

Le phénomène La Niña et la « catastrophe écologique » de l'île de Pâques

Thierry Delcroix¹, Rodrigo Abarca del Rio², Thierry Corrège³, Bruno Malaize³

- 1 Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales, Cnes / CNRS / IRD / Université de Toulouse, Toulouse
- 2 Département de géophysique, Université de Concepción, Chili
- 3 Environnements et paléo-environnements océaniques et continentaux, CNRS / Université de Bordeaux, Bordeaux

Thierry.Delcroix@legos.obs-mip.fr

Résumé

L'île de Pâques continue à susciter nombre d'interrogations, notamment quant aux origines anthropiques et/ou climatiques des changements écologiques majeurs qui se sont produits à partir du XV^e siècle. Dans cet article, l'analyse combinée d'observations climatiques instrumentales (1982-2015), d'indicateurs paléoclimatiques (1500-2000) et de simulations d'un modèle numérique (850-1850) suggère que des anomalies climatiques associées aux événements La Niña peuvent à elles seules avoir engendré des déficits pluviométriques et hydriques conséquents. Facteurs anthropiques et climatiques doivent donc être analysés de concert pour parfaire notre compréhension des modifications écologiques importantes de l'île de Pâques.

L'île de Pâques est une île chilienne située dans le sud-est de l'océan Pacifique par 27° S de latitude et 109° W de longitude. L'île de forme triangulaire mesure 23 km dans sa plus grande dimension. Elle couvre une superficie de 164 km², soit l'équivalent de la surface de l'île d'Oléron (174 km²). Son point culminant est un cône volcanique, le *Maunga Terevaka*, qui culmine à 507 m d'altitude. Distante de plus de 4200 km de l'île de Tahiti, de plus de 2000 km de l'île de Pitcairn (5 km²) et de plus de 3500 km des côtes du Chili, située dans une région peu pluvieuse, c'est un des lieux habités les plus isolés au monde (figure 1).

L'île de Pâques est particulièrement connue du grand public pour ses statues de pierre monumentales, les moai (figure 2), emblème de l'île, dont la construction et la symbolique continuent à alimenter nombre d'hypothèses, des plus réalistes aux plus folles. L'île est également connue pour d'autres questions, voire énigmes, scientifiques. Nous noterons celle de l'origine et de la chronologie de l'installation des premiers habitants, celle d'un dépeuplement majeur qui aurait atteint son paroxysme à la fin du XIX^e siècle (où ne vivait plus qu'une centaine d'habitants, contre plus de 2500 un siècle plus tôt) ainsi que celle

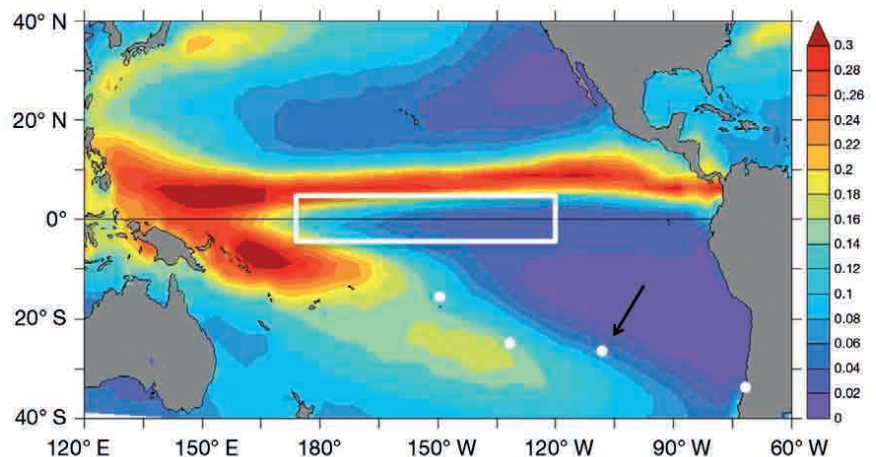


Figure 1. Répartition annuelle moyenne des précipitations (en m/mois) dans l'océan Pacifique tropical. La moyenne a été calculée à partir de données satellitaires (Climate prediction center Merged Analysis of Precipitation ; voir Xie et Arkin, 1998) mensuelles couvrant les années 1982 à 2015. De gauche à droite, les quatre points blancs dans l'hémisphère sud représentent les positions des îles de Tahiti, de Pitcairn et de Pâques (indiquée par une flèche) et la ville de Valparaiso au Chili. Le rectangle blanc délimite la région dite Niño 3.4.

Abstract

La Niña and the drastic ecological change of Easter Island

Easter Island continues to raise many questions, especially regarding the origins of the drastic ecological changes that occurred during the XV to XVIIth centuries. Instrumental observations (1982-2015), paleoclimatic proxies (1500-2000) and the output of a numerical simulation (850-1850) suggest that the occurrence of La Niña events, and the related well-marked rainfall deficit and evapotranspiration increase, could likely be one of the main causes responsible for the drastic ecological changes starting in the XVth century. We thus argue the usually-advocated anthropogenic causes and previously poorly-discussed La Niña-related climatic effects both have to be considered to improve our understanding of the environmental modifications of Easter Island.

d'une déforestation massive qui se serait produite entre le XV^e et XVII^e siècle. Nous savons aujourd'hui, grâce aux analyses génomiques de leurs descendants, que les premiers habitants, arrivés probablement entre le X^e et XII^e siècle, étaient d'origine polynésienne (Hunt et Lipo, 2006). Nous savons également que le dépeuplement marqué du XIX^e siècle est pour l'essentiel imputable à l'absence d'immunité face aux maladies apportées par les premiers Européens et à la déportation de nombreux indigènes par des marchands d'esclaves venus d'Amérique latine. Nous savons par ailleurs que la disparition de plusieurs arbres endémiques s'est produite à partir du XVI^e siècle (Flenley et King, 1984 ; Orliac et Orliac, 1998). Une des hypothèses avancées pour cette disparition fait état d'une surexploitation des ressources naturelles, quoique très paradoxale avec le sens avéré de l'adaptation des habitants (les Pascuans) à un environnement aux ressources très limitées (Jarman *et al.*, 2017). Cette surexploitation supposée, souvent citée à valeur d'exemple de ce qu'il ne faut pas faire, aurait notamment conduit à une «catastrophe écologique» qui aurait atteint son apogée au XVII^e siècle (Diamond, 2005 ; Bahn et Fenley, 2011 ; Rull *et al.*, 2016). Une autre hypothèse quant à cette catastrophe fait état de l'introduction de rats d'origine polynésienne qui ont contrarié la régénération des palmiers (Hunt et Lipo, 2007).

Outre les causes anthropiques, certaines hypothèses ont aussi invoqué des causes climatiques, notamment l'influence du petit âge glaciaire (1400-1800), du minimum d'insolation de Maunder (1645-1715) et/ou du phénomène El Niño oscillation australe (ou *El Niño Southern Oscillation*, Enso) (Orliac et Orliac, 2008 ; Orliac, 2010 ; Nunn *et al.*, 2007). C'est à cette dernière hypothèse que nous allons nous intéresser.

Le phénomène El Niño oscillation australe (Enso)

Le phénomène océan-atmosphère Enso, causé par des interactions naturelles entre l'océan et l'atmosphère, est abondamment décrit dans la littérature (voir Philander, 1989 ; Saint Lu et Leloup, 2016). Il se caractérise (actuellement) par des changements de l'état moyen de l'océan Pacifique tropical environ tous les 2 à 5 ans. En référence à cet état, le phénomène El Niño, phase chaude d'Enso, se traduit en général par des températures de surface de la mer anormalement chaudes et de fortes précipitations dans les parties centrale et orientale de l'océan Pacifique équatorial. À l'inverse, le phénomène La Niña, phase froide d'Enso, se traduit par des températures anormalement froides et un déficit de précipitations dans ces régions. La phase El Niño est également associée à un ralentissement des alizés, voire à des vents d'ouest, alors que la phase La Niña est associée à un renforcement des alizés. Ces changements de vent sont liés à une oscillation est-ouest de grande échelle de la pression atmosphérique au sol : en anglais la *Southern Oscillation*, le «so» de Enso¹.

Grâce à la mise en place de grands programmes internationaux, nous pouvons désormais suivre en temps quasi réel l'évolution des anomalies climatiques associées à Enso dans le Pacifique tropical (McPhaden *et al.*, 1998). Les mécanismes responsables du déclenchement et de la quasi-périodicité d'Enso sont également



Figure 2. Moai de la carrière de Rano Raraku en février 2013 (reproduite avec l'aimable autorisation de Sophie Cravatte). Les têtes mesurent environ 2,5 mètres.

1. Pour un schéma didactique d'Enso, voir Fieux (2010) ou <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/comprendre-le-climat-mondial/el-ninola-nina>.

relativement bien compris (Wang et Picaut, 2004). Néanmoins, Enso suscite toujours de nombreuses interrogations, fruits de recherches en cours, notamment quant aux causes de sa diversité en amplitude, durée, fréquence et signature spatiale, quant à sa prévisibilité et, notamment, son devenir dans un monde qui se réchauffe (voir Saint Lu et Leloup, 2016). Plusieurs indicateurs, corrélés (ou anti-corrélés) entre eux, nous permettent d'évaluer en partie cette diversité à partir d'observations, *in situ* et satellitaires, recueillies au cours des dernières décennies. Nous trouvons ainsi des indicateurs atmosphériques (tel l'indice d'oscillation australe ou SOI: *Southern Oscillation Index*), océaniques (telles les anomalies de la température de surface de la mer dans des régions équatoriales bien particulières), ou combinant plusieurs variables océaniques et atmosphériques (voir Hanley *et al.*, 2003; Trenberth, 1984; Wolter et Timlin, 2011). Ainsi, l'indicateur SST²-NIÑO3.4, couramment utilisé, quantifie la phase et l'amplitude des anomalies observées de la température de surface de la mer moyennées sur une région géographique dite NIÑO3.4 (5° N-5° S, 170° W-120° W, voir figure 1). Cet indicateur SST-NIÑO3.4, anti-corrélé avec le SOI, est donc positif en situation El Niño et négatif en situation La Niña. Nous l'utiliserons comme indicateur d'Enso dans les paragraphes qui suivent.

Les anomalies océaniques, atmosphériques et environnementales associées à Enso sont aujourd'hui relativement bien documentées. Elles affectent la quasi-totalité de la planète, en général à des degrés moindres au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la bande équatoriale de l'océan Pacifique (Glantz, 1996). À partir d'analyses à l'échelle du globe, Trenberth et Caron (2000) et Yan *et al.* (2011) montrent notamment une bonne corrélation entre le SOI et les précipitations de la région du Pacifique sud-est (dont l'île de Pâques), avec une augmentation des pluies pendant El Niño et *vice versa* pendant La Niña. Pour ce qui concerne l'île de Pâques *stricto sensu*, située à environ 3000 km de l'équateur, les quelques résultats publiés analysant l'influence des événements Enso du XX^e siècle concluent à l'absence de lien entre la phase chaude El Niño et les anomalies climatiques de l'île (McIntyre, 2001; Genz et Hunt, 2003). De manière surprenante, il y a très peu de travaux publiés relatifs à la phase

froide La Niña. Nous allons donc essayer d'y voir plus clair en analysant à la fois les phases chaudes et froides, à partir de données instrumentales modernes couvrant les années 1982 à 2015. Nous utiliserons pour ce faire trois variables climatiques clefs:

- la température de surface de la mer (Reynolds *et al.*, 2007);
- les précipitations telles qu'issues de données satellitaires (CMAP: Xie et Arkin, 1998), de ré-analyses (ERA-I: Dee *et al.*, 2011) et de mesures *in situ* collectées à la station officielle de Mataveri (27°09 S, 109°25 W, z=69 m);
- le vent de surface (ERA-I: pris à 10 m).

Nos analyses seront complétées par l'utilisation de reconstructions paléoclimatiques (1500-2000) et de simulations numériques du dernier millénaire (Braconnot *et al.*, 2011).

Aperçu du climat actuel et de l'influence d'Enso (1982-2015)

Les conditions météorologiques moyennes de l'île de Pâques sont décrites dans de nombreux ouvrages scientifiques (voir Hajek et Espinoza, 1987). Examinons les conditions météorologiques moyennes des années 1982-

2015 pour nos trois variables clefs. Les eaux de surface de la mer ont une température moyenne de 22,7 °C, avec un cycle annuel présentant un maximum (25,4 °C) en mars, à la fin de l'été austral, et un minimum (20,5 °C) en septembre (figure 3). Les précipitations (CMAP) moyennes, parmi les plus faibles du Pacifique tropical (figure 1), sont de l'ordre de 7 cm par mois, soit 0,84 m/an, avec un maximum (11,4 cm) en mai et un minimum (3 cm) en décembre (figure 3). Les précipitations ERA-I et celles relevées *in situ* à la station de Mataveri, non détaillées ici, présentent le même cycle annuel avec toutefois des valeurs moyennes légèrement supérieures, 0,77 m/an pour ERA-I, 1,1 m/an pour Mataveri, cette dernière valeur reflétant probablement les effets liés à l'altitude de l'île. Les vents de surface moyens sont quasi zonaux, orientés E NE (au 80°) avec une vitesse de 5,7 m/s (11 nœuds). On notera, pour mémoire, que l'évapotranspiration augmente avec la vitesse du vent (Allen *et al.*, 1998). Ce processus, favorable à la sécheresse, induit en effet des pertes d'eau à la surface du sol par évaporation et dans les plantes par transpiration; nous y reviendrons.

Bien que pour l'essentiel responsables de la variabilité des conditions météorologiques de l'île, les cycles annuels

2. SST = Sea Surface Temperature.

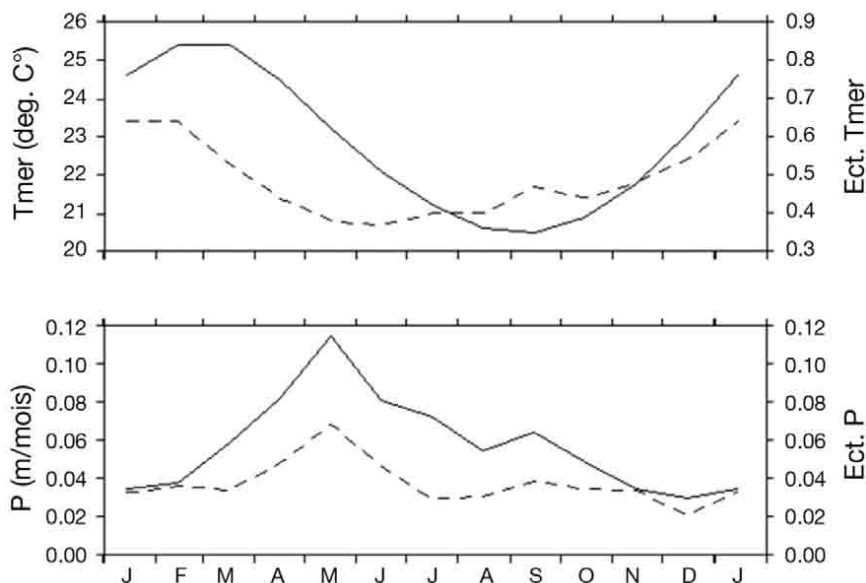


Figure 3. Cycles annuels moyens (traits pleins, échelles de gauche) de la température de surface de la mer (en haut), des précipitations (CMAP, en bas) et des écart-types mensuels associés (traits pointillés, échelles de droite). Les cycles moyens ont été calculés dans un carré de 100 km de côté centré sur l'île de Pâques à partir de données mensuelles couvrant les années 1982 à 2015.

moyens présentés ci-dessus ne se reproduisent pas à l'identique d'une année sur l'autre. C'est notamment le cas en précipitation puisque les écart-types mensuels s'échelonnent entre 50 et 100 % de la valeur moyenne (figure 3). Pour mieux le quantifier dans le temps, la figure 4a-c présente les séries temporelles des anomalies interannuelles au cours des années 1982 à 2015. En d'autres termes, cette figure nous montre en quoi ces années diffèrent des années types présentées sur la figure 3. En comparant ces anomalies interannuelles à l'indice SST-NIÑO3.4, nous montrons qu'elles sont toutes corrélées au phénomène Enso, à des degrés divers ($R = -0,29$ à $+0,60$; les valeurs de R supérieures à 0,35 en valeur absolue sont significatives à 95 %) (noter que l'utilisation du SOI au lieu de la SST-NIÑO3.4 ne changerait pas nos conclusions). Ainsi, en général, au cours des événements La Niña (indice

SST-NIÑO3.4 < 0), nous observons une hausse de l'ordre de 0,5 °C de la température de surface de la mer, une baisse de l'ordre de 2 cm/mois des précipitations et une augmentation (avec 6 mois d'avance) de l'ordre de 1 m/s du vent zonal. Des anomalies de signe contraire sont en général observées pendant les événements El Niño (indice SST-NIÑO3.4 > 0). L'origine du désaccord entre nos résultats et ceux de Genz et Hunt (2003) et McIntyre (2001) sera discutée dans l'avant-dernier paragraphe. En valeur relative, par rapport à la moyenne, la hausse de la température de surface de la mer en période La Niña est donc très faible (+2 %), *a priori* sans conséquence majeure, alors que la baisse des précipitations (d'environ 35 %) et l'augmentation des vents zonaux (d'environ 15 %) semblent vraiment conséquentes. Les événements La Niña, très peu analysés dans la littérature à l'échelle régionale

par rapport aux événements El Niño, semblent donc à même d'induire des modifications environnementales conséquentes en termes de déficit pluviométrique et d'augmentation de l'évapotranspiration. Mais qu'en est-il des événements La Niña des siècles passés, notamment au cours de la période supposée de la catastrophe écologique de l'île de Pâques ?

Aperçu des Enso du passé (1550-2000)

Des informations sur les événements Enso du passé peuvent être obtenues, d'une part de manière qualitative, à partir de documents historiques (Ortlieb, 2000), d'autre part de manière quantitative, à partir d'indicateurs (on parle de *proxies*) paléoclimatiques, tels que la croissance des cernes d'arbres (souvent situés hors Pacifique tropical) ou de biomarqueurs tels que les coraux du Pacifique (Corrège, 2006). L'occurrence d'événements El Niño du passé a ainsi pu être analysée dans de nombreux articles scientifiques. Cependant, à notre connaissance, seuls quelques articles nous apportent des informations sur la fréquence des événements La Niña du XVI^e au XVIII^e siècle. Nous pouvons quantifier la fréquence relative de ces événements en les dénombrant par période de 30 ans, durée couramment utilisée en météorologie pour définir un climat moyen. Ainsi, notre analyse de plusieurs indicateurs paléoclimatiques décrits par Gergis et Fowler (2009) sur l'ensemble du Pacifique nous révèle l'existence d'événements La Niña fréquents (disons plus de 15 en 30 ans) et énergétiques au cours de trois périodes de temps: la première centrée sur la fin du XVI^e siècle, la deuxième un peu avant le milieu du XVII^e siècle et la troisième un peu avant le milieu du XVIII^e siècle (figure 5).

La première période comprend 16 événements sur 30 ans entre 1560 et 1589, dont un événement exceptionnellement long de 6 ans entre 1576 et 1581 (voir Gergis et Fowler, 2009).

La deuxième période comprend 21 événements sur 30 ans entre 1622 et 1651, dont un événement exceptionnellement long de onze ans entre 1622 et 1632. En accord avec ces

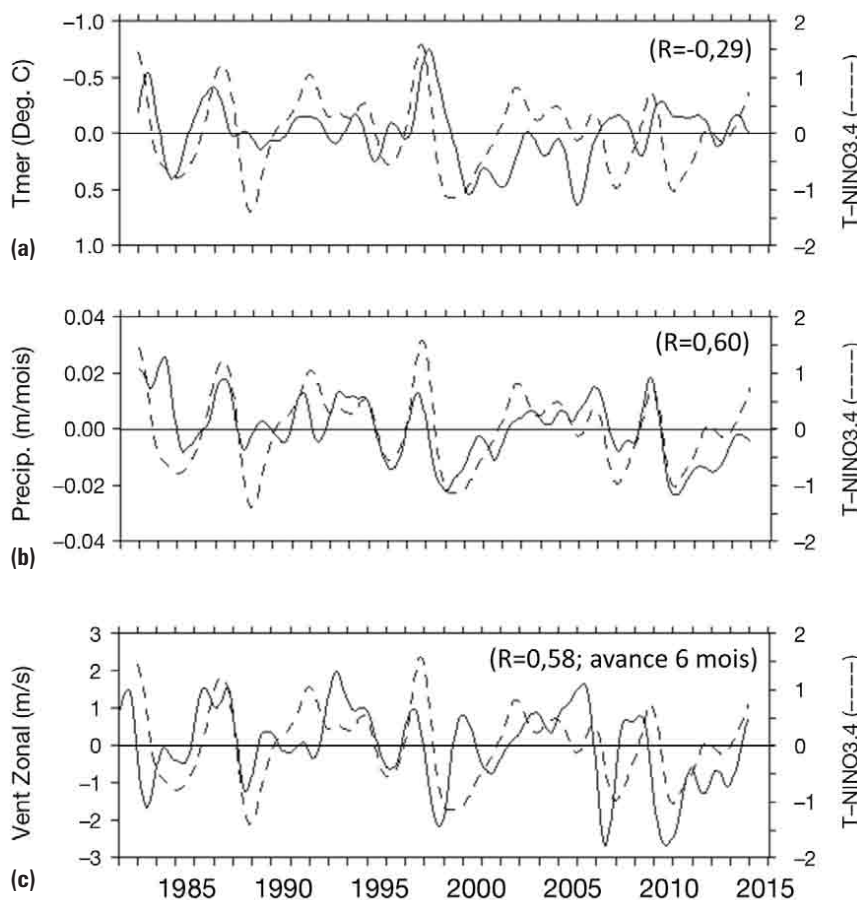


Figure 4. Anomalies interannuelles (traits pleins, échelles de gauche) de (a) la température de surface de la mer, (b) des précipitations (CMAP) et (c) du vent zonal à 10 m (négatif vers l'ouest). Noter que l'échelle verticale est inversée pour la température de surface. Les courbes en traits pointillés (échelles de droite) représentent les anomalies de la température de surface de la mer dans la région NIÑO3.4 (en °C). Les valeurs de R caractérisent les coefficients de corrélation maximum (et l'avance associée pour le vent) entre les deux séries temporelles. Toutes les séries ont été lissées avec un filtre temporel qui réduit de 90 % les variations inférieures ou égales à une année.

résultats, Cobb *et al.* (2003) montrent une plus forte activité La Niña au milieu du XVII^e siècle en analysant les coraux de l'île de Palmyra (6° N-162° W) située non loin de la boîte NIÑO3.4. De manière cohérente, Yan *et al.* (2011) concluent à la prépondérance de périodes de type La Niña entre 1400 et 1850, à partir d'une reconstruction du SOI basée sur l'estimation des anomalies de précipitation à l'ouest et à l'est du Pacifique équatorial.

La troisième période, centrée sur le milieu du XVIII^e siècle, inclut pas moins de 20 événements La Niña au cours de chacune des deux périodes de 30 ans, 1724-1753 et 1754-1783, dont un épisode exceptionnellement long de 9 ans entre 1750 et 1758 et un autre de 5 ans entre 1739 et 1743.

Coïncidence troublante, c'est au cours de la deuxième période, riche en événements La Niña, que s'est produite une modification majeure du couvert végétal de l'île de Pâques, avec une prépondérance d'herbacées aux dépens de ligneux, mise en évidence à partir d'analyses de fragments calcinés de végétaux dans des fours culinaires (Orliac et Orliac, 1998; Orliac, 2003). C'est aussi au cours de la troisième période que les premiers Européens font de très courtes escales à l'île de Pâques (figure 5) et y soulignent une nourriture abondante, mais le manque d'eau potable suffisante (De Lesseps, 1831; Beaglehole, 1961). Si nous négligeons l'augmentation possible des précipitations au cours des événements El Niño intercalaires (figure 5), nous ne pouvons donc pas négliger, *a priori*, l'hypothèse d'une relation de causes à effets entre fréquence accrue et durée inhabituelle des événements La Niña, déficit pluviométrique, augmentation de l'évapotranspiration (liée à la vitesse accrue du vent), sécheresse et *in fine* « catastrophe écologique ».

Ce que peuvent nous suggérer les modèles

En complément d'indicateurs paléoclimatiques, la variabilité climatique des siècles passés peut être estimée à partir de simulations numériques du climat. Nous pouvons ainsi examiner la variabilité climatique au voisinage de l'île de Pâques dans

plusieurs simulations numériques globales du dernier millénaire (850-1850), telles qu'obtenues dans le cadre du projet PMIP (Paleoclimate Modeling Intercomparaison Project; voir Braconnot *et al.*, 2011; Khodri *et al.*, 2015). À titre d'exemple, la figure 6 présente les variations de précipitations déduites du modèle de l'Institut Pierre-Simon Laplace (version dite IPSL-CM5A-LR; Dufresne *et al.*, 2003; Saint-Lu, 2015) pour les années 1500 à 1700. La valeur moyenne (0,79 m/an) est proche de la valeur actuelle discutée ci-dessus (0,84 pour CMAP, 0,77 pour ERA-I, 1,1 m/an pour Mataveri). Bien que nous ne devions pas nous attendre à ce que ce type de modèle reproduise fidèlement la variabilité climatique à l'échelle régionale, il simule néanmoins deux périodes remarquables de déficit pluviométrique, l'une au milieu du XVI^e siècle et l'autre au milieu du XVII^e. La durée des périodes déficitaires est globalement en accord avec les effets attendus du nombre et de

la durée inhabituels des événements La Niña déduits des indicateurs paléoclimatiques décrits précédemment (figure 5). L'analyse d'autres simulations numériques (CCSM4, GISS et MPI, avec et sans forçage volcanique), non détaillées ici, ne nous a cependant pas permis de confirmer cette baisse des précipitations à l'échelle régionale, ni surtout de les attribuer sans ambiguïté à une fréquence accrue des événements La Niña, les valeurs des différentes simulations étant peu cohérentes les unes avec les autres. Il est probable que la mauvaise représentation de la zone de convergence du Pacifique Sud, siège de fortes précipitations (qui s'étend de la Papouasie-Nouvelle-Guinée en direction de Tahiti et de Pitcairn sur la figure 1), beaucoup trop zonale et trop étendue vers l'est dans nombre de ces modèles, soit à l'origine des différences des précipitations simulées au voisinage de l'île de Pâques (voir aussi Junk et Claussen, 2011; Saint-Lu *et al.*, 2015).

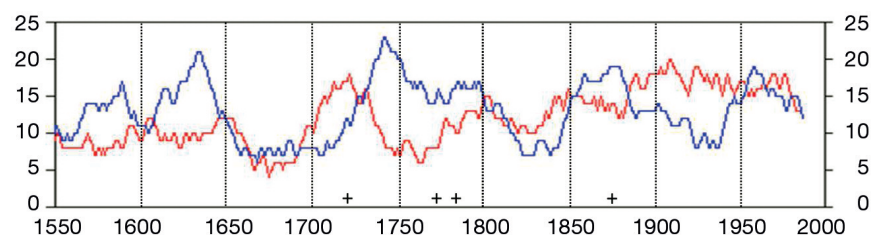


Figure 5. Nombre d'événements El Niño (en rouge) et La Niña (en bleu) par période glissante de 30 ans, tel que calculé à partir des reconstructions paléoclimatiques de Gergis et Fowler (2009). Les signes + sur l'axe des temps indiquent les courtes escales de Roggeveen (le jour de Pâques 1722), Cook (1774), La Pérouse (1786) et Loti (1872).

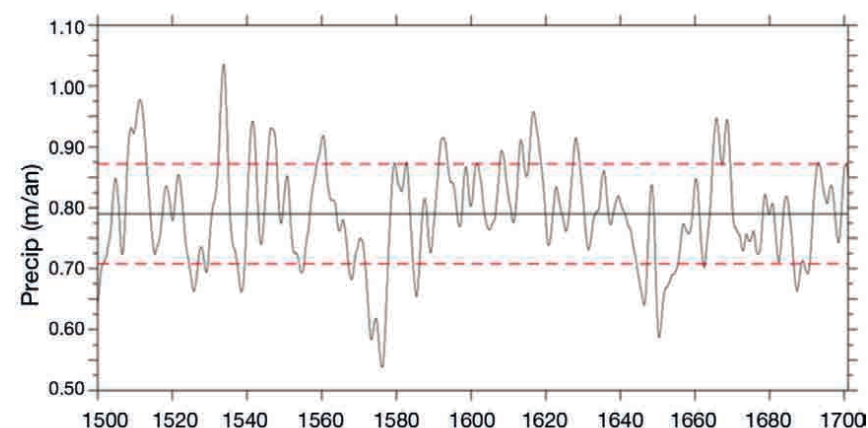


Figure 6. Variabilité des précipitations (m/an) au voisinage de l'île de Pâques, telles que simulées par le modèle IPSL-CM5A-LR (point de grille à 27,5° S-108,75° W) dans le cadre du projet PMIP. La ligne noire horizontale et les deux lignes rouges en pointillé représentent la valeur moyenne plus ou moins un écart-type calculée sur les années 1500 à 1700. Par souci de clarté, la série temporelle des précipitations a été lissée avec un filtre temporel qui réduit de 90 % les variations inférieures ou égales à deux années.

Discussion et conclusions

Nous avons mis en évidence que les événements Enso, phase chaude (El Niño) et phase froide (La Niña), se traduisent par de fortes anomalies relatives des précipitations et du vent de surface au voisinage de l'île de Pâques au cours des trois dernières décennies. Ces résultats, en précipitation, semblent ne pas totalement concorder avec ceux de MacIntyre (2001) et Genz et Hunt (2003), ces auteurs concluant à l'absence d'effets significatifs d'Enso. On notera cependant que les conclusions de MacIntyre (2001), qui ne concernent que les événements El Niño, se basent surtout sur une carte des précipitations moyennées sur une durée de 9 ans, pour les années 1985 à 1993. Il s'agit d'une période courte, très spécifique, au cours de laquelle nous observons effectivement une faible corrélation entre anomalies de précipitation et indice SST-NINO3.4. De leur côté, Genz et Hunt (2001) concluent à l'absence de corrélation ($R=0,088$) entre les valeurs mensuelles des précipitations relevées *in situ* au cours des années 1950 à 2000 et le *Multivariate ENSO Index* (Wolter et Timlin, 2011). Ils soulignent cependant une baisse des précipitations (moyennées sur 17 mois) dans les huit mois qui suivent les sept événements La Niña des années 1950-2000. Notre analyse détaillée des données de Genz et Hunt (2001) montre que les mesures (fournies à l'époque au format papier dans leur annexe 2) incluent en réalité des observations provenant de plusieurs stations, dont Mataveri et Vaitea, aux comportements assez différents. En utilisant uniquement les données *in situ* de la station officielle de Mataveri des années 1982 à 2015, notre analyse montre qu'il existe bel et bien une relation ($R=0,3$) entre anomalies interannuelles des précipitations et indice SST-NINO3.4, avec une meilleure corrélation ($R=0,47$) sur les années récentes 2001-2015. Si nous regardons attentivement la figure 4b (réalisée avec les données CMAP), nous observons également une plus faible corrélation ($R=0,45$) sur les années 1982-2000 que sur les années 2001-2015 ($R=0,73$), peut-être en lien avec l'hypothèse d'un changement dans les caractéristiques d'Enso au début du XXI^e siècle (McPhaden, 2012). Utiliser des données satellitaires (CMAP), des données issues de ré-analyses (ERA-I), des observations collectées *in situ* (Mataveri), analyser des périodes

différentes, peut visiblement conduire à des conclusions sensiblement différentes. Une étude statistique approfondie (en cours) prenant en compte les différentes durées et périodes analysées ainsi que les qualités et erreurs respectives de chaque type de données (Sun *et al.*, 2017) nous permettra probablement de mieux comprendre les causes de ces différences.

Pour résumer, l'analyse des observations satellitaires des années 1982 à 2015 montre un déficit de pluie de l'ordre de 35 % et une augmentation des vents zonaux de l'ordre de 15 % par rapport à la moyenne annuelle aux cours des événements La Niña. Sur ces trois dernières décennies, ces événements ont eu une durée moyenne de 1-2 ans, l'événement le plus long ayant duré environ 4 années entre 1998 à 2002 (le précédent de durée supérieure ou égale à 4 ans a eu lieu il y a plus d'un siècle entre 1907 et 1911). Si nous faisons l'hypothèse que ces anomalies sont transposables aux siècles passés, la fréquence accrue et la durée inhabituelle (jusqu'à 11 ans entre 1622 et 1632) des événements La Niña du XVI^e au XVIII^e siècle, telles que déduites d'indicateurs paléoclimatiques, pourraient donc bien avoir été catastrophiques en cumulant année après année déficit pluviométrique et pertes d'eau des sols et des plantes par évapotranspiration (liée à l'augmentation de la vitesse du vent). Ces impacts seraient d'autant plus forts qu'il existe (au moins pour le XX^e siècle) une relation quasi linéaire entre amplitude et durée des événements La Niña : plus ces événements sont longs, plus les anomalies sont importantes (Wolter et Timlin, 2011). Il est en effet physiquement réaliste que des événements de fortes amplitudes prennent du temps à se dissiper. La baisse de température associée au petit âge glaciaire a, de surcroît, probablement amplifié les impacts négatifs du déficit pluviométrique et de l'augmentation des vents sur la flore, la partie importée de Polynésie (région beaucoup plus chaude et humide) étant peu adaptée à des conditions plus froides et moins pluvieuses. Quoi qu'il en soit, il nous semble essentiel, à l'avenir, que les événements La Niña inhabituels des XVI^e aux XVIII^e siècles soient pris en compte, en synergie avec les causes anthropiques, pour parfaire notre compréhension des processus

responsables de la « catastrophe écologique » de l'île de Pâques. La continuité des observations actuelles, l'analyse des archives météorologiques du XX^e siècle (en cours), l'amélioration constante des simulations numériques du passé, de la qualité et du nombre croissant des indicateurs paléoclimatiques, couplée aux recherches archéologiques et anthropologiques, nous apporteront à n'en pas douter de nouveaux éléments dans les années à venir.

Fort de ces conclusions, nous pensons qu'une perspective intéressante serait d'évaluer les effets cumulés des déficits pluviométriques et hydriques liés aux événements La Niña en les introduisant comme termes de forçage dans un modèle de végétation régionale, la difficulté étant de tester la sensibilité du métabolisme de la flore endémique aujourd'hui disparue. Pour terminer, en dépit de la sensibilité écologique et de l'adaptabilité exceptionnelles des Pascuans, à l'opposé des comportements actuels par trop consuméristes, cette étude nous rappelle, si besoin était, que la variabilité naturelle du climat (ici liée aux événements La Niña) peut – potentiellement à elle seule – induire des catastrophes écologiques irréversibles dans un milieu fragile pour peu que les anomalies associées sortent de l'ordinaire en termes de fréquence et d'amplitude. C'est ce que nous qualifions d'événement extrême qui, de manière générale, sont en train de se multiplier avec le réchauffement climatique.

Remerciements

Cette étude fut motivée par la tenue de l'exposition « Îles de Pâques, le nombril du monde ? » qui s'est ouverte au Museum de Toulouse à l'été 2018. Des échanges enrichissants avec Nicolas Cauwe, Sophie Cravatte, Fabien Laty et Michel Orliac ont stimulé nos réflexions et *in fine* permis d'améliorer la rédaction du manuscrit. L'accès aux simulations PMIP a été facilité par Pascale Braconnot et Jean-Yves Peterschmitt. Les mesures de précipitation *in situ* obtenues à la station officielle de Mataveri ont été obtenues gracieusement auprès de la Direction nationale de la météorologie du Chili. Des commentaires constructifs des deux rapporteurs et de l'éditeur ont été appréciés.

Bibliographie

- Allen G., Pereira L., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper N° 56, FAO, Rome, Italie, 15 p.
- Bahn P., Fenley J., 2011. *Easter Island. Earth Island*. Santiago de Chile, Rapanui Press, 376 p.
- Beaglehole J.C. (éd.), 1961. The Journals of Captain James Cook – volume 2 – *The Voyage of the Resolution and Adventure (1772-1775)*. Cambridge University Press, 1028 p.
- Braconnot P., Harrison S., Otto-Bliesner B., Abe-Ouchi A., Jungclaus J., Peterschmitt J.-Y., 2011. The Paleoclimate Modeling Intercomparison Project contribution to CMIP5. *Clivar Exchanges*, 56-16, 15-19.
- Cobb K., Charles C., Cheng H., Edwards R., 2003. El Niño/Southern Oscillation and tropical Pacific climate during the last millennium. *Nature*, 424, 271-276. doi: 10.1038/nature01779
- Corrège T., 2006. Sea surface temperature and salinity reconstruction from coral geochemical tracers. *Paleog. Paleoc. Paleo.*, 232, 408-428. doi: 10.1016/j.palaeo.2005.10.014
- Dee D.P. et al., 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 137, 553-597. doi: 10.1002/qj.828
- de Lesseps J.B.B., 1831. *Voyage de La Pérouse*; rédigé d'après ses manuscrits originaux, suivi d'un appendice renfermant tout ce que l'on a découvert depuis le naufrage jusqu'à nos jours. Paris, Arthus Bertrand, 436 p.
- Diamond, J.M., 2005. *Collapse: How societies choose to fail or succeed*. New York: Viking, 575 p.
- Dufresne et al., 2013. Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5. *Clim. Dyn.*, 40, 2123-2165. doi: 10.1007/s00382-012-1636-1
- Fieux M., 2010. *L'océan planétaire*. Les Presses de l'ENSTA, Paris, 420 p.
- Genz J., Hunt T., 2003. El Niño/Southern Oscillation and Rapa Nui prehistory. *Rapa Nui Journal*, 17, 7-14.
- Gergis J., Fowler A., 2009. A history of ENSO events since A.D. 1525: implications for future climate change. *Clim. Change*, 92, 343-387.
- Glantz M., 1996. *Currents of change. El Niño's impact on climate and society*. Cambridge University Press, 194 p.
- Hajek E., Espinoza G.A., 1987. *Meteorología, climatología y bioclimatología de las Islas Oceanicas Chilenas*. Islas Oceanicas Chilenas, J.C. Castilla (Ed). Ediciones Universidad Catolica de Chile, p. 55-83.
- Hanley D., Bourassa M., O'Brien J.J., Smith S., Spade E., 2003. A quantitative evaluation of ENSO indices. *J. Clim.*, 16(8), 1249-1258, doi: 10.1175/1520-0442(2003)16<1249:AQEOEI>2.0.CO;2
- Hunt T., Lipo C., 2006. Late colonization of Easter Island. *Science*, 311, 1603-1606. doi: 10.1126/science.1121879
- Hunt T., Lipo C., 2007. Chronology, deforestation, and "collapse": evidence vs. faith in Rapa Nui Prehistory. *Rapa Nui Journal*, 21/2, 85-97.
- Jarman C. et al., 2017. Diet of the prehistoric population of Rapa Nui (Easter Island, Chile) shows environmental adaptation and resilience. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 164, 343-361. doi: 10.1002/ajpa.23273
- Junk C., Claussen M., 2011. Simulated climate variability in the region of Rapa Nui during the last millenium. *Clim. Past*, 7, 579-586. doi: 10.5194/cp-7-579-2011
- Khodri M. et al., 2015. Le climat du dernier millénaire. *La Météorologie*, 88, 36-47.
- McIntyre F., 2001. ENSO, climate variability, and the Rapa Nui, part II. Oceanography and Rapa Nui. *Rapa Nui Journal*, 15, 83-94.
- McPhaden M. et al., 1998. The Tropical Ocean – Global Atmosphere observing system: a decade of progress. *J. Geophys. Res.*, 103, C7, 14,169-14,240. doi: 10.1029/97JC02906
- McPhaden M., 2012. A 21st century shift in the relationship between ENSO SST and warm water volume anomalies. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L09706, 1-5. doi: 10.1029/2012GL051826
- Nunn P., Hunter-Anderson R., Carson M.T., Thomas F., Ulm S., Rowland M.J., 2007. Time of plenty, time of less: Last millennium societal disruption in the Pacific Basin. *Hum. Ecol.*, 35, 385-401. doi: 10.1007/s10745-006-9090-5
- Orliac C., 2003. Ligneux et palmiers de l'île de Pâques du XI^e au XVII^e siècle de notre ère. In Orliac C. (ed.). *Archéologie en Océanie Insulaire: Peuplement, Sociétés et Paysages*. Edition Artcom, Paris, 184-199.
- Orliac M., 2010. Pourquoi voulez-vous que ces gens aient coupé tous leurs arbres? In : *Île de Pâques. Le grand voyage*. Montréal, Pointe-à-Callière (Musée d'Archéologie et d'Histoire de Montréal), 92-97.
- Orliac C., Orliac M., 1998. The disappearance of Easter Islands' forest: over-exploitation or climatic catastrophe? In: *Easter Island in Pacific Context*. Proceedings of the 4th International Conference on Easter Island and East Polynesia. Eastern Island Fondation, 4, 129-144.
- Orliac M., Orliac C., 2008. Trésors de l'île de Pâques. Collection de la congrégation des Sacrés Cœurs de Jésus et de Marie SS CC. Paris, Louise Leiris & D, 288 p.
- Ortlieb L., 2000. *The documented historical record of El Niño events in Peru: an update of the Quinn record (XVI^e to XIX^e centuries)*. Cambridge University Press, 207-295.
- Philander G., 1989. *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*. Academic Press, Inc. International Geophys. Series, 46, 293 p.
- Reynolds R., Smith T., Liu C., Chelton D., Casey K., Schlax M., 2007. Daily high-resolution blended analyses for sea surface temperature. *J. Clim.*, 20, 5473-5496. doi: 10.1175/2007JCLI1824.1
- Rull V., Canellas-Bolta N., Margalef O., Pla-Rabes S., Saez A., Giral S., 2016. Climate changes and cultural shifts on Easter Island during the last three millenia. *Pages Mag.*, 24/2, 70-71
- Saint-Lu M., 2015. Etude des liens entre les événements El Niño et le cycle hydrologique des régions tropicales dans différents contextes climatiques. Thèse de l'université Paris-Saclay, 208 p.
- Saint-Lu M., Leloup J., 2016. Petit précis de théorie pour comprendre El Niño. *La Météorologie*, 95, 30-38.
- Saint-Lu M., Braconnot P., Leloup J., Lengaigne M., 2015. Changes in the ENSO/SPCZ relationship from past to future climates. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 412, 18-24.
- Sun Q., Miao C., Duan Q., Ashouri A., Sorooshian S., Hsu K.-L., 2017. A review of global precipitation datasets: data sources, estimation, and intercomparisons. *Rev. Geophys.*, 56, 79-107. doi: 10.1002/2017RG000574
- Trenberth K.E., 1984. Signal versus noise in the Southern Oscillation. *Mon. Weather Rev.*, 112/2, 326-332.
- Trenberth K., Caron J., 2000. The Southern Oscillation revisited: sea level pressures, surface temperature, and precipitation. *J. Clim.*, 13, 4358-4365.
- Wolter K., Timlin M., 2011. El Niño/Southern Oscillation behavior since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *Int. J. Climatol.*, 31, 1074-1087.
- Xie P., Arkin P., 1998. Global monthly precipitation estimates from satellite-observed outgoing longwave radiation. *J. Clim.*, 11, 137-164.
- Yan H., Sun L., Wang Y., Huang W., Qiu S., Yang C., 2011. A record of the southern oscillation index for the past 2,000 years from precipitation proxies. *Nat. Geosci.*, 4, 611-614.