,

950 indiquant une baisse de la variabilité climatique. Après 2600 BP, un nouveau pic de
951 taxons pionniers est observé. Il serait possible de relier ce changement à un impact
952 anthropique local, mais le faible pourcentage des charbons de bois, leur taille et de
953 leur surface ainsi que le faible pourcentage de plantes herbacées ne semble pas
954 correspondre à cette hypothèse. Les fortes valeurs des taxons pionniers
955 révéleraient-elles des fréquences et amplitudes d'ENSO supérieures à l'actuel
956 comme l'enregistrent les proxies paléoclimatiques entre 2500 et 1700 BP ? Un
957 retour à des conditions plus humides après 1700 ans BP est marqué par une
958 augmentation de la forêt semi décidue puis de la forêt humide. Dès 1400 BP une
959 forte augmentation des feux, de plantes herbacées locales puis des plantes
960 importées indiquent l'influence de l'Homme sur son environnement. Des couches de
961 téphras sont observées régulièrement dans la carotte issue du marais mais il semble
962 difficile de les relier à un changement de végétation. Les résultats polliniques
963 obtenus à partir de la carotte prélevée dans le lac indiquent une modification de
964 conditions environnementales. Ce changement peut être comparé à celui qui se
965 produit dans le marais, où l'Homme adapte les plantes qu'il cultive en fonction des
966 exigences climatiques. Cependant, des problèmes de datations sont encore à régler
967 avant d'aller plus loin dans l'interprétation.

968

969 Remerciements

970 Nous tenons à remercier les personnes présentes sur place au Vanuatu, notamment
971 l'équipe de l'herbier de Port Vila et Chanel Sam, ainsi que Mme Donna Kalfatak, du
972 Department of Environmental Protection and Conservation, pour leurs précieux
973 conseils et informations pendant les missions de terrain.

974 Merci à Anne-Marie Sémah d'avoir relu et aidé à corriger ce papier avant envoi.

975 Ce travail a été soutenu par l'unité de recherche Biogéochimie-Traceurs-
976 Paléoclimats (BTP LOCEAN, UMR 7159, CNRS-IRD-UPMC-MNHN, France) et par le
977 Département de Préhistoire (UMR 7194, MNHN, France). Cette étude a été
978 supportée financièrement par la région Ile-de-France (réf. 12016503).
979

980 RÉFÉRENCE DES FIGURES

981 Figure 1 : La convergence actuelle entre les plaques Pacifique et Australie est
982 caractérisée par une zone de déformation composée par deux zones de
983 subductions de sens opposé : la zone Nouvelle-Zélande – Kermadec – Tonga et la
984 zone Papouasie-Nouvelle-Guinée – Salomon – Vanuatu. Des bassins océaniques
985 sont situés entre ces deux subductions. La figure ci-contre présente une coupe
986 géologique du bassin Nord Fijien. D’après Ash et al. (1978) et Siméoni (2009 for
987 a review).

988

989 Figure 1: A deformation area, constituted by two opposite subduction zones,
990 New Zealand – Kermadec – Tonga and Papua-New-Guinea – Salomon – Vanuatu
991 zones, characterize the actual convergence between Pacific and Australian
992 plates. Back-arc basins are located between these two zones. The above figure
993 presents a geological section of the north Fijian basin. Modified after Ash et al.
994 (1978) and Siméoni (2009 for a review).

995

996 2 : Carte géologique présentant les volcans aériens actifs majeurs et l’âge des
997 trois chaînes volcaniques de l’archipel du Vanuatu (voir l’annexe 2 pour la
998 correspondance âge période géologique). D’après Ash et al. (1978), Dugas et al.
999 (1976), Luyendyk et al. (1974) et Siméoni (2009 for a review).

1000

1001 Figure 2: The major aerials active volcanoes, the three geological ridges of the
1002 Vanuatu Archipelago and their ages of formation (see the appendix 2 for the age-

1003 geological period relation). Modified after Ash et al. (1978), Dugas et al. (1976),
1004 Luyendyk et al. (1974) and Siméoni (2009 for a review).

1005

1006 Figure 3 : A) Localisation de la WPWP (isotherme 28°C) en été et en hiver
1007 austral. L'archipel du Vanuatu est entouré en blanc. La redistribution de
1008 l'énergie solaire entre l'été et l'hiver modifie le placement des alizés et donc les
1009 contractions/expansions de la WPWP. B) La convergence d'air chaud et humide
1010 des alizés de l'hémisphère nord et sud à l'origine de l'ITCZ entraîne de fortes
1011 précipitations dans cette zone du Pacifique. L'archipel du Vanuatu est entouré en
1012 orange. Les deux figures sont réalisées d'après Beucher (2010 for a review).

1013

1014 Figure 3: A) WPWP location (28°C isotherm) in austral summer and winter. A
1015 white circle highlights the Vanuatu archipelago. The solar energy redistribution
1016 between summer and winter modify the easterly trade wind position and the
1017 compression/expansion of the WPWP. B) The ITCZ and the strong rainfall in the
1018 south-west Pacific are due to the convergence of the hot and humid air brought
1019 by the trade winds from the north and south hemisphere. An orange circle
1020 highlights the Vanuatu archipelago. Modified after Beucher (2010 for a review).

1021

1022 Figure 4 : Variation de l'amplitude et/ou de la fréquence d'ENSO au cours de
1023 l'Holocène moyen et supérieur, obtenue selon différents auteurs et proxies. Les
1024 deux rectangles orange signalent les périodes d'ENSO importantes observées
1025 dans tous les graphes. Auteurs et proxies donnés pour les graphes allant de la
1026 gauche vers la droite :

1027 Moy et al., 2002 : Étude sédimentologique, analyse des couleurs du sédiment,
1028 Équateur.

1029 Conroy et al., 2008 : Granulométrie associée à de la modélisation, Galápagos.

1030 Brijker et al., 2008 : $\delta^{18}\text{O}$ et rapport Mg/Ca de foraminifères planctoniques,
1031 Papouasie-Nouvelle- Guinée.

1032 Gagan et al., 2004 : Rapport Mg/Ca de foraminifères planctoniques, rapport
1033 Sr/Ca et $\delta^{18}\text{O}$ de coraux fossiles et charbons. Comparaison de ces proxies avec
1034 des modèles. Papouasie-Nouvelle-Guinée, Indonésie, Australie, Philippines,
1035 Vanuatu. Les rectangles gris correspondent aux périodes d'ENSO supérieures à
1036 l'actuel.

1037 Haberle et al., 2001 : Comparaison entre charbons et données de la variabilité
1038 d'ENSO, Papouasie-Nouvelle-Guinée.

1039

1040 Figure 4: Mid and late Holocene ENSO frequency and magnitude, according on
1041 the authors and the proxies. The two orange rectangles correspond to important
1042 ENSO periods observed in all the curves. Authors and proxies are given for each
1043 curve from the left to the right:

1044 Moy et al., 2002: Sedimentological and colour sediment analyses, Ecuador.

1045 Conroy et al., 2008: Grain size analysis and models, Galapagos.

1046 Brijker et al., 2008: $\delta^{18}\text{O}$, Mg/Ca from planctonic foraminifera, Papua-New-
1047 Guinea.

1048 Gagan et al., 2004: Mg/Ca from planctonic foraminifera, Sr/Ca, $\delta^{18}\text{O}$ from coral
1049 and charcoal analysis. Theses proxies are compared with models. Papua-New-

1050 Guinea, Indonesia, Australia, Philippines, Vanuatu. The grey rectangles
1051 correspond to ENSO variability higher than actual.

1052 Haberle et al., 2001: Comparison between charcoal and ENSO variability data,
1053 Papua-New-Guinea.

1054

1055 Figure 5 : Carte de distribution de la végétation sur l'archipel du Vanuatu. Afin de
1056 ne pas surcharger la carte, les formations végétales locales comme la forêt
1057 littorale ou la forêt alluviale ne sont pas reportées. D'après Aubert (1972-1977),
1058 Siméoni, (2009 for a review) et Wheatley (1992).

1059

1060 Figure 5: Map showing the vegetation distribution in the Vanuatu archipelago. In
1061 order to make it easy to read, local vegetation formations as coastal forest or
1062 riparian forest are not reported on the map. Modified after Aubert (1972-1977),
1063 Siméoni, (2009 for a review) and Wheatley (1992).

1064

1065 Figure 6 : Origine possible de la culture Lapita et déplacement de populations. Il
1066 est probable que les navigateurs Lapita quittant les îles Bismarck vers 3300 ans
1067 BP soient les descendants des populations parties de Taïwan autour de 5000 ans
1068 BP. La culture de ces derniers aurait évolué dans les îles Bismarck vers la culture
1069 Lapita. D'après Bellwood (2005, 2011), Donohue et Denham (2012 for a review)
1070 Pawley (2002, 2007) et Sand (2010 for a review).

1071

1072 Figure 6: Possible origin of the Lapita culture and population shifts. There may
1073 be a filiations link between population who left Taiwan ca. 5000 yr BP and

1074 Lapita seafarers who left the Bismarck Islands ca. 3300 yr BP. The population's
1075 culture from Taiwan could have been evolved into Lapita culture in the Bismarck
1076 Islands. Modified after Bellwood (2005, 2011), Donohue et Denham (2012 for a
1077 review) Pawley (2002, 2007) and Sand (2010 for a review).

1078

1079 Figure 7 : Sites archéologiques fouillés au Vanuatu, déterminés selon leur âge
1080 (culture) et le type de site. Les sites non datés ne sont pas représentés sur la
1081 carte. D'après Bedford (2006) et Siméoni (2009 for a review).

1082

1083 Figure 7: Type of site and age (culture) of the excavated archaeological sites in
1084 Vanuatu. The undated sites are not presented on the map. Modified after
1085 Bedford (2006) and Siméoni (2009 for a review).

1086

1087

1088 BIBLIOGRAPHIE

1089

1090 - Adams, B., Mann, M., Ammann, C., 2003. Proxy evidence for an El Niño-like
1091 response to volcanic forcing. *Nature* 426, 274-278.

1092 - Allen, J., White, J.P., 1989. The Lapita Homeland: Some new data and an
1093 interpretation. *Journal of the Polynesian Society* 98, 129-146.

1094 - Allen, M., 2007. Three millennia of human and sea turtle interactions in Remote
1095 Oceania. *Coral Reefs* 26, 527-538.

1096 - Ambrose, W.R., 1997. Contradiction in Lapita pottery, a composite clone. *Antiquity*
1097 71, 525-538.

1098 - Ammann, C., Joos, F., Schimel, D., Otto-Bliesner, B., Tomas, R. 2007. Solar influence
1099 on climate during the past millennium: results from transient simulations with the
1100 NCAR Climate System Model. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*
1101 104, 3713-3718.

1102 - Anderson, A., 2000. Slow boats from China: Issues in the prehistory of Indo-Pacific
1103 seafaring. In: O'Connor, S., Veth, P., (Ed.), *East of Wallace's Line: Studies of past and*
1104 *present maritime cultures of the Indo-Pacific region. Modern Quaternary Research*
1105 *in Southesat Asia, Rotterdam, Pays-Bas, pp. 13-50.*

1106 - Anderson, A., 2002. Faunal Collapse, Landscape Change and Settlement History in
1107 Remote Oceania. *World Archaeology* 33, 375-390.

1108 - Anderson, A., 2003. Initial human dispersal in Remote Oceania: pattern and
1109 explanation. *Pacific archaeology assessments and prospects: Proceedings of the*
1110 *International Conference for the 50th anniversary of the first Lapita excavation,*
1111 *Koné-Nouméa 2002, Nouvelle-Calédonie.*

1112 - Anderson, A., 2009. The rat and the octopus: initial human colonization and the
1113 prehistoric introduction of domestic animals to Remote Oceania. *Biological Invasion*
1114 11, 1503-1519.

1115 - Anderson, A., Chappell, J., Gagan, M., Grove, R., 2006. Prehistoric maritime
1116 migration in the Pacific islands: an hypothesis of ENSO forcing. *The Holocene* 16, 1-
1117 6.

1118 - Annamalai, H., Xie, S., Mc Creary, J.P., Murtugudde, R., 2005. Impact of indian ocean
1119 sea surface temperature on developping el niño. *Journal of Climate* 18, 302-319.

1120 - Anshari, G., 2000. Late Quaternary vegetation and environments in the Lake
1121 Sentarum Wildlife Reserve, West Kalimantan, Indonesia Thèse de doctorat, School of
1122 Geography and Environmental Science, Monash University, Australia.

1123 - Ash, R.P., Carney, J.N., McFarlane, A., 1978. Geology of Efate and Offshore Islands,
1124 Mineral Survey Project (JDP 103) New Hebrides Government Geological Survey, Port
1125 Vila, Vanuatu.

1126 - Aubert, G., 1972-1977. Atlas des sols et de quelques données du milieu naturel –
1127 Archipel des Nouvelles Hébrides. ORSTOM, Paris, France.

1128 - Baker, P., Rigsby, C., Seltzer, G., Fritz, S., Lowenstein, T., Bacher, N., Veliz, C., 2001.
1129 Tropical climate changes at millennial and orbital timescales in the Bolivian
1130 Altiplano. *Nature* 409, 698-701.

1131 - Barr, C., Tibby, J., Gell, P., Tyler, J., Zawadzki, A., Jacobsen, G.E., 2014. Climate
1132 variability in south-eastern Australia over the last 1500 years inferred from the
1133 high-resolution diatom records of two crater lakes. *Quaternary Sciences Reviews* 95,
1134 115-131.

1135 - Bedford, 2006. Pieces of the Vanuatu Puzzle: Archaeology of the North, South and
1136 centre. *Terra Australis* 23, ANU Press, Canberra, Australie.

- 1137 - Bedford, S, 2009. Les traditions potières Erueti et Mangaasi du Vanuatu central :
1138 réévaluation et comparaison quarante ans après leur identification initiale. *Journal*
1139 *de la Société des Océanistes* 128, 25-38.
- 1140 - Bedford, S., Sand, C., 2007. Lapita and Western Pacific Settlement: Progress,
1141 prospects and persistent problems. *Terra Australis* 26, 1-7.
- 1142 - Bedford, S., Spriggs, M., 2007. Northern Vanuatu as a Pacific Crossroads: the
1143 Archaeology of Discovery, Interaction and the Emergence of the Ethnographic
1144 present. *Asian Perspectives* 47, 95-120.
- 1145 - Bedford, S., Spriggs, M., Buckley, H., Valentin, F., Regenvanu, R., Abong, M., 2010. A
1146 cemetery of first settlement: Teouma, South Efate, Vanuatu/Un cimetière de premier
1147 peuplement : le site de Teouma, sud d'Efate, Vanuatu. In: Sand, C., Bedford, S. (Ed.),
1148 *Lapita: Oceanic Ancestors/Lapita: Ancêtres Océaniens. Musée du Quai*
1149 *Branly/Somogy, Paris, France, pp. 140-161.*
- 1150 - Bedford, S., Spriggs, M., Regenvanu, R., Macgregor, C., Kuautonga, T., Sietz, M., 2007.
1151 The excavation, conservation and reconstruction of Lapita burial pots from the
1152 Teouma site, Efate, Central Vanuatu. *Terra Australis* 26, 223-240.
- 1153 - Bellwood, P., 1979. *Man's Conquest of the Pacific*. Oxford University Press, Oxford,
1154 UK.
- 1155 - Bellwood, P., 2005. *First Farmers. The origin of Agricultural Societies*. Blackwell
1156 publishings, Hoboken, USA.
- 1157 - Bellwood, P., 2011. Holocene Population History in the Pacific Region as a Model
1158 for Worldwide Food Producer Dispersals. *Current Anthropology* 52, 363-378.
- 1159 - Bellwood, P., Fox, J., Tryon, D., 1995. The Austronesians in History: Common origins
1160 and diverse transformations. In: Bellwood, P., Fox, J., Tryon, D. (Ed.), *The*

1161 Austronesians: Historical and comparative perspectives. ANU Press, Canberra,
1162 Australie, pp. 1-16.

1163 - Bentley, R.A., Buckley, H.R., Spriggs, M., Bedford, S., Ottley, C.J., Nowell, G.M.,
1164 Macpherson, C.G., Pearson, D.G., 2007. Lapita Migrants in the Pacific's Oldest
1165 Cemetery: Isotopic Analysis at Teouma, Vanuatu. *American Antiquity* 72, 645-656.

1166 - Beucher, F., 2010. *Météorologie Tropicale : des alizés au cyclone*. Météo France,
1167 Paris, France.

1168 - Biagioni, S., Wündsche, M., Haberzettl, T., Behling, H., 2015. Assessing
1169 resilience/sensitivity of tropical mountain rainforests towards climate variability of
1170 the last 1500 years: The long-term perspective at Lake Kalimpa (Sulawesi,
1171 Indonesia). *Review of Palaeobotany and Palynology* 213, 42-53.

1172 - Bouchet, P., 2011. Marine ecosystems. In: Bouchet, P., Le Guyader, H., Pascal, O.
1173 (Ed.), *The natural history of Santo*. Publications scientifiques du muséum, Paris,
1174 France, pp. 337-464.

1175 - Bourdy, G., Walter, A., 1987. *Fibres et liens : quelques plantes de Vanuatu utilisées*
1176 *en technologie traditionnelle*. Naïka, Port Vila, Vanuatu.

1177 - Braconnot, P., Luan, Y., Brewer, S., Zheng, W., 2011. Impact of Earth's orbit and
1178 freshwater fluxes on Holocene climate mean seasonal cycle and ENSO
1179 characteristics. *Climate Dynamics* 38, 1081-1092.

1180 - Bradley, R., Jones, P., 1993. Little Ice Age summer temperature variations: their
1181 nature and relevance to recent global warming trends. *The Holocene* 3, 367-376.

1182 - Bregulla, H.L., 1991. *The Birds of Vanuatu*. Anthony Nelson LTD, Middlesbrough,
1183 UK.

1184 - Brijker, J.M., Jung, S.J.A., Ganssen, G.M., Bickert, T., Kroon, D., 2007. ENSO related
1185 decadal scale climate variability from the Indo-Pacific Warm Pool. *Earth and*
1186 *Planetary Science Letters* 253, 67-82.

1187 - Buckley, H.R., Kinaston, R., Halcrow, S.E., Foster, A., Spriggs, M., Bedford, S., 2014.
1188 Scurvy in a tropical paradise? Evaluating the possibility of infant and adult vitamin C
1189 deficiency in the Lapita skeletal sample of Teouma, Vanuatu, Pacific islands.
1190 *International Journal of Paleopathology* 5, 72-85.

1191 - Burley, D., Connaughton, S., 2007. First Lapita settlement and its chronology in
1192 Vava'u, Kingdom of Tonga. *Radiocarbon* 49, 131-137.

1193 - Carson, M.T., 2013. Austronesian Migrations and Developments in Micronesia,
1194 *Journal of Austronesian Studies* 4, 25-52.

1195 - Cabioch, G., Banks-Culter, K.A., Beck, W.J., Burr, G.S., Corrège, T., Lawrence
1196 Edwards, R., Taylor, F.W., 2003. Continuous reef growth during the last 23 cal kyr BP
1197 in a tectonically active zone (Vanuatu, Southwest Pacific). *Quaternary Science*
1198 *Reviews* 22, 1771-1786.

1199 - Cabioch, G., Wirmann, D., Sémah, A-M., Corrège, T., Le Cornec, F., 2008. Évolution
1200 des paléoenvironnements dans le Pacifique lors de la dernière déglaciation :
1201 exemples en Nouvelle-Calédonie et au Vanuatu. *Journal de la Société des Océanistes*
1202 126-127, 25-40.

1203 - Calmant, S., Cabioch, G., Régnier, M., Pillet, R., Pelletier, B., 1999. Surrections
1204 cosismiques et subsidence intersismique enregistrées par des coraux à Mallicolo
1205 (Vanuatu, Pacifique sud-ouest). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Serie*
1206 *IIA - Earth Planetary Science* 328, 711-716.

1207 - Chazen, C.R., Altabet, M.A., Herbert, T.D., 2009. Abrupt mid-Holocene onset of
1208 centennial-scale climate variability on the Peru-Chile Margin. *Geophysical Research*
1209 *Letters* 36, L18704.

1210 - Cheesman, L.E., 1957. Biogeographical Significance of Aneityum Island, New
1211 Hebrides. *Nature* 180, 903-904.

1212 - Chiu, S., 2005. Meanings of a Lapita Face: Materialized Social Memory in Ancient
1213 House Societies. *Taiwan Journal of Anthropology* 3, 1-47.

1214 - Chiu, S., 2007 Detailed Analysis of Lapita Face Motifs: Case Studies from Reef/Santa
1215 Cruz Lapita Sites and New Caledonia Lapita Site 13A. *Terra Australis* 26, 241-264.

1216 - Clark, G & Murray, T 2006. Decay characteristics of the eastern Lapita design
1217 system. *Archaeology in Oceania* 41, 107-117.

1218 - Clement, A.C., Seager, R., Cane, M.A., 2000. Suppression of El Niño during the Mid-
1219 Holocene by changes in the Earth's orbit. *Paleoceanography* 15, 731-737.

1220 - Cobb, K.M., Charles, C.D., Cheng, H., Edwards, R.L., 2003. El Niño/Southern
1221 Oscillation and tropical Pacific climate during the last millennium. *Nature* 424, 271-
1222 276.

1223 - Cobb, K.M., Westphal, N., Sayani, H.R., Watson, J.T., Di Lorenzo, E., Cheng, H.,
1224 Edwards, R.L., Charles, C.D., 2013. Highly Variable El Niño–Southern Oscillation
1225 Throughout the Holocene. *Science* 339, 67-69.

1226 - Coiffier, C., 2009. « Promesse tenue ». José Garanger et le retour au Vanuatu des
1227 objets de la sépulture de Roy Mata. *Journal de la Société des Océanistes* 128, 15-23.

1228 - Cole-Dai, J., Ferris, D.G., Lanciki, A.L., Savarino, J., Thiemens, M.H., McConnell, J.R.,
1229 2013. Two likely stratospheric volcanic eruptions in the 1450s C.E. found in a
1230 bipolar, subannually dated 800 year ice core record. *Journal of Geophysical*
1231 *Research Atmospheres* 118, 7459-7466.

1232 - Conroy, J.L., Overpeck, J.T., Cole, J.E., Shanahan, T.M., Steinitz-Kannan, M., 2008.
1233 Holocene changes in eastern tropical Pacific climate inferred from a Galápagos lake
1234 sediment record. *Quaternary Science Reviews* 27, 1166-1180.

1235 - Corbara, B., 2011. Terrestrial fauna. In: Bouchet, P., Le Guyader, H., Pascal, O. (Ed.),
1236 The natural history of Santo. Publications scientifiques du muséum, Paris, France,
1237 pp. 119-236.

1238 - Corrège, T., Delcroix, T., Récy, J., Beck, W., Cabioch, G., Le Cornec, F., 2004. Evidence
1239 for stronger El Niño-Southern Oscillation (ENSO) events in a mid-Holocene massive
1240 coral. *Paleoceanography* 15, 465-470.

1241 - Crowley, T.J., 2000. Causes of climate changes over the past 1000 years. *Science*
1242 289, 270-277.

1243 - Crowley, T.J., North, G., 1991. *Paleoclimatology*. Oxford University Press, Oxford,
1244 UK.

1245 - David, B., McNiven, I.J., Richards, T., Connaughton, S.P., Leavesley, M., Barker, B.,
1246 Rowe, C., 2011. Lapita sites in the Central Province of mainland Papua New Guinea.
1247 *World Archaeology* 43, 576-593.

1248 - Deharveng, L., 2011. Caves and soils. In: Bouchet, P., Le Guyader, H., Pascal, O. (Ed.),
1249 The natural history of Santo. Publications scientifiques du muséum, Paris, France,
1250 pp. 267-333.

1251 - Denniston, R., Wyrwoll, K-H., Victor, J., Brown, J., Asmerom, Y., Wanamaker, A. J.,
1252 Lapointe, Z., Ellerbroek, R., Barthelmes, M., Cleary, D., Cugley, J., Woods, D.,
1253 Humphreys, W., 2013. A Stalagmite record of Holocene Indonesian-Australian
1254 summer monsoon variability from the Australian tropics. *Quaternary Science*
1255 *Reviews* 78, 155-168.

1256 - Denniston, R.F., Wyrwoll, K-H., Victor, J.P., Brown, J.R., Asmerom, Y., Wanamaker,
1257 A.D. Jr, Lapointe, Z., Ellerbroek, R., Barthelmes, M., Cleary, D., Cugley, J., Woods, D.,
1258 Humphreys, W.F., 2014. Corrigendum to "A stalagmite record of Holocene
1259 Indonesian-Australian summer monsoon variability from the Australian tropics"
1260 [Quaternary Sci. Rev. 78 (2013) 155-168], Quaternary Sci. Rev. 87, 156-158.

1261 - Dickinson, W.R., 2001. Paleoshoreline record of relative Holocene sea levels on
1262 Pacific islands. Earth-Science Reviews 55, 191-234.

1263 - Dickinson, W.R., 2003. Impact of Mid-Holocene Hydro-Isostatic Highstand in
1264 Regional Sea Level on Habitability of Islands in Pacific Oceania, Journal of Coastal
1265 Research 19, No. 3, pp. 489-502

1266 - Dickinson, W.R., 2006. Temper sands in prehistoric Oceanian pottery: geotectonics,
1267 sedimentology, petrography, provenance. Geological Society of America, Boulder,
1268 USA.

1269 - Di Piazza, A., 2014. The Vanuatu "Butterfly Sail": A Polynesian Oceanic Sprintsail in
1270 Melanesia. Asian Perspectives 53, 150-161.

1271 - Donders, T.H., Haberle, S.G., Hope, G.S., Wagner, F., Visscher, H., 2007. Pollen
1272 evidence for the transition of the Eastern Australian climate system from the post-
1273 glacial to the present-day ENSO mode. Quaternary Science Reviews 26, 1621-1637.

1274 - Donders, T.H., Wagner-Cremer, F., Visscher, H., 2008. Integration of proxy data and
1275 model scenarios for the mid-Holocene onset of modern ENSO variability. Quaternary
1276 Science Reviews 27, 571-579.

1277 - Donohue, M., Denham, T., 2012. Lapita and Proto-Oceanic. The Journal of Pacific
1278 History 47, 443-457.

- 1279 - Dugas, F., Dubois, J., Lapouille, A., Lovat, R. and Ravenne, C., 1977. Structural
1280 characteristics and tectonics of an active island arc: the New Hebrides. International
1281 Symposium on Geodynamics in South-West Pacific, Nouméa.
- 1282 - Dwivedi, S., 2012. Forecasting the peak anomalies of dominant intrinsic modes of
1283 Indian Ocean Dipole. *Deep-Sea Research* 70, 73-82.
- 1284 - Fall, P.L., 2005. Vegetation change in the coastal-lowland rainforest at Avai'o'vuna
1285 Swamp, Vava'u, Kingdom of Tonga. *Late Quaternary Tropical Ecosystem Dynamics*
1286 64, 451-459.
- 1287 - Fan, W., Jian, Z., Bassinot, F., Chu, Z., 2013. Holocene centennial-scale changes of the
1288 Indonesian and South China Sea throughflows: Evidences from the Makassar Strait.
1289 *Global and Planetary Change* 111, 111-117.
- 1290 - Federov, A.V., Philander, S.G.H., 2001. A stability analysis of tropical Ocean-
1291 Atmosphere Interaction (Bridging Measurement of, and Theory for El Niño). *Journal*
1292 *of Climate* 14, 3086-3101.
- 1293 - Field J., Lape P., 2010. Paleoclimates and the emergence of fortifications in tropical
1294 Pacific Islands. *Journal of Anthropological Archaeology* 29, 113-124.
- 1295 - Firth, C., Handley, H., Cronin, S., Turner, S., 2014. The eruptive history and chemical
1296 stratigraphy of a post-caldera, steady-state volcano: Yasur, Vanuatu. *Bulletin of*
1297 *Volcanology* 76, 837.
- 1298 - Fitzpatrick, S.C., Callaghan, R.T., 2013. Estimating trajectories of colonisation to the
1299 Mariana Islands, western Pacific. *Antiquity* 87, 840-853.
- 1300 - Fleitmann, D., Burns, S., Mudelsee, M., Neff, U., Kramers, J., Mangini, A., Matter, A.,
1301 2003. Holocene forcing of the Indian Monsoon recorded in a stalagmite from
1302 Southern Oman. *Science* 300, 1737-1739.

1303 - Forsyth, A., Nott, J., Bateman, M., 2010. Beach ridge plain evidence of a variable
1304 late-Holocene tropical cyclone climate, North Queensland, Australia.
1305 *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 297, 707-716.

1306 - Frogner Kockum, P.C., Herbert, R.B., Gislason, S.R., 2006. A diverse ecosystem
1307 response to volcanic aerosols. *Chemical Geology* 231, 57-66.

1308 - Gagan, M.K., Hendy, E.J., Haberle, S.G., Hantoro, W.S., 2004. Post-glacial evolution of
1309 the Indo-Pacific Warm Pool and El Niño-Southern oscillation. *Quaternary*
1310 *International* 118-119, 127 – 143.

1311 - Galipaud, J-C., Kelly, M.C.S., 2007. Makué (Aore Island, Santo, Vanuatu): A new
1312 Lapita site in the ambit of New Britain obsidian distribution. *Terra Australis* 26, 151-
1313 162.

1314 - Galipaud, J-C., Reepmeyer, C., Torrence, R., Kelloway, S., White, P., 2014. Long-
1315 distance connections in Vanuatu: New obsidian characterisations for the Makué site,
1316 Aore Island. *Archaeol. Oceania* 49, 110-116.

1317 - Ganopolski, A., Kubatzki, C., Claussen, M., Brovkin, V., Petoukhov, V., 1998. The
1318 influence of vegetation-atmosphere-ocean interaction on climate during the mid-
1319 Holocene. *Science* 280, 1916-1919.

1320 - Gao, C., Robock, A., Self, S., Witter, J.B., Steffenson, J.P., Clausen, H.B., Siggaard-
1321 Andersen, M-L., Johnsen, S., 2006. The 1452 or 1453 A.D. Kuwae eruption signal
1322 derived from multiple ice core records: Greatest volcanic sulfate event of the past
1323 700 years. *Journal of Geophysical Research* 111, D12107.

1324 - Garanger, J., 1972. *Archéologie des Nouvelles-Hébrides: contribution à la*
1325 *connaissance des îles du centre*. Publications de la Société des Océanistes, Paris,
1326 France.

1327 - Garling, S.J., 2007. Post-Lapita Evolutions or Revolutions? Interaction and
1328 Exchange in Island Melanesia: The View from the Tanga Islands. Thèse de doctorat,
1329 Australian National University, Canberra.

1330 - Gifford, E.W., Shutler, Jr., R., 1956. Archaeological Excavations in New Caledonia,
1331 University of California press, Berkeley, USA.

1332 - Giggenbach, W.F., 1996. Chemical composition of volcanic gases. In: Scarpa, R.,
1333 Tilling, R.I. (Ed.), Monitoring and Mitigation of Volcanic Hazards. Springer-Verlag,
1334 Berlin, Allemagne, pp. 211-256.

1335 - Gillison, A.N., 1975. Phytogeographical Relationships of the Northern Islands of the
1336 New Hebrides. Philosophical Transaction of the Royal Society B Biological Sciences
1337 272, 385-390.

1338 - Goodwin, I.D., Browning, S., Lorrey, A.M., Mayewski, P.A., Phipps, S.J., Bertler, N.A.N.,
1339 Edwards, R.P., Cohen, T.J., van Ommen, T., Curran, M., Barr, C., Stager, J.C., 2013. A
1340 reconstruction of extratropical Indo-Pacific sea-level pressure patterns during the
1341 Medieval Climate Anomaly. *Climate Dynamics* 43, 1197-1219.

1342 - Gosden, C., 1989. Prehistoric social landscape of the Arawe Islands, West New
1343 Britain, Papua New Guinea. *Archaeology in Oceania* 24, 45-58.

1344 - Graham, N.E., Barnett, T.P., 1995. ENSO and ENSO-related predictability. II:
1345 Northern hemisphere 700-mb height prediction based on a hybrid coupled ENSO
1346 model. *Journal of Climate* 8, 544-549.

1347 - Green R.C., 1979. Lapita. In : Jennings, J. (Ed.), *The Prehistory of Polynesia*. ANU
1348 Press, Canberra. Australie.

1349 - Green R. C., 2000. Lapita and the cultural models for intrusion, integration and
1350 innovation. In : Anderson, A., Murray, T. (Ed.), *Australian Archaeologist: collected
1351 papers in honour of Jim Allen*, Canberra, Australie, pp. 372-392.

- 1352 - Green R. C., 2003. The Lapita horizon and traditions – Signature for one set of
1353 oceanic migrations. In: Sand, C. (Ed), Pacific Archaeology: assessments and
1354 prospects Proceedings of the Conference for the 50th anniversary of the first Lapita
1355 excavation. Koné-Nouméa 2002, Les Cahiers de l'archéologie en Nouvelle-Calédonie,
1356 Nouméa, Nouvelle-Calédonie, pp. 95-120.
- 1357 - Gupta, A., Anderson, D., Overpeck, J., 2003. Abrupt changes in the Asian southwest
1358 monsoon during the Holocene and their links to the North Atlantic Ocean. Nature
1359 421, 354-357.
- 1360 - Haberle, S. G., Hope, G. S., van der Kaars, S., 2001. Biomass burning in Indonesia and
1361 Papua New Guinea : natural and human induced fire events in the fossil record.
1362 Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 171, 259-268.
- 1363 - Hamilton, A.M., Klein, E.R., Austin, C.C., 2010. Biogeographic Breaks in Vanuatu, a
1364 Nascent Oceanic Archipelago. Pacific Science 64, 149-159.
- 1365 - Haug, G., Hughen, K., Sigman, D., Peterson, L., Röhl, U., 2001. Southward migration
1366 of the Intertropical Convergence Zone through the Holocene. Science 293, 1304-
1367 1308.
- 1368 -Hoffman, A., 2007. Looking to Epi: further conséquences of the Kuwae eruption,
1369 central Vanuatu, AD 1452. Bulletin of the Indo-Pacific Prehistory Association 26, 62-
1370 71.
- 1371 - Hope, G., Kershaw, A.P., Kaars, S. van der, Xiangjun, S., Liew, P.-M., Heusser, L.E.,
1372 Takahara, H., McGlone, M., Miyoshi, N., Moss, P.T., 2004. History of vegetation and
1373 habitat change in the Austral-Asian region. Quaternary International 118-119, 103-
1374 126.
- 1375 - Hope, G., O'Dea, D., Southern, W., 1999. Holocene vegetation histories in the
1376 Western Pacific: alternative records of human impact. In: Galipaud, J-C., Lilley, I.

1377 (Ed.), *Le Pacifique de 5000 à 2000 avant le présent : suppléments à l'histoire d'une*
1378 *colonisation = The Pacific from 5000 to 2000 BP: colonization and transformations.*
1379 *IRD, Paris, France, pp. 387-404.*

1380 - Horrocks, M., Bedford, S., 2005. Microfossil analysis of Lapita deposits in Vanuatu
1381 reveals introduced Araceae (aroids). *Archaeology in Oceania* 40, 67-74

1382 - Horrocks, M., Bedford, S., Spriggs, 2009. A short note on banana (*Musa*) phytoliths
1383 in Lapita, immediately post-Lapita and modern period archaeological deposits from
1384 Vanuatu. *Journal of Archaeological Science* 36, 2048-2054.

1385 - Hu, C., Henderson, G., Huang, J., Xie, S., Sun, Y., Johnson, K., 2008. Quantification of
1386 Holocene Asian monsoon rainfall from spatially separated cave records. *Earth and*
1387 *Planetary Science Letters* 266, 221-232.

1388 - Hung, C-W., Yanai, M., 2004. Factors contributing to the onset of the Australian
1389 summer monsoon. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 130, 739-
1390 758.

1391 - Irwin, G., 1992. *The Prehistoric Exploration and Colonization of the Pacific.*
1392 *Cambridge University Press, Cambridge, UK.*

1393 - Irwin, G., 2008. Pacific seascapes, canoe performance, and a review of Lapita
1394 voyaging with regards to theories of migration. *Asian Perspectives* 47, 12-27.

1395 - Jones, M., Roberts, N., Leng, M., Türkeş, M., 2006. A high-resolution late Holocene
1396 lake isotope record from Turkey and links to North Atlantic and monsoon. *Climate*
1397 *Geology* 34, 361-364.

1398 - Keith, P., 2011. Rivers and other freshwater habitats. In: Bouchet, P., Le Guyader,
1399 H., Pascal, O. (Ed.), *The natural history of Santo. Publications scientifiques du*
1400 *muséum, Paris, France pp. 239-264.*

1401 - Khider, D., Stott, L.D., Emile-Geay, J., Thunell, R., Hammond, D.E., 2011. Assessing El
1402 Niño Southern Oscillation variability during the past millennium. *Paleoceanography*
1403 26, PA3222.

1404 - Kiladis G.N., K. M. Weickmann, K.M., 1992. Circulations anomalies associated with
1405 tropical convection during northern winter. *Monthly Weather Review* 120, 1900–
1406 1923.

1407 - Kilbourne, K.H., Quinn, T.M., Taylor, F.W., Delcroix, T., Gouriou, Y., 2004. El Nino
1408 Southern Oscillation-related salinity variations recorded in the skeletal
1409 geochemistry of a *Porites* coral from Espiritu Santo, Vanuatu. *Paleoceanography* 19,
1410 PA4002.

1411 - Kinaston, R., Bedford, S., Richards, M., Hawkins, S., Gray, A., Jaouen, K., Valentin, F.,
1412 Buckley, H., 2014a. Diet and Human Mobility from the Lapita to the Early Historic
1413 Period on Uripiv Island, Northeast Malakula, Vanuatu. *PLoS ONE* 9, e104071.

1414 - Kinaston, R., Buckley H., Valentin, F., Bedford, S., Spriggs, M., Hawkins, S., Herrscher,
1415 E., 2014b. Lapita Diet in Remote Oceania: New Stable Isotope Evidence from the
1416 3000-Year-Old Teouma Site, Efate Island, Vanuatu. *PLoS ONE* 9, e90376.

1417 - Kirch, P.V., 1984. *The Evolution of the Polynesian Chiefdoms*. Cambridge University
1418 Press, Cambridge, UK.

1419 - Kirch, P.V., 1997. *The Lapita Peoples: Ancestors of the Oceanic World, The Peoples*
1420 *of South-East Asia and the Pacific*. Blackwell publishing, Hoboken, USA.

1421 - Kirch, P., Hunt, T., 1988. *Archaeology of the Lapita Cultural Complex: a critical*
1422 *Review*. T. Burke Memorial Washington State Museum, Research Report 5, Seattle,
1423 USA.

1424 -Konecky, B., Russell, J., Vuille, M., Rehfekd, K., 2014. The Indian Ocean Zonal Mode
1425 over the past millennium in observed and modeled precipitation isotopes.
1426 Quaternary Science Reviews 103, 1-18.

1427 - Kug, J., Sooraj, K., Fei-Fei, J., Luo, J-J., Kwon, M., 2009. Impact of Indian Ocean Dipole
1428 on high-frequency atmospheric variability over the Indian Ocean. Atmospheric
1429 Research 94, 134-139.

1430 - Kumar, R., Nunn, P., Dickinson, W., 2004. The emerging pattern of earliest human
1431 settlement in Fiji: four new Lapita sites on Viti Levu Island. Archaeology in New
1432 Zealand 47, 108-117.

1433 - Lebot, V., Merlin, M., Lindstrom, L. 1997. Kava The Pacific Elixir. Healing Arts Press,
1434 Rochester, USA.

1435 - Lecolle, J.F., Bokilo, J.E., Bernat, M., 1990. Soulèvement et tectonique de l'île d'Éfaté
1436 (Vanuatu) arc insulaire des Nouvelles-Hébrides, au cours du Quaternaire récent.
1437 Datations de terrasses soulevées par la méthode U/Th. Marine Geology 94, 251-270.

1438 - Loubere, P., Creamer, W., Haas, J., 2013. Evolution of the El Nino-Southern
1439 Oscillation in the late Holocene and insolation driven change in the tropical annual
1440 SST cycle. Global and Planetary Change 100, 129-144.

1441 - Luyendyk, B.P., Bryan, W.B., Jezek, P.A., 1974. Shallow structures of the New
1442 Hebrides island arc. The Geological Society of America 85, 1287-1300.

1443 - Lynch, J., 2004. The Efate-Erromango Problem in Vanuatu Subgrouping. Oceanic
1444 Linguistics 43, 311-338.

1445 - Madden, R.A., Julian, P., 1971. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind
1446 in the tropical pacific. Journal of Atmospheric Sciences 28, 702-708.

1447 - Mallick, D.I.J, Ash, R.P., 1975. Geology of the southern Banks Islands: New Hebrides.
1448 Geological Survey Regional Report, Port Vila, Vanuatu.

1449 - Mann, M.E., Zhang, Z., Rutherford, S., Bradley, R.S., Hughes, M.K., Shindell, D.,
1450 Ammann, C., Faluvegi, G., Ni, F., 2009. Global Signatures and Dynamical Origins of the
1451 Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science* 326, 1256-1260.
1452 - Martin, P.S., Steadman, D.W., 1999. Prehistoric Extinctions on Islands and
1453 Continents. In: MacPhee, R.D.E. (Ed.), *Extinctions in Near Time, Advances in*
1454 *Vertebrate Paleobiology*. Springer US, New York, USA, pp. 17-55.
1455 - Masse, W.B., Liston, J., Carucci, J., Athens, S., 2006. Evaluating the effects of climate
1456 change on environment, resource depletion, and culture in the Palau Islands
1457 between AD 1200 and 1600. *Quaternary International* 151, 106-132.
1458 - Matisoo-Smith, E., 2015. Ancient DNA and the human settlement of the Pacific: A
1459 review. *Journal of Human Evolution* 79, 93-104.
1460 - Matthey, D., Stephens, M., Garcia, A. E., Hoffmann, D., Dredge, J.A., Fisher, R.E., Lowry,
1461 D., 2011. The nature of the Medieval Warm Period-Little Ice Age Transition in an
1462 annually resolved speleothem record from Voli Voli Cave, Fiji. *Proceedings of the*
1463 *AGU Fall Meeting*, San Francisco.
1464 - McBride, J., 1987. The Australian summer monsoon. In: Chang, C., Krishnamurti, T.
1465 (Ed.), *Monsoon Meteorology*. Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 203-231.
1466 - McCall, G., LeMaitre, R., Malahoff, A., Robinson, G., Stephenson, P., 1970. The
1467 geology and geophysics of the ambrym caldera, New Hebrides. *Bulletin of*
1468 *Volcanology* 34, 681-696.
1469 - McGregor, H.V., Gagan, M.K., 2004. Western Pacific coral $\delta^{18}\text{O}$ records of anomalous
1470 Holocene variability in the El Niño-Southern Oscillation. *Geophysical Research*
1471 *Letters* 31, L11204.
1472 - McPhaden, M.J., Yu, X., 1999. Equatorial waves and the 1997-1998 El Niño.
1473 *Geophysical Research Letters* 26, 2961-2964.

1474 - McNiven, I.J., David, B., Richards, T., Aplin, K., Asmussen, B., Mialanes, J., Leavesley,
1475 M., Faulkner, P., Ulm, S., 2011. New Direction in Human Colonisation of the Pacific:
1476 Lapita Settlement of South Coast New Guinea. *Australian Archaeology* 72, 1-6.

1477 - McRobie, F.H., Stemler, T., Wyrwoll, K.-H., 2015. Transient coupling relationships of
1478 the Holocene Australian monsoon. *Quaternary Science Reviews* 121, 120-131.

1479 - Mohtadi, M., Romero, O.E., Kaiser, J., Hebbeln, D., 2007. Cooling of the southern high
1480 latitudes during the Medieval Period and its effect on ENSO. *Quaternary Science*
1481 *Reviews* 26, 1055-1066.

1482 - Monzier, M., Robin, C., Eisen, J-P., 1994. Kuwae (~1425 A.D): the forgotten caldera.
1483 *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 59, 207-218.

1484 - Morishita, Y., Heki, K., 2008. Characteristic precipitation patterns of El Niño/La
1485 Niña in time-variable gravity fields by GRACE. *Earth and Planetary Science Letters*
1486 272, 677-682.

1487 - Moy, C.M., Seltzer, G.O., Rodbell, D.T., Anderson, D.M., 2002. Variability of El Niño-
1488 Southern Oscillation activity at millennialtimescales during the Holocene epoch.
1489 *Nature* 162-165.

1490 - Munzinger, J., Lowry, P.P., 2011. Principal types of vegetation occurring on Santo. In:
1491 Bouchet, P., Le Guyader, H., Pascal, O. (Ed.), *The natural history of Santo*.
1492 *Publications scientifiques du muséum, Paris*, pp. 76-88.

1493 - Nan, Q., Li, T., Chen, J., Nigma, R., Yua, X., Xu, Z., Yang, Z., 2014. Late Holocene (~2
1494 ka) East Asian Monsoon variations inferred from river discharge and climate
1495 interrelationships in the Pearl River Estuary. *Quaternary Research* 81, 240-250.

1496 - Neef, G., Veeh, H.H., 1977. Uranium series ages and late Quaternary uplift in the
1497 New Hebrides. *Nature* 420, 682-683.

1498 - Neelin, J.D., Latif, M., 1998. El niño dynamics. *Physics Today* 51, 32-36.

1499 - Newell, R.E., 1979. Climate and the ocean. *American Scientist* 67, 405-416.

1500 - Nott, J., Hayne, M., 2001. High frequency of 'super-cyclones' along the Great Barrier
1501 Reef over the past 5,000 years *Nature* 413, 508-512.

1502 - Nott, J., Haig, J., Neil, H., Gillieson, D., 2007. Greater frequency variability of
1503 landfalling tropical cyclones at centennial compared to seasonal and decadal scales.
1504 *Earth and Planetary Science Letters* 255, 367-372.

1505 - Nott, J., Smithers, S., Walsh, K., Rhodes, E., 2009. Sand beach ridges record 6000
1506 year history of extreme tropical cyclone activity in northeastern Australia.
1507 *Quaternary Science Reviews* 28, 1511-1520.

1508 - Noury, A., Galipaud, J-C., 2011. *Les Lapita, nomades du Pacifique*. IRD édition,
1509 Marseille, France.

1510 - Nunn, P.D., 1997. Late Quaternary environmental changes on Pacific islands:
1511 controversy, certainty and conjecture. *Journal of Quaternary Science* 12, 443-450.

1512 - Nunn, P.D., 2003. Nature-Society Interaction in the Pacific Islands. *Geografiska*
1513 *Annaler* 85, 219-229.

1514 - Oppo, D.W., Rhosenthal, Y., Linsley, B.K., 2009. 2,000-year-long temperature and
1515 hydrology reconstructions from the Indo-Pacific warm pool. *Nature Letters* 460,
1516 1113-1116.

1517 - Pang, K. D., 1993. Climatic impact of the mid-fifteenth century Kuwae caldera
1518 formation, as reconstructed from historical and proxy data, *Eos Transaction AGU* 74,
1519 106.

1520 - Partin, J., Cobb, K., Adkins, J., Clark, B., Fernandez, D., 2007. Millennial-scale trends
1521 in west Pacific warm pool hydrology since the Last Glacial Maximum. *Nature* 449,
1522 452-455.

1523 - Pawley, A., 2002. The Austronesian Dispersal: Languages, Technologies and People.
1524 In : Bellwood, P., Renfrew, C. (Ed.), Examining the forming/language dispersal
1525 hypothesis. McDonald Institute of Archaeological Research, Cambridge, UK, pp. 251-
1526 273.

1527 -Pawley, A., 2007. The origins of Early Lapita culture: the testimony of historical
1528 linguistics. *Terra Australis* 26, 17-50.

1529 - Petchey, F., 2001. Radiocarbon determinations from the Mulifanua Lapita site,
1530 Upolu, Western Samoa. *Radiocarbon* 43, 63-68.

1531 - Petchey, F., Spriggs, M., Bedford, S., Valentin, F., Buckley, H., 2014. Radiocarbon
1532 dating of burials from the Teouma Lapita cemetery, Efate, Vanuatu. *Journal of*
1533 *Archaeological Science* 50, 227-242.

1534 - Pineda, R., Galipaud, J-C., 1998. Évidences archéologiques d'une surrection
1535 différentielle de l'île de Malo (archipel du Vanuatu) au cours de l'Holocène récent.
1536 *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Serie IIA - Earth Planetary Science*
1537 327, 777-779.

1538 - Poupin, J., Juncker, M., 2010. Guide Des Crustacés Décapodes Du Pacifique Sud. SPC
1539 FAME Digital Library, Nouméa, Nouvelle-Calédonie.

1540 - Prebble, M., Wilmshurst, J.M., 2008. Detecting the initial impact of humans an
1541 introduced species on island environments in Remote Oceania using palaeoecology.
1542 *Biological Invasions* 11, 1529-1556.

1543 -Quantin, P., 1975. Soils of the New Hebrides islands. *Philosophical Transactions of*
1544 *the Royal Society B: Biological Sciences* 272, 287-292.

1545 -Reepmayer, C., Clark, G., 2010. Post-colonization interaction between Vanuatu and
1546 Fiji reconsidered: The re-analysis of obsidian from Lakeba Island, Fiji. *Archaeometry*
1547 52, 1-18.

1548 - Rein, B., Lückge, A., Sirocko, F., 2004. A major Holocene ENSO anomaly during the
1549 Medieval period. *Geophysical Research Letters* 31, L17211.

1550 - Renssen, H., Goosse, H., Fichet, T., Masson-Delmotte, V., Koç, N., 2005. The
1551 Holocene climate evolution in the high-latitude Southern Hemisphere simulated by a
1552 coupled atmosphere–sea ice–ocean–vegetation model. *The Holocene* 15, 951-964.

1553 - Rind, D., 2000. Relating paleoclimate data and past temperature gradients: some
1554 suggestive rules. *Quaternary Science Reviews* 19, 381-390.

1555 - Robin, C., Eissen, J-P., Monzier, M., 1993. Giant tuff cone and 12-km-wide associated
1556 caldera at Ambrym Volcano (Vanuatu, New Hebrides Arc). *Journal of Volcanology
1557 and Geothermal Research* 55, 225-238.

1558 - Saji, N., Goswami, B., Vinayachandran, P., Yamagata, T., 1999. Dipole mode in the
1559 tropical indian ocean. *Nature* 401, 360–36.‡

1560 - Sand, C., 2010. Lapita calédonien : Archéologie d'un premier peuplement insulaire
1561 océanien. Société des Océanistes, Paris, France.

1562 - Sand, C., Coote, K., Bole, J., Ouetcho, A., 1998. A pottery pit at locality WKO013A,
1563 Lapita (New Caledonia). *Archaeology in Oceania* 33, 37-43.

1564 - Sandweiss, D.H., Maasch, K.A., Burger, R.L., Richardson, J.B., Rollins, H.B., Clement,
1565 A., 2001. Variation in Holocene El Niño frequencies: climate records and cultural
1566 consequences in ancient Peru. *Geology* 29, 603-606.

1567 - Schmid, M., 1987. Conditions d'évolution et caractéristiques du peuplement végétal
1568 insulaire en Mélanésie occidentale : Nouvelle-Calédonie, Vanuatu. *Bulletin de la
1569 Société Zoologique de France* 112, 233-254.

1570 - Schopf, P., Suarez, M., 1988. Vacillations in a coupled ocean-atmosphere model.
1571 *Journal of Atmospheric Sciences* 45, 549–566.

1572 - Scott, R.M., Buckley, H.R., Spriggs, M., Valentin, F., Bedford, S., 2010. Identification of
1573 the first reported Lapita cremation in the Pacific Islands using archaeological,
1574 forensic and contemporary burning evidence. *Journal of Archaeological Science* 37,
1575 901-909.

1576 - Servant, M., Servant-Vildary, S., 2003. Holocene precipitation and atmospheric
1577 changes inferred from river paleowetlands in the Bolivian Andes. *Palaeogeography,*
1578 *Palaeoclimatology, Palaeoecology* 194, 187-206.

1579 - Sheppard P., Green R. C., 1991. Spatial analysis of the Nenumbo (SE-RF-2) Lapita
1580 site, Solomon Islands. *Archaeology in Oceania* 26, 89-101.

1581 - Sheppard, P., Walter, R., 2006. A revised model of Solomon Islands culture history.
1582 *Journal of the Polynesian Society* 115, 47-76.

1583 - Shutler, M.E., Shutler, Jr., R., Bedford, S., 2002. Further detail on the Archaeological
1584 Explorations in the Southern New Hebrides, 1963–1964. In: Bedford, S., Sand, C. and
1585 D. Burley, D. (Ed.), *Fifty Years in the Field: Essays in Honour and Celebration of*
1586 *Richard Shutler Jrs Archaeological Career.* New Zealand Archaeological Association,
1587 Auckland, Nouvelle-Zélande, pp.189-206.

1588 - Siméoni, P., 2009. *Atlas du Vanouatou (Vanuatu).* Géo-consulte, Port Vila, Vanuatu.

1589 - Smith, A.C., 1979. *Flora vitiensis nova,* Pacific tropical botanical garden, Honolulu,
1590 Hawaiï.

1591 - Specht, J., 2007. Small islands in the big picture: the formative period of Lapita in
1592 the Bismarck Archipelago. *Terra australis* 26, 51-70.

1593 - Specht, J., Torrence, R., 2007. Lapita all over: Land-use on the Willaumez Peninsula,
1594 Papua New Guinea. *Terra australis* 26, 71-96.

1595 -Spriggs, M., 2004. Is there Life after Lapita, and do you remember the 60s? The
1596 Post-Lapita sequences of the Western Pacific. In: Attenbrow, V., Fullager, R. (Ed.), *A*

1597 Pacific Odyssey: Archaeology and Anthropology in the Western Pacific. Papers in
1598 Honor of Jim Specht. Sydney, Australie, pp. 139-144.

1599 - Spriggs, M., 1997. The Island Melanesians. Blackwell publishings, Hoboken, USA.

1600 - Spriggs, M., 2010. Geomorphic and archaeological consequences of human arrival
1601 and agricultural expansion on Pacific Islands: a reconsideration after 30 years of
1602 debate. Terra Australis 32 239-252.

1603 - Steinke, S., Mohtadi, M., Prange, M., Varma, V., Pittauerova, D., Fischer, H.W., 2014.
1604 Mid- to Late-Holocene Australian-Indonesian summer monsoon variability.
1605 Quaternary Science Reviews 93, 142-154.

1606 - Stevenson, J., 2004. A late-Holocene record of human impact from the southwest
1607 coast of New Caledonia. The Holocene 14, 88-98.

1608 - Storey, A.A., Ladefoged, T., Matisoo-Smith, E.A., 2008. Counting your chickens:
1609 density and distribution of chicken remains in archaeological sites of Oceania.
1610 International Journal of Osteoarchaeology 18, 240-261.

1611 - Sun, D., Gagan, M.K., Cheng, H., Scott-Gagan, H., Dykoski, C.A., Edwards, R.L., Su, R.,
1612 2005. Seasonal and interannual variability of the Mid-Holocene East Asian monsoon
1613 in coral $\delta^{18}O$ records from the South China Sea. Earth and Planetary Science Letters
1614 237, 69-84.

1615 - Suppiah, R., 1992. The Australian summer monsoon: a review. Progress in Physical
1616 Geography 16, 283-318.

1617 - Terray, P., Dominiak, S., 2005. Indian ocean sea surface temperature and el niño-
1618 southern oscillation : A new perspective. Journal of Climate 18, 1351-1368.

1619 - Terrel, J., 2004. Introduction: "Austronesia" and the great Austronesian migration.
1620 World Archaeology 36, 586-590.

1621 - Thollot, P., 1996. Les poissons de mangrove du lagon sud-ouest de Nouvelle-
1622 Calédonie. ORSTOM Editions, Paris, France

1623 - Thompson, L., Henderson, K., Mosley-Thompson, E., Lin, P., 2000. The tropical ice
1624 core record of ENSO. In: Diaz, H.F., Markgraf, V. (Ed.) El Niño and the Southern
1625 Oscillation: Multiscale Variability and Global and Regional Impacts. Cambridge
1626 University Press, Cambridge, UK, pp.325-357.

1627 - Torrence, R., 2002. Cultural landscapes on Garua Island, Papua New Guinea
1628 *Antiquity* 76, 766-776.

1629 - Tudhope, A., Chilcott, C., McCulloch, M., Cook, E., Chappell, J., Ellam Lea, R., Lough,
1630 D., Shimmield, J., 2001. Variability in the El Niño-Southern Oscillation through a
1631 glacial-interglacial cycle. *Science* 291, 1511-1517.

1632 - Valentin, F., Buckley, H.R., Herrscher, E., Kinaston, R., Bedford, S., Spriggs, M.,
1633 Hawkins, S., Neal, K., 2010. Lapita subsistence strategies and food consumption
1634 patterns in the community of Teouma (Efate, Vanuatu). *Journal of Archaeological*
1635 *Science* 37, 1820-1829.

1636 - Valentin, F., Herrscher, E., Bedford, S., Spriggs, M., Buckley, H., 2014. Evidence for
1637 Social and Cultural Change in Central Vanuatu Between 3000 and 2000 BP:
1638 Comparing Funerary and Dietary Patterns of the First and Later Generations at
1639 Teouma, Efate. *Journal of Island and Coastal Archaeology* 9, 381-399.

1640 - Vargas, G., Rutllant, J., Ortlieb, L., 2006. ENSO tropical-extratropical climate
1641 teleconnections and mechanisms for Holocene debris flows along the hyperarid
1642 coast of western South America (17°-24°S). *Earth and Planetary Science Letters*
1643 249, 467-483.

1644 - Vincent, D., 1994. The South-Pacific Convergence Zone (SPCZ) - a Review. *Monthly*
1645 *Weather Review* 122, 1949-1970.

- 1646 - Waliser, D., Gautier, C.A., 1993. Satellite-derived Climatology of the ITCZ. *Journal of*
1647 *Climate* 6, 2162–2174.
- 1648 - Walker, G., Bliss, E. 1932. World weather. *Royal Meteorological Society* 4, 53-84.
- 1649 - Walter, A., Lebot, V., Sam, C., 2003. *Jardins d’Océanie*. IRD, Paris, France.
- 1650 - Wanner, H., Bütikofer, J., 2008. Holocene Bond cycles : real or imaginary ?
1651 *Geografie-Sborník CGS* 4, 338-350.
- 1652 - Wang, Y., Cheng, H., Edwards, R., He, Y., Kong, X., An, Z., Wu, J., Kelly, M., Dykoski, C.,
1653 Li, X., 2005. The Holocene Asian monsoon: links to solar changes and North Atlantic
1654 climate. *Science* 308, 854-857.
- 1655 - Ward, G.K., 1979. Prehistoric Settlement and Economy of a Tropical Small Island
1656 Environment: The Banks Islands, Insular Melanesia. Thèse de doctorat, Australian
1657 National University, Canberra.
- 1658 - Wheatley, J.I., 1992. A guide to the common trees of Vanuatu, The Republic of
1659 Vanuatu 's Department of Forestry, Port Vila, Vanuatu.
- 1660 - Wheeler, M., McBride, J., 2011. Australasian monsoon. In: Lau, W., Waliser, D. (Ed.),
1661 *Intraseasonal Variability in the Atmosphere-ocean Climate System*. Springer, Berlin,
1662 Allemagne, pp. 147-198.
- 1663 - Wheeler, M.C., Hendon, H.H., Cleland, S., Meinke, H., Donald, A., 2009. Impacts of the
1664 Madden-Julian Oscillation on Australian rainfall and circulation. *Journal of Climate*
1665 22, 1482-1498.
- 1666 - White, J.P., Allen, J., 1980. Melanesian prehistory: Some recent advances. *Science*
1667 207, 728-734.
- 1668 - Witter, J.B., Self, S., 2006. The Kuwae (Vanuatu) eruption of AD 1452: Potential
1669 magnitude and volatile release, *Bulletin of Volcanology* 68, 1-18.

1670 - Wirrmann, D., Eagar, S.H., Harper, M.A., Leroy, É., Sémah, A.-M., 2011a. First
1671 insights into mid-Holocene environmental change in central Vanuatu inferred from
1672 a terrestrial record from Emaotfer Swamp, Efaté Island. *Quaternary Science Reviews*
1673 30, 3908-3924.

1674 - Wirrmann, D., Sémah, A.-M., Debenay, J.-P., Chacornac-Rault, M., 2011b. Mid- to late
1675 Holocene environmental and climatic changes in New Caledonia, southwest tropical
1676 Pacific, inferred from the littoral plain Gouaro-Déva. *Quaternary Research* 76, 229-
1677 242.

1678 - Wu, R., Kirtman, B., 2005. Roles of indian and pacific ocean air-sea coupling in
1679 tropical atmospheric variability. *Climate Dynamics* 25, 155-170.

1680 - Wyrтки, K., 1975: El Niño--the dynamic response of the equatorial Pacific Ocean to
1681 atmospheric forcing. *Journal of Physical Oceanography* 5, 572-584.

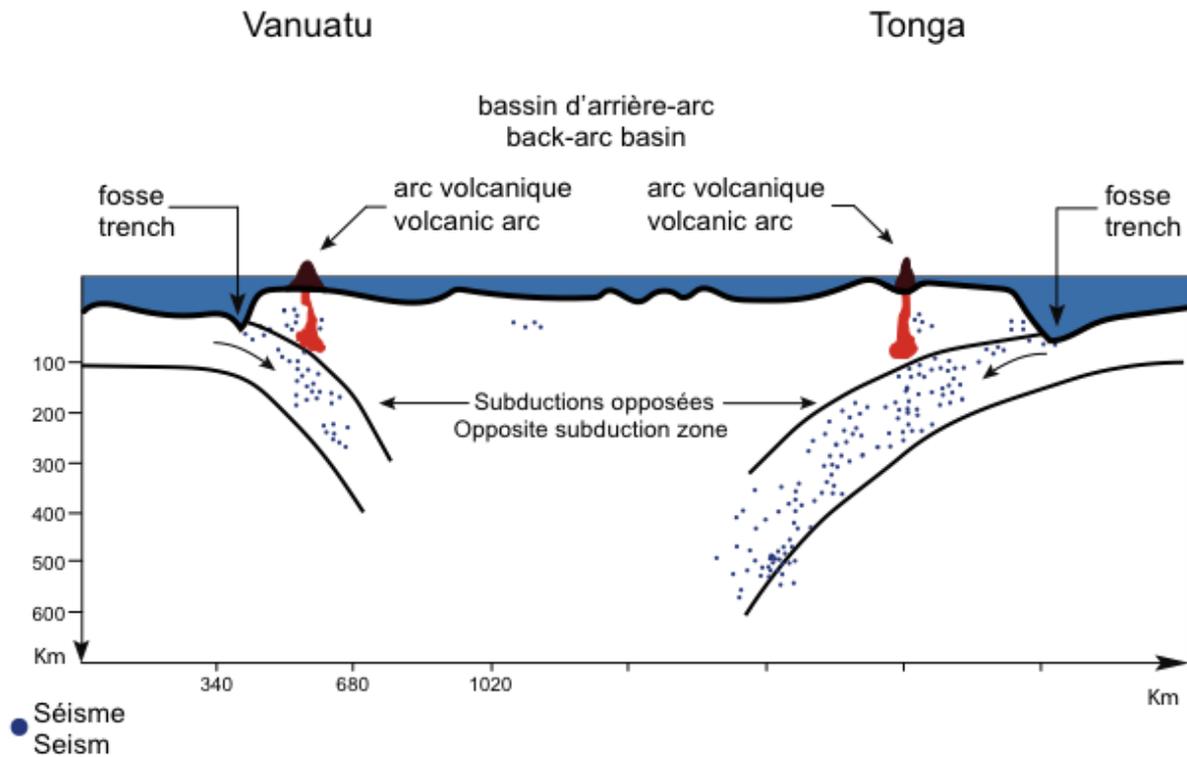
1682 - Wyrтки, K., 1989. Some thoughts about the west Pacific warm pool. Western Pacific
1683 international meeting and workshop on Toga Coare : proceedings, Nouméa.

1684 - Xie, S-P., Saito, K., 2001. Formation and Variability of a Northerly ITCZ in a Hybrid
1685 Coupled AGCM: Continental Forcing and Oceanic-Atmospheric Feedback. *Journal of*
1686 *Climate* 14, 1262-1276.

1687 - Yann, H., Sun, L., Wang, Y., Huang, W., Qiu, S., Yang, C., 2011. A record of the
1688 Southern Oscillation Index for the past 2,000 years from precipitation proxies.
1689 *Nature Geoscience* 4, 611-614.

1690 - Zhang, Z., Leduc, G., Sachs, J.P., 2014. El Niño evolution during the Holocene
1691 revealed by a biomarker rain gauge in the Galápagos Islands. *Earth and Planetary*
1692 *Science Letters* 404, 420-434.

1693



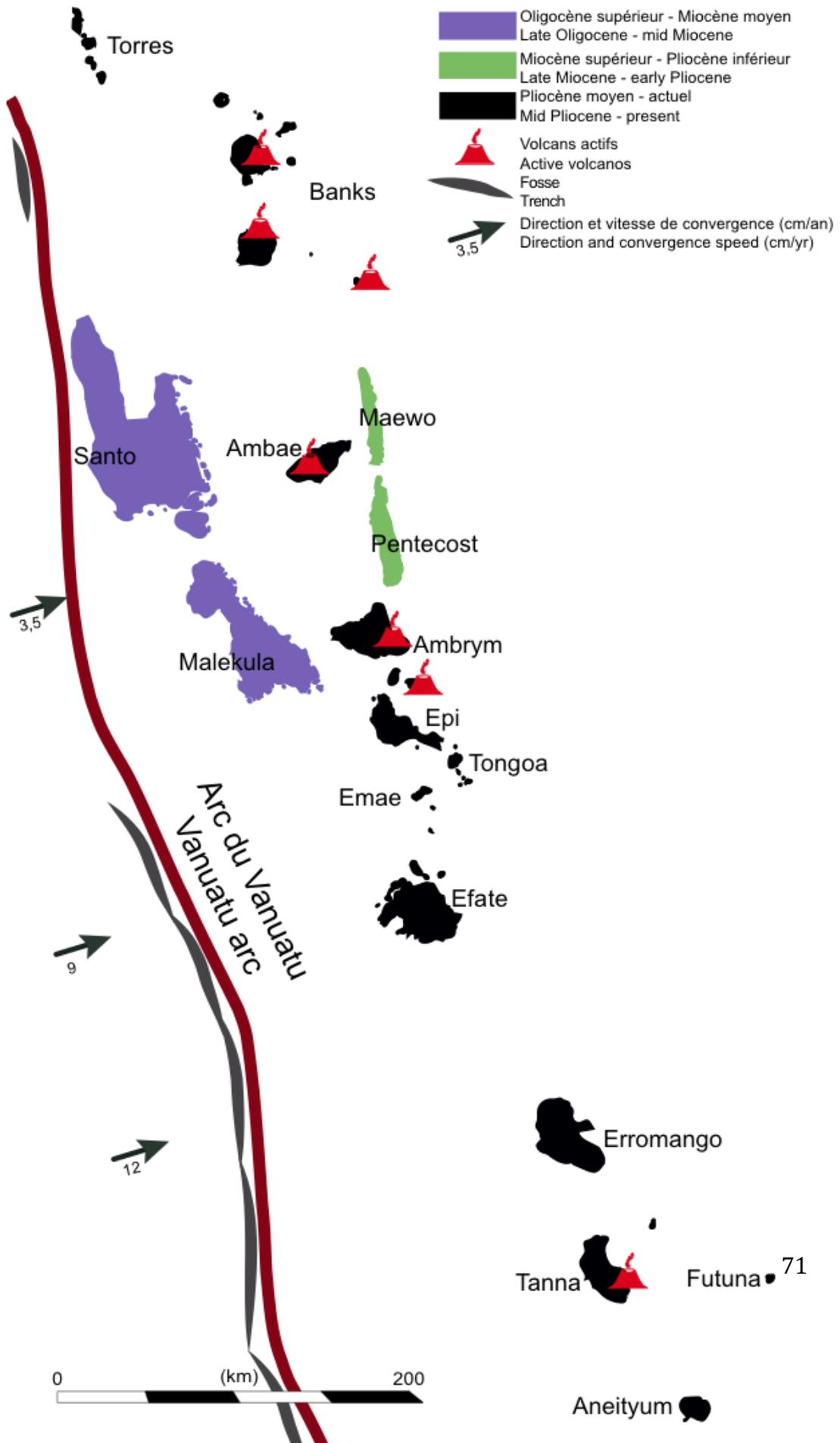
1694

1695 Figure 1 : La convergence actuelle entre les plaques Pacifique et Australie est
 1696 caractérisée par une zone de déformation composée par deux zones de
 1697 subductions de sens opposé : la zone Nouvelle-Zélande – Kermadec – Tonga et la
 1698 zone Papouasie-Nouvelle-Guinée – Salomon – Vanuatu. Des bassins océaniques
 1699 sont situés entre ces deux subductions. La figure ci-contre présente une coupe
 1700 géologique du bassin Nord Fijien. D’après Ash et al. (1978) et Siméoni (2009 for
 1701 a review).

1702

1703 Figure 1: A deformation area, constituted by two opposite subduction zones,
 1704 New Zealand – Kermadec – Tonga and Papua-New-Guinea – Salomon – Vanuatu
 1705 zones, characterize the actual convergence between Pacific and Australian

1706 plates. Back-arc basins are located between these two zones. The above figure
1707 presents a geological section of the north Fijian basin. Modified after Ash et al.
1708 (1978) and Siméoni (2009 for a review).

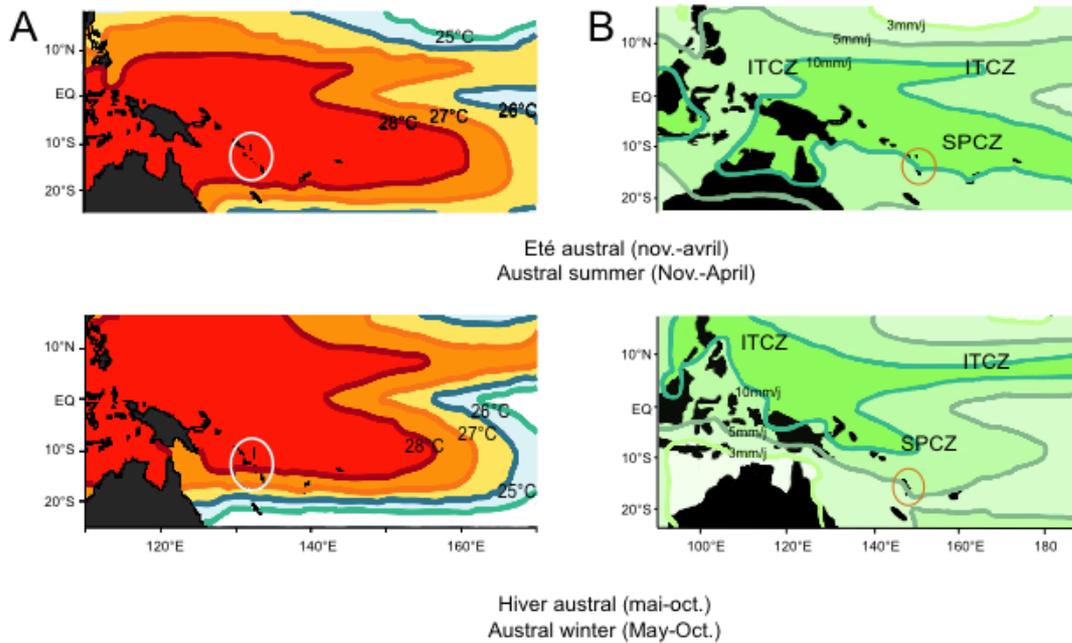


1710 Figure 2 : Carte géologique présentant les volcans aériens actifs majeurs et l'âge
1711 des trois chaînes volcaniques de l'archipel du Vanuatu (voir l'annexe 2 pour la
1712 correspondance âge période géologique). D'après Ash et al. (1978), Dugas et al.
1713 (1976), Luyendyk et al. (1974) et Siméoni (2009 for a review).

1714

1715 Figure 2: The major aerials active volcanoes, the three geological ridges of the
1716 Vanuatu Archipelago and their ages of formation (see the appendix 2 for the age-
1717 geological period relation). Modified after Ash et al. (1978), Dugas et al. (1976),
1718 Luyendyk et al. (1974) and Siméoni (2009 for a review).

1719



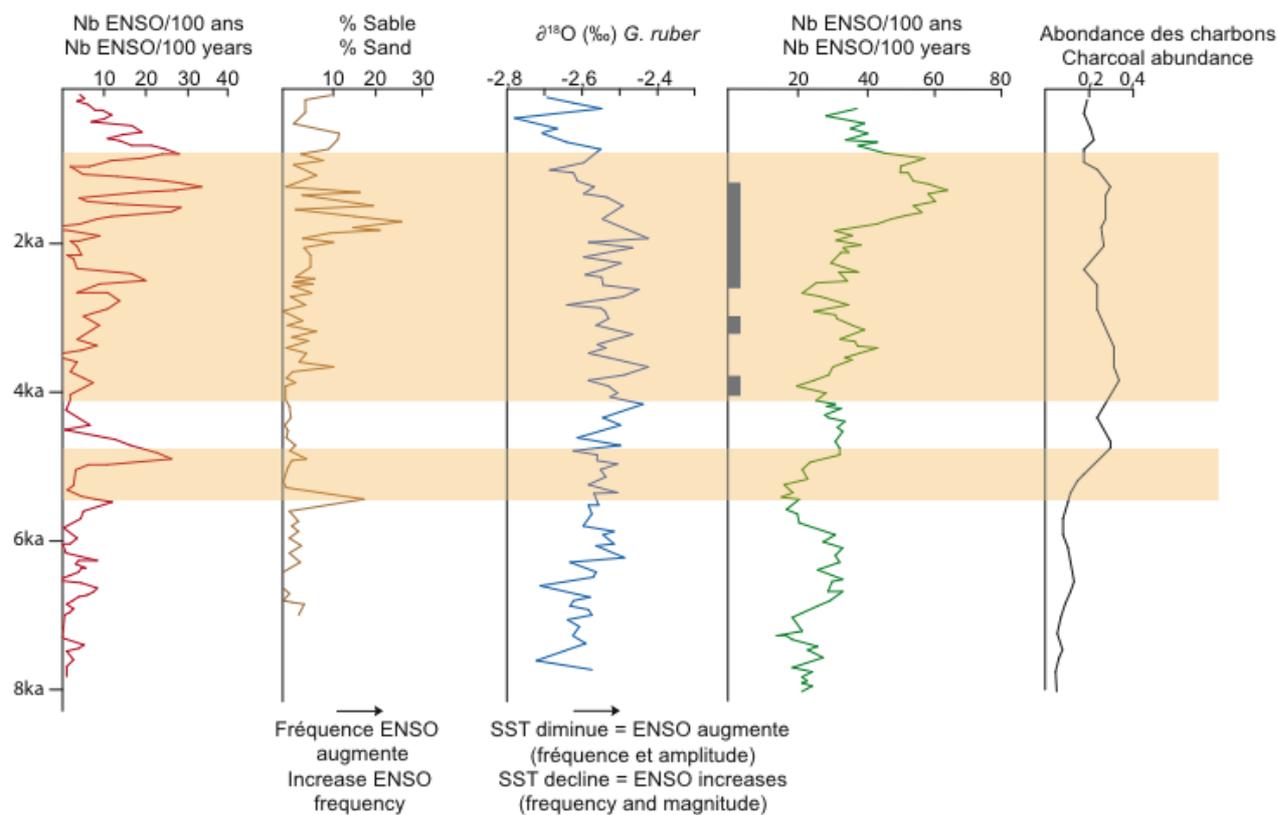
1720

1721 Figure 3 : A) Localisation de la WPWP (isotherme 28°C) en été et en hiver
 1722 austral. L'archipel du Vanuatu est entouré en blanc. La redistribution de
 1723 l'énergie solaire entre l'été et l'hiver modifie le placement des alizés et donc les
 1724 contractions/expansions de la WPWP. B) La convergence d'air chaud et humide
 1725 des alizés de l'hémisphère nord et sud à l'origine de l'ITCZ entraîne de fortes
 1726 précipitations dans cette zone du Pacifique. L'archipel du Vanuatu est entouré en
 1727 orange. Les deux figures sont réalisées d'après Beucher (2010 for a review).

1728

1729 Figure 3: A) WPWP location (28°C isotherm) in austral summer and winter. A
 1730 white circle highlights the Vanuatu archipelago. The solar energy redistribution
 1731 between summer and winter modify the easterly trade wind position and the
 1732 compression/expansion of the WPWP. B) The ITCZ and the strong rainfall in the
 1733 south-west Pacific are due to the convergence of the hot and humid air brought

1734 by the trade winds from the north and south hemisphere. An orange circle
1735 highlights the Vanuatu archipelago. Modified after Beucher (2010 for a review).
1736



1737

1738 Figure 4 : Variation de l'amplitude et/ou de la fréquence d'ENSO au cours de
 1739 l'Holocène moyen et supérieur, obtenue selon différents auteurs et proxies. Les
 1740 deux rectangles orange signalent les périodes d'ENSO importantes observées
 1741 dans tous les graphes. Auteurs et proxies donnés pour les graphes allant de la
 1742 gauche vers la droite :

1743 Moy et al., 2002 : Étude sédimentologique, analyse des couleurs du sédiment,
 1744 Équateur.

1745 Conroy et al., 2008 : Granulométrie associée à de la modélisation, Galápagos.

1746 Brijker et al., 2008 : $\delta^{18}O$ et rapport Mg/Ca de foraminifères planctoniques,

1747 Papouasie-Nouvelle- Guinée.

1748 Gagan et al., 2004 : Rapport Mg/Ca de foraminifères planctoniques, rapport
1749 Sr/Ca et $\delta^{18}\text{O}$ de coraux fossiles et charbons. Comparaison de ces proxies avec
1750 des modèles. Papouasie-Nouvelle-Guinée, Indonésie, Australie, Philippines,
1751 Vanuatu. Les rectangles gris correspondent aux périodes d'ENSO supérieures à
1752 l'actuel.

1753 Haberle et al., 2001 : Comparaison entre charbons et données de la variabilité
1754 d'ENSO, Papouasie-Nouvelle-Guinée.

1755

1756 Figure 4: Mid and late Holocene ENSO frequency and magnitude, according on
1757 the authors and the proxies. The two orange rectangles correspond to important
1758 ENSO periods observed in all the curves. Authors and proxies are given for each
1759 curve from the left to the right:

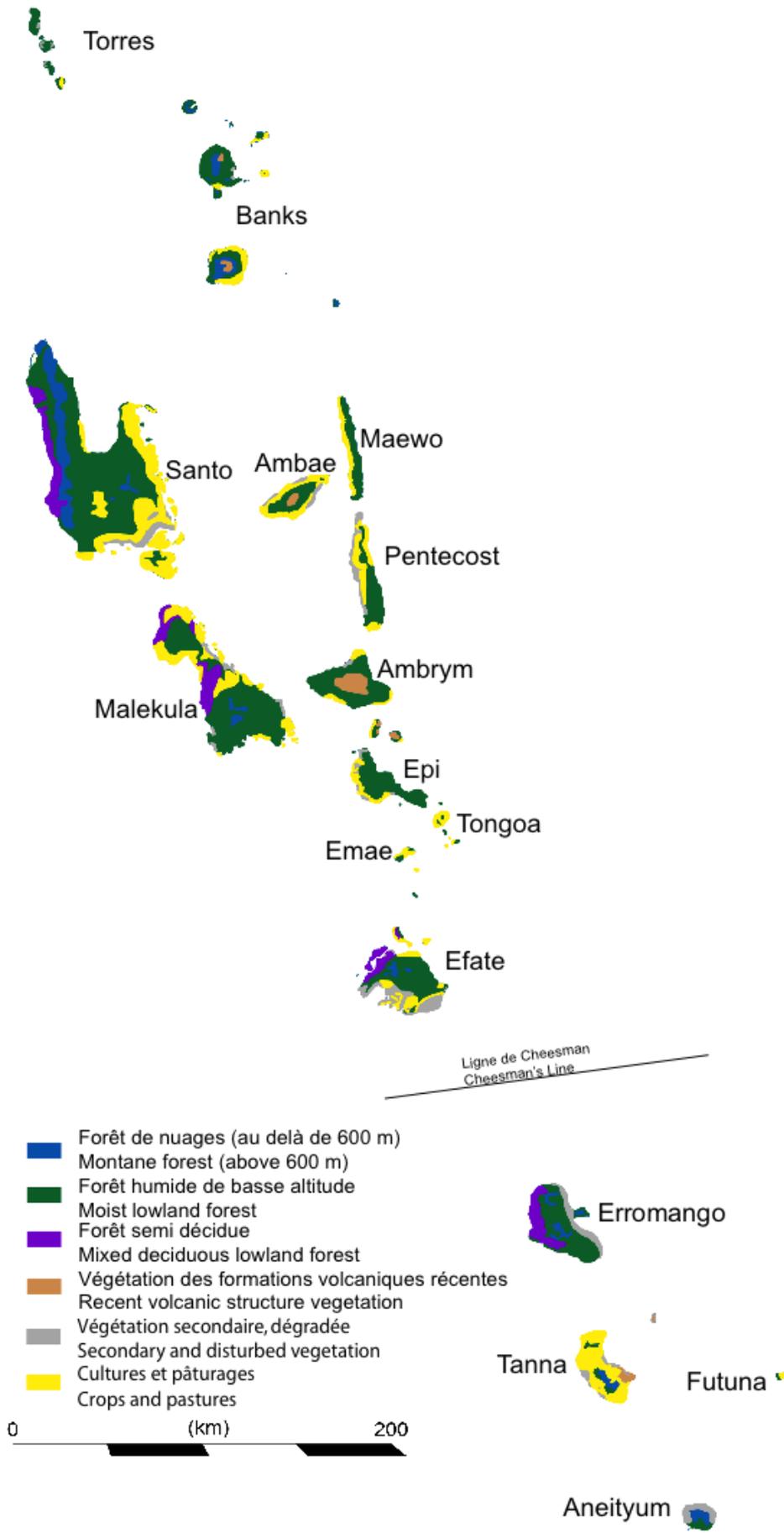
1760 Moy et al., 2002: Sedimentological and colour sediment analyses, Ecuador.

1761 Conroy et al., 2008: Grain size analysis and models, Galapagos.

1762 Brijker et al., 2008: $\delta^{18}\text{O}$, Mg/Ca from planctonic foraminifera, Papua-New-
1763 Guinea.

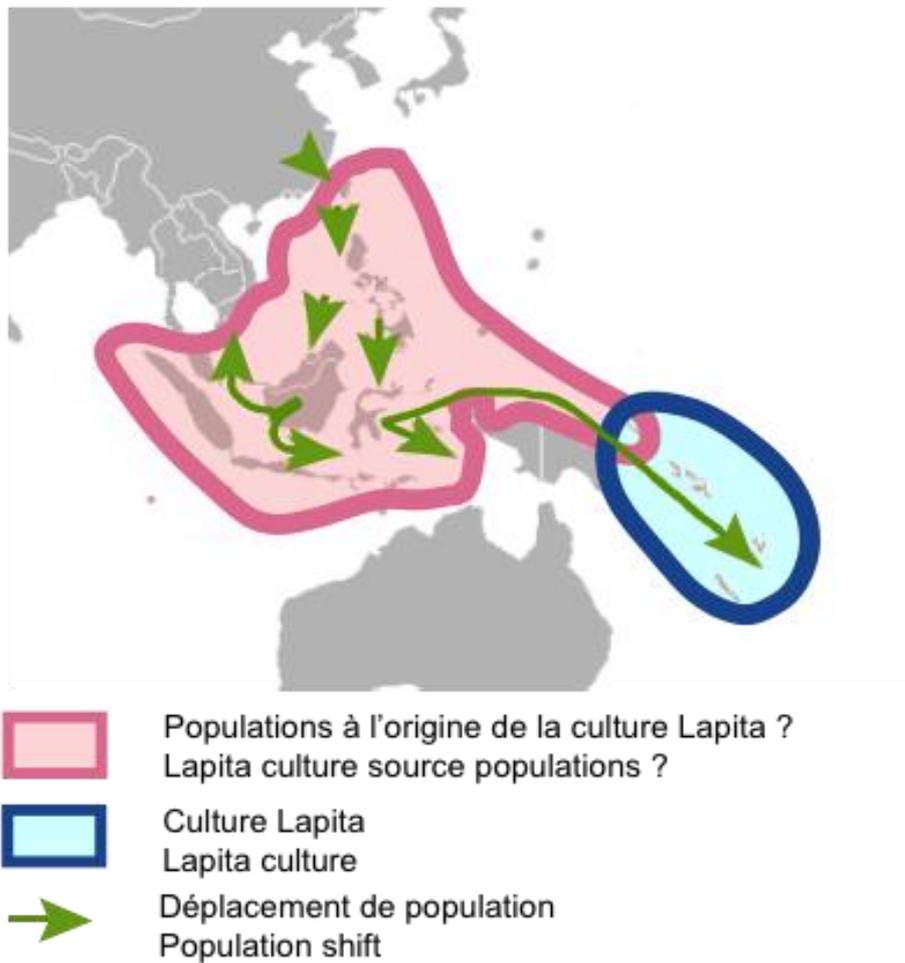
1764 Gagan et al., 2004: Mg/Ca from planctonic foraminifera, Sr/Ca, $\delta^{18}\text{O}$ from coral
1765 and charcoal analysis. These proxies are compared with models. Papua-New-
1766 Guinea, Indonesia, Australia, Philippines, Vanuatu. The grey rectangles
1767 correspond to ENSO variability higher than actual.

1768 Haberle et al., 2001: Comparison between charcoal and ENSO variability data,
1769 Papua-New-Guinea.



1771 Figure 5 : Carte de distribution de la végétation sur l'archipel du Vanuatu. Afin de
1772 ne pas surcharger la carte, les formations végétales locales comme la forêt
1773 littorale ou la forêt alluviale ne sont pas reportées. D'après Aubert (1972-1977),
1774 Siméoni, (2009 for a review) et Wheatley (1992).
1775
1776 Figure 5: Map showing the vegetation distribution in the Vanuatu archipelago. In
1777 order to make it easy to read, local vegetation formations as coastal forest or
1778 riparian forest are not reported on the map. Modified after Aubert (1972-1977),
1779 Siméoni, (2009 for a review) and Wheatley (1992).
1780

1781

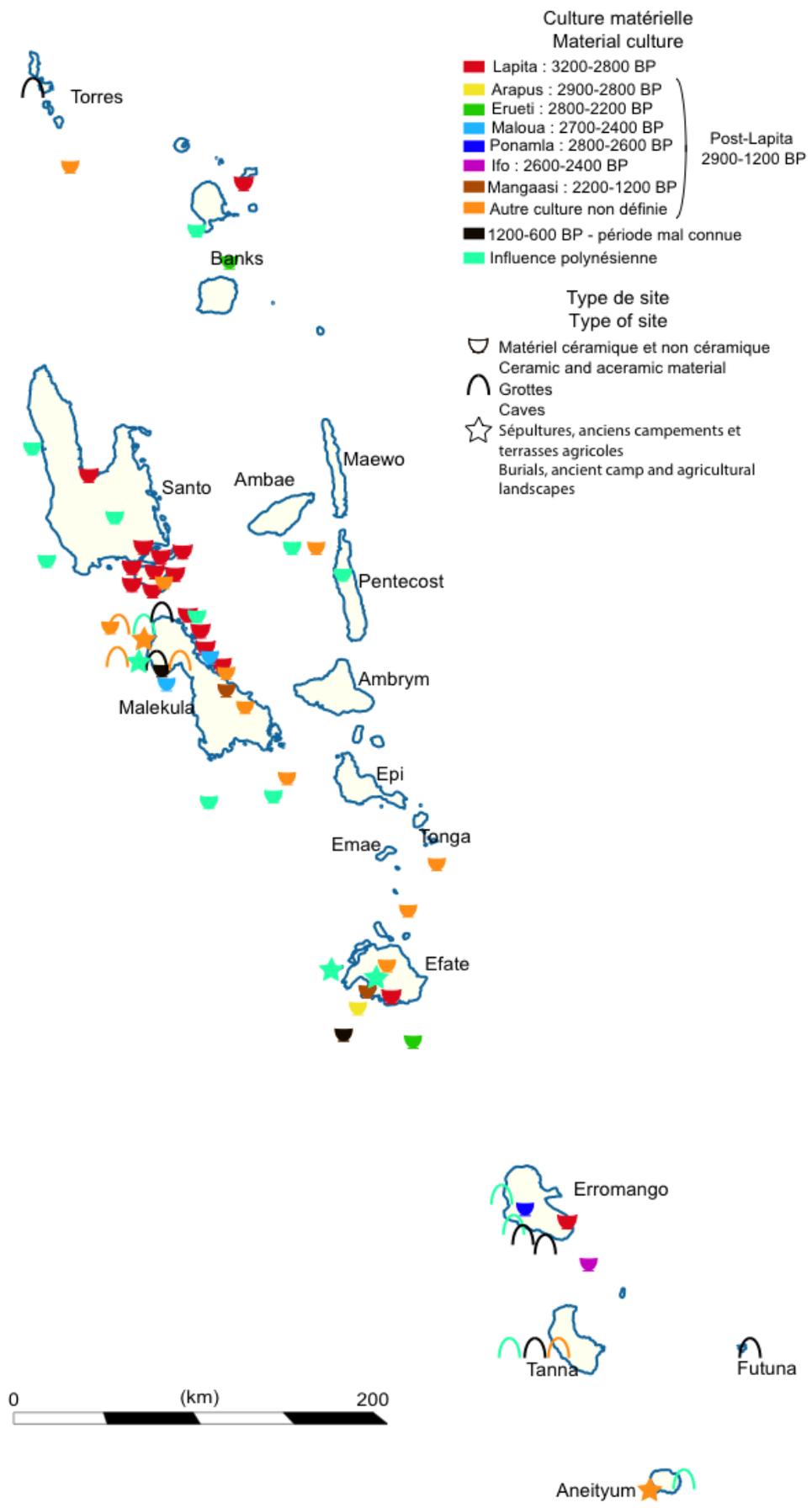


1782

1783 Figure 6 : Origine possible de la culture Lapita et déplacement de populations. Il
1784 est probable que les navigateurs Lapita quittant les îles Bismarck vers 3300 ans
1785 BP soient les descendants des populations parties de Taïwan autour de 5000 ans
1786 BP. La culture de ces derniers aurait évolué dans les îles Bismarck vers la culture
1787 Lapita. D'après Bellwood (2005, 2011), Donohue et Denham (2012 for a review)
1788 Pawley (2002, 2007) et Sand (2010 for a review).

1789

1790 Figure 6: Possible origin of the Lapita culture and population shifts. There may
1791 be a filiations link between population who left Taiwan ca. 5000 yr BP and
1792 Lapita seafarers who left the Bismarck Islands ca. 3300 yr BP. The population's
1793 culture from Taiwan could have been evolved into Lapita culture in the Bismarck
1794 Islands. Modified after Bellwood (2005, 2011), Donohue et Denham (2012 for a
1795 review) Pawley (2002, 2007) and Sand (2010 for a review).



1797 Figure 7 : Sites archéologiques fouillés au Vanuatu, déterminés selon leur âge
1798 (culture) et le type de site. Les sites non datés ne sont pas représentés sur la
1799 carte. D'après Bedford (2006) et Siméoni (2009 for a review).

1800

1801 Figure 7: Type of site and age (culture) of the excavated archaeological sites in
1802 Vanuatu. The undated sites are not presented on the map. Modified after
1803 Bedford (2006) and Siméoni (2009 for a review).

1804