



HAL
open science

Nature et dynamique du socio-écosystème maya du territoire de subsistance de la cité de Naachtun entre 1500 BCE et 1000 CE (Petén, Guatemala)

Cyril Castanet, Philippe Nondédéo, Lydie Dussol, Marc Testé, Louise Purdue, Julien Hiquet, Eva Lemonnier, Aline Garnier, Antoine Dorison, Noémie Tomadini, et al.

► To cite this version:

Cyril Castanet, Philippe Nondédéo, Lydie Dussol, Marc Testé, Louise Purdue, et al.. Nature et dynamique du socio-écosystème maya du territoire de subsistance de la cité de Naachtun entre 1500 BCE et 1000 CE (Petén, Guatemala). Biodiversités, environnements et sociétés depuis la Préhistoire : nouveaux marqueurs et approches intégrées. Actes des 41èmes Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire de Nice Côte d'Azur, sous la direction de Elisa Nicoud, Marie Balasse, Emmanuel Desclaux et Isabelle Théry-Parisot. APDCA CEPAM., APDCA – CEPAM, pp.187, 2021, 2-904110-64-X. hal-03507556

HAL Id: hal-03507556

<https://hal.science/hal-03507556>

Submitted on 8 Sep 2023

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.

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/357581243>

Nature et dynamique du socio-écosystème maya du territoire de subsistance de la cité de Naachtun entre 1500 BCE et 1000 CE (Petén, Guatemala)

Book · January 2021

CITATIONS

2

READS

137

21 authors, including:



Cyril Castanet

Université Paris 8 Vincennes - Saint-Denis, Laboratoire de Géographie Physique, E...

101 PUBLICATIONS 492 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Philippe Nondedeo

French National Centre for Scientific Research

105 PUBLICATIONS 550 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Lydie Dussol

Université Côte d'Azur

35 PUBLICATIONS 138 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Marc Testé

Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne

21 PUBLICATIONS 61 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Le site d'habitat ancien de Kota Cina (Sumatra Nord, Indonésie) [View project](#)



The earliest Acheulean occupation of Northern France [View project](#)

NATURE ET DYNAMIQUE DU SOCIO-ÉCOSYSTÈME MAYA

du territoire de subsistance de la cité de Naachtun entre
1 500 BCE et 1 000 CE (Petén, Guatemala)

Cyril Castanet^a, Philippe Nondédéo^b, Lydie Dussol^c, Marc Testé^d, Louise Purdue^c, Julien Hiquet^e, Eva Lemonnier^f, Aline Garnier^g, Antoine Dorison^e, Noémie Tomadini^h, Sandrine Grouard^h, Hemmamuthé Goudiaby^b, Carlos Morales-Aguilar^e, Nicole Limondin-Lozouetⁱ, Julien Caverio^j, Anne-Lise Develle-Vincentiⁱ, Christine Hatte^k, Caroline Gauthier^k, Philippe Lanos^l, Fatima Mokademⁱ, György Sipos^m

Résumé

Dans les Basses-Terres mayas, des travaux récents fondés sur l'étude d'archives sédimentaires et de MNT LiDAR ont fait sauter des verrous scientifiques et techniques, renouvelant ainsi l'étude des dynamiques socio-environnementales aux échelles territoriales. Cette étude de la nature et de la dynamique du socio-écosystème du territoire de subsistance de la cité maya

Abstract

In the Maya Lowlands, recent work based on the study of sedimentary archives and LiDAR DEM has contributed to remove scientific and technical barriers, and renew the study of socio-environmental dynamics at the territorial scale. This study of the nature and dynamics of the socio-ecosystem of the subsistence territory of the city of Naachtun is based on syste-

a. Université Paris 8 Vincennes Saint-Denis, Laboratoire de Géographie Physique, Environnements quaternaires et actuels (LGP UMR CNRS 8591), France (cyril.castanet@lgp.cnrs.fr).

b. Laboratoire Archéologie des Amériques, ARCHAM UMR CNRS 8096, France.

c. Université Côte d'Azur, Laboratoire Cultures et Environnements. Préhistoire, Antiquité, Moyen Âge, CEPAM UMR CNRS 7264.

d. Laboratoire de Géographie Physique, environnements quaternaires et actuels, LGP UMR CNRS 8591, Université Paris 1, Panthéon Sorbonne, France.

e. Laboratoire Archéologie des Amériques, ARCHAM UMR CNRS 8096, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, France.

f. Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, Laboratoire Archéologie des Amériques, ARCHAM UMR CNRS 8096, France.

g. Université Paris-Est Créteil, UPEC, Laboratoire de Géographie Physique, environnements quaternaires et actuels, LGP UMR CNRS 8591, France.

h. Muséum National d'Histoire Naturelle Laboratoire Archéozoologie - Archéobotanique. Sociétés, pratiques et environnements, AASPE UMR 7209 MNHN CNRS, France.

i. Laboratoire de Géographie Physique, environnements quaternaires et actuels, LGP UMR CNRS 8591, France.

j. Laboratoire Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne, EDYTEM UMR CNRS 5204, France.

k. Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, LSCE UMR 8212 CEA, CNRS, UVSQ, Université Paris-Saclay, France.

l. CNRS, UMR 5060 IRAMAT-CRP2A, Université Bordeaux-Montaigne et UMR 6118 Géosciences-Rennes, Université Rennes 1, France.

m. Geomorphological and Geochronological Research Group, Department of Geoinformatics, Physical and Environmental Geography, University of Szeged, Hungary.

de Naachtun, Guatemala, repose sur des développements méthodologiques systémiques, interdisciplinaires et multiscales (géoarchéologie, archéogéographie, paléoécologie, archéobotanique, archéozoologie, archéologie et géochronologie). Les résultats révèlent la complexité des territoires, milieux géographiques et paysages palimpsestes mayas et leur production durant la période ~1500 BCE – 1000 CE. Le socio-écosystème a évolué selon six principales périodes pluriséculaires. L'évolution des ressources (hydriques, édaphiques, biologiques, minérales) et de leurs gestions est décrite en regard du climat et de la demande sociale. Les Mayas ont adapté leurs stratégies de gestion des ressources à ces changements. La gestion des risques environnementaux et la résilience des sociétés ont conditionné la durabilité du socio-écosystème.

Mots clés

Socio-écosystème maya, territoire, ressources, durabilité, Naachtun

mic, interdisciplinary and multi-scale methodological developments (geoarchaeology, archaeogeography, paleoecology, archaeobotany, zooarchaeology and geochronology). The results reveal the complexity of Maya palimpsest territories and landscapes and their production during the period from approximately 1500 BCE to 1000 CE. The socio-ecosystem evolved in relation to six main multi-secular periods. The evolution of resources (hydric, edaphic, biological, and mineral) and their management is described in relation to the climate and to the social demand. The Maya societies adapted their resource management strategies to these major changes. The management of environmental risks and the resilience of societies contributed to the sustainability of the socio-ecosystem.

Keywords

Maya Socio-ecosystem, Territory, Resources, Sustainability, Naachtun

INTRODUCTION

Dans la zone tropicale mésoaméricaine, les recherches portant sur les processus de contrôle des phases d'essor et de déclin de la civilisation maya questionnent régulièrement l'importance des interactions socio-environnementales liées à l'exploitation des ressources et au changement climatique (DOUGLAS *et al.* 2016; TURNER, SABLOFF 2012). L'étude des facteurs de forçages sociétaux, d'ordre socio-économiques ou socio-politiques, fait également l'objet de nombreux travaux (SHARER, TRAXLER 2006).

Dans les Basses-Terres mayas méridionales (BTMm), plusieurs verrous scientifiques et techniques ont durablement constitué des obstacles à la connaissance des dynamiques environnementales et socio-environnementales survenues aux échelles des territoires de subsistance des cités. Parmi eux, se trouve l'objet de recherche lui-même, qui est un objet complexe positionné à l'interface nature-culture (TURNER *et al.* 2007). De plus, la couverture forestière tropicale contraint très fortement l'accès au terrain ainsi que les analyses morphologiques (FORD, HORN 2018). Enfin, les discontinuités spatio-temporelles des archives morphologiques et sédimentaires et leur taphonomie en contexte tropical impactent la qualité des reconstitutions (DUNNING *et al.* 2012). Les études portant sur le socio-écosystème du territoire de subsistance de Naachtun, grande cité maya de la période classique (150 – 950 CE), n'échappent pas à ces contraintes (CASTANET *et al.* 2016).

Récemment, des travaux fondés sur des analyses croisées de données altimétriques LiDAR¹ (*Light Detection And*

Ranging) et de données de terrain ont été menés à large échelle dans les BTMm sur environ 2 150 km². Ils ont renouvelé en profondeur les connaissances de la complexité de l'anthropisation des milieux par les anciens Mayas (CANUTO *et al.* 2018). Les BTMm apparaissent ainsi comme une des régions les plus densément peuplées au monde pour son époque (7 à 11 millions d'habitants à l'apogée du Classique récent, 650 – 800 CE). Certains territoires, comme ceux des cités de Naachtun et de Tikal, se révèlent avoir été particulièrement densément peuplés et aménagés pour assurer la subsistance des populations grâce à la gestion des ressources naturelles.

L'intensité de la demande sociale en ressources, en regard de la capacité de charge du milieu biophysique et du climat, confère un caractère exceptionnel au territoire de subsistance de Naachtun pour l'étude de la fluctuation, de l'exploitation et de la gestion des ressources. Durant les occupations mayas², quelles furent les évolutions des ressources (hydriques, édaphiques, biologiques, minérales) et de leurs gestions dans ce territoire, en regard du climat et de la demande sociale ? Comment les Mayas ont-ils adapté leurs stratégies de gestion des ressources face à ces changements ? Comment les risques environnementaux et la résilience des sociétés ont-ils influé sur la durabilité du socio-écosystème ?

Les travaux archéologiques et environnementaux, réalisés sur le territoire de Naachtun depuis plus de dix ans³,

1. Acquisition des données par le *National Center for Airborne Laser Mapping* (NCALM), dans le cadre de la *Pacunam LiDAR Initiative* (PLI).

2. La chronologie culturelle maya des BTMm comprend le Préclassique (~1000 BCE – 150 CE), le Classique (~150 – 950/1000 CE) puis le Postclassique (~950/1000 – 1500 CE) (SHARER, TRAXLER 2006).

3. Travaux réalisés dans le cadre du programme Petén Norte NAACHTUN (2010-2022), du projet HYDROAGRO (2014-2016), du projet PAYAMA (2017-2018) et du projet MAYANAT (2020-2021) (cf. Remerciements).

permettent de proposer cette première synthèse relative à la nature et à la dynamique sur le temps long de ce socio-écosystème maya.

CARACTÉRISTIQUES BIOPHYSIQUES ET SOCIÉTALES DU SECTEUR D'ÉTUDE

Située dans le sud de la péninsule du Yucatan, le secteur d'étude correspondant au territoire de Naachtun se trouve sur les plateaux calcaires karstifiés de l'*Elevated Interior Region* (EIR⁴) des BTMm. Le relief karstique est dominé par l'alternance de zones hautes collinaires (les *uplands*) et de zones basses planes (les *lowlands*), représentées par des poljés (les *bajos*), des vallées et des dolines. La limnité dans le secteur nord du Petén est très faible (DEEVEY 1978 ; DUNNING *et al.* 2012). Actuellement, les petits cours d'eau et les lacs du territoire de Naachtun sont tous intermittents. Le *bajo* El Infierno, situé au nord du centre de Naachtun, inclut une dépression lacustre de grande dimension (1,1 km²) (CASTANET *et al.* 2016). L'intégralité du secteur d'étude est actuellement fermée par la forêt tropicale semi-décidue et persistante du Petén (TESTÉ *et al.* 2020) et fait partie de la réserve de biosphère maya (RBM). Le climat tropical du Petén est marqué par une forte variabilité saisonnière des précipitations (seulement 10 % des précipitations annuelles de janvier à la fin mai), doublée d'une importante variabilité interannuelle (DEEVEY 1978). Le climat régional de l'Holocène récent fut, pour sa part, ponctué par des périodes relativement plus sèches (DOUGLAS *et al.* 2016).

L'épicentre de la cité maya de Naachtun⁵, capitale régionale de la période classique entre 150 et 950 CE, fut implanté dans une zone collinaire, à proximité immédiate du coteau du *bajo* El Infierno. Les plus anciens vestiges archéologiques découverts dans le secteur d'étude remontent au Préclassique moyen (datés de ~600 BCE). Naachtun a connu son apogée démographique durant le Classique récent et terminal (~750 – 950/1 000 CE) (NONDÉDÉO *et al.* sous presse). Ultérieurement, la cité n'a pas échappé aux crises touchant le pays maya à partir du Classique terminal, puisqu'elle fut abandonnée vers 950/1 000 CE (NONDÉDÉO *et al.* 2021 ; HIQUET 2020a ; SION 2016 ; DUSSOL *et al.* 2019).

4. L'espace géographique dans lequel évolua l'ancienne civilisation maya des Basses-Terres inclut toute la péninsule du Yucatan et des zones contiguës du Mexique et de l'Amérique centrale. L'*Elevated Interior Region* (EIR) se situe au cœur de cet espace, dans la région du Petén, au nord du Guatemala et au sud du Mexique. Elle est en partie délimitée par des escarpements géologiques, et l'altitude y est comprise entre 40 et 300 m (DUNNING *et al.* 2012).

5. La cité de Naachtun se compose d'un épicentre monumental composé des Groupes A, B et C, occupant au total environ 33 ha et regroupant les principaux édifices et espaces publics. Autour de cet épicentre, se développe la zone résidentielle de la cité sur 170 ha. Au-delà, se développent les zones périurbaines où l'habitat est plus lâche (NONDÉDÉO *et al.* sous presse).

CONCEPTS, APPROCHES ET DÉVELOPPEMENTS MÉTHODOLOGIQUES

Les concepts, approches et développements méthodologiques qui suivent ont été mobilisés et mis en œuvre dans le cadre de cette étude.

Une approche systémique : le socio-écosystème du territoire de subsistance de Naachtun

Le concept de socio-écosystème est mobilisé dans le cadre de cette étude pour ses qualités d'entité structurelle et fonctionnelle des interactions sociétés-milieux (LÉVÊQUE *et al.* 2001) (fig. 1). Ces dernières sont essentiellement analysées ici sous l'angle des ressources et des risques. Les ressources en eau, en biomatériaux et en géomatériaux (distribution, accessibilité, exploitation, gestion) concernent des activités relevant autant du matériel que du symbolique. Les risques environnementaux (aléas et vulnérabilités, distribution, gestion) considérés ici sont essentiellement liés aux ressources et à leur gestion, en regard de la variabilité de la demande sociale, de la capacité de charge du milieu et de la variabilité climatique (sécheresse, inondation, érosion, perte de fertilité des sols, surexploitation, déforestation). La mobilisation du concept de socio-écosystème permet ici également l'étude du milieu géographique⁶ et du paysage⁷ du territoire de subsistance Naachtun. Ce dernier est entendu comme les zones habituellement utilisées pour la subsistance quotidienne de la population⁸. Il constitue ainsi une composante principale du territoire⁹ et de l'hinterland¹⁰ de Naachtun. Considéré comme étant « ouvert » et « à processus réponses », le socio-écosystème étudié a interagi avec ceux des territoires des autres cités des BTMm. Sa dynamique fut donc relative aux interactions survenues en son sein, mais également avec les autres socio-écosystèmes et avec le climat (CASTANET *et al.* 2016 ; CASTANET 2019).

6. Défini comme étant « l'espace naturel ou aménagé qui entoure un groupe humain, sur lequel il agit, et dont les contraintes climatiques, biologiques, édaphiques, psycho-sociologiques, économiques, politiques, etc., retentissent sur le comportement et l'état de ce groupe » (GEORGE 1970).

7. Considéré comme étant « le résultat de la combinaison dynamique d'éléments physico-chimiques, biologiques et anthropiques qui, en réagissant les uns sur les autres, en font un ensemble unique et indissociable en perpétuelle évolution » (GEORGE 1970).

8. Selon l'acception des *site exploitation territories* mobilisée dans le cadre des *site catchment analysis* (BAILEY 2005).

9. Entendu comme « la portion de la surface terrestre, appropriée par un groupe social pour assurer sa reproduction et la satisfaction de ses besoins vitaux » (LE BERRE 1995).

10. Défini comme « tout espace fournissant des ressources à un nœud », ce concept permet l'analyse de « toutes les situations où des relations s'établissent entre deux espaces distincts et complémentaires [...] : notamment l'espace polarisé par un lieu central et/ou l'aire d'influence d'un établissement particulier localisé dans ce lieu central » (BERNARD 2013).

Interactions avec
les socio-écosystèmes
des territoires des cités
des Basses Terres mayas
et des cités extra-régionales

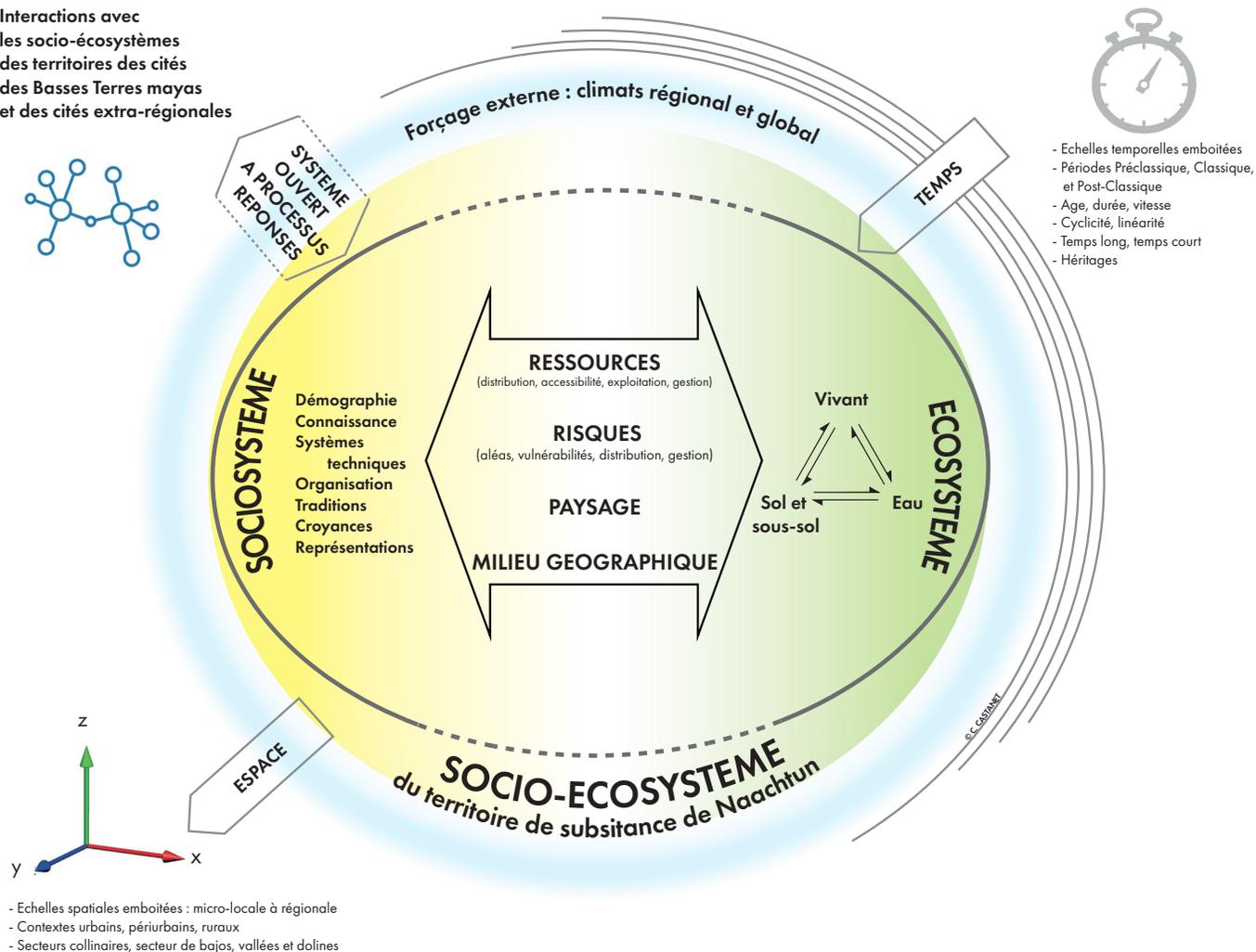


Fig. 1. Schéma conceptuel du socio-écosystème maya du territoire de subsistance de Naachtun, aux périodes préclassique et classique, dans les Basses Terres mayas méridionales.

Une analyse multiscalaire fondée sur des archives morphologiques et sédimentaires

Le socio-écosystème est étudié à différents niveaux d'organisation du territoire de subsistance : aux échelles microlocales (0 – 1 km²), locales (1 – 10 km²), microrégionales (10 – 100 km²), régionale (> 100 km²). L'approche diachronique de cette étude couvre les cinq derniers millénaires et se focalise principalement sur la période comprise entre environ 1 500 BCE et 1 000 CE. Les reconstitutions des dynamiques socio-environnementales reposent sur l'étude d'archives morphologiques (microrelief) et sédimentaires (sédiments naturels et anthropiques). Sur une surface de 135 km², la couverture LiDAR du secteur d'étude donne accès aux microreliefs, hérités des dynamiques environnementales et socio-environnementales passées. Des archives sédimentaires de nature, d'âge, d'état de conservation et de localisation variés ont été étudiées, en contextes intrasites et hors sites (contextes collinaires,

palustres, lacustres, urbains, ruraux, etc.). Des référentiels hydrologiques, pédologiques et écologiques ont été établis. Ils portent sur les dynamiques actuelles et passées, en contextes anthropisés et non anthropisés.

Des travaux interdisciplinaires de terrain et de laboratoire : approche intégrée des dynamiques socio-environnementales

Chacune des approches complémentaires indiquées ci-après a contribué à la caractérisation de la nature et de la dynamique du socio-écosystème étudié. Des travaux archéogéographiques ont porté sur des analyses LiDAR et des analyses spatiales multithématiques, favorisées par l'usage des Systèmes d'Informations Géographiques (CANUTO *et al.* 2018; CASTANET *et al.* 2019b; MORALES-AGUILAR, CASTANET 2016; NONDÉDÉO, DORISON 2017; NONDÉDÉO *et al.* 2020). Ces investigations ont été menées de concert

avec les approches géoarchéologiques alluviale et agraire (stratigraphie, pédologie, géomorphologie, hydrologie, sédimentologie, géochimie, etc.) (CASTANET *et al.* 2021a ; 2021b ; CASTANET *et al.* 2019 ; PURDUE *et al.* 2019). Des développements ont également été faits dans les domaines de la paléoécologie et de la bioarchéologie. En archéobotanique, ils comprennent l'étude des phytolithes, l'antracologie et l'étude du signal incendie (TESTÉ 2020 ; DUSSOL 2017). En archéozoologie, des restes de faune vertébrée terrestre, aquatique et conchylogique ont été étudiés (TOMADINI, GROUARD 2020 ; COTOM 2019 ; TESTÉ 2020). Des travaux bioanthropologiques et isotopiques des populations ont visé l'étude des carences et des pathologies des anciens Mayas (GOUDIABY 2020). Des travaux archéologiques se sont focalisés sur les dynamiques de l'occupation et de l'aménagement du territoire (processus d'agglomération, relais de pouvoir, etc.), tout en posant des hypothèses sur les évolutions paléodémographiques (NONDÉDÉO 2017 ; SION 2016 ; HIQUET 2020a). Le cadre chronologique de ces reconstitutions a été établi sur des éléments de chronologie relative, tels que la morpho-stratigraphie et la typo-chronologie de la céramique (HIQUET 2020a ; PATIÑO 2013 ; PERLA-BARRERA, SION 2018), sur des éléments de géochronologie (datations par le radiocarbone et la méthode OSL – *Optically Stimulated Luminescence*) et des modélisations (logiciels ChronoModel¹¹ et ChronoCurve) (NONDÉDÉO *et al.* 2020 ; CASTANET *et al.* 2020).

DISPONIBILITÉ, EXPLOITATION ET GESTION DES RESSOURCES, À L'INTERFACE DES ÉCOSYSTÈMES ET DES SOCIOSYSTÈMES

Ce premier volet de résultats porte sur la demande sociale en ressources (hydriques, édaphiques, biologiques et minérales), puis sur la disponibilité, l'exploitation et la gestion de chacune d'elles.

Quelle demande sociale en ressources minérales et biologiques ?

L'exploitation de ressources hydriques, édaphiques, biologiques et minérales

Les besoins des anciens Mayas en eau, en biomatériaux et en géomatériaux ont reposé sur des usages courants des ressources minérales et biologiques. Néanmoins, les modalités d'exploitation de ces dernières ont été contraintes par l'absence de la domestication animale, de la roue et de l'outillage en métal. Les ressources du territoire de

subsistance ont été exploitées grâce à la mobilisation de systèmes techniques visant divers usages de l'eau (domestiques et agricoles) et des sols (agricoles et agroforestiers), la production agricole (besoins alimentaires et artisanaux), l'exploitation de la forêt (bois, alimentation, artisanat et pharmacopée), de la faune sauvage et apprivoisée (alimentation, artisanat) et du sous-sol (géomatériaux utilisés pour la construction, l'outillage et l'artisanat).

L'exploitation des ressources sur le temps long : une longue séquence d'occupation du milieu, du Préclassique au Postclassique.

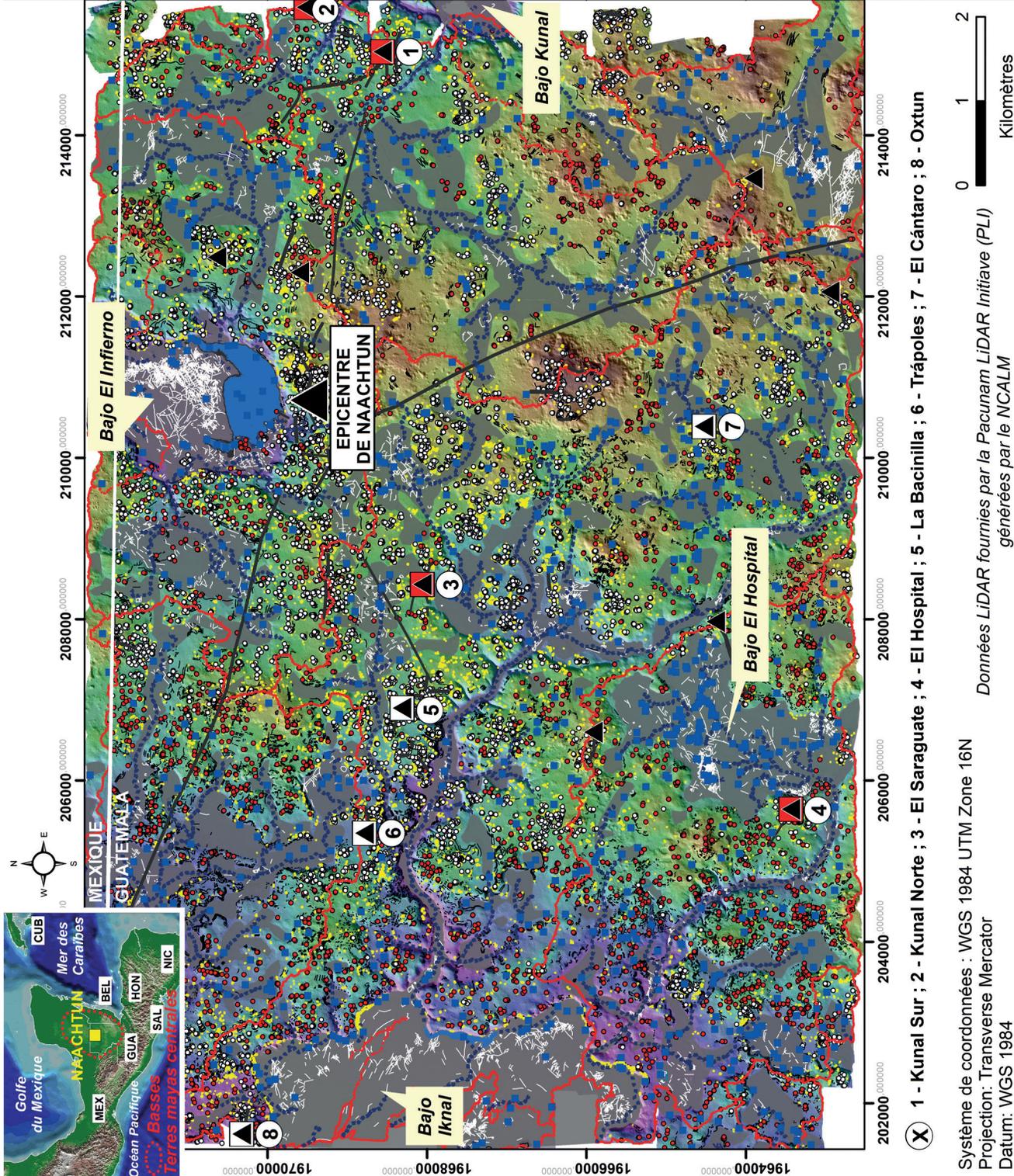
La séquence d'occupation et d'exploitation des milieux biophysiques du territoire repose sur des faits archéologiques et paléoenvironnementaux. Les premiers impacts anthropiques forts sont identifiés vers 1 500 BCE (CASTANET *et al.* 2021a ; 2021b ; CASTANET *et al.* 2016 ; NONDÉDÉO *et al.* 2020 ; TESTÉ 2020). Plusieurs sièges de pouvoir sont par la suite identifiés pour la période préclassique (dont les sites de Kunal vers 600 BCE, d'El Hospital et de Saraguat) (MORALES-AGUILAR 2020 ; NONDÉDÉO *et al.* sous presse). L'épicentre de Naachtun, quant à lui, est établi vers 150 CE, au début du Classique ancien, tandis qu'au cours du Classique récent, de nouveaux sièges de pouvoir en périphérie de Naachtun font leur apparition (La Bacinilla, Trápoles, El Cántaro et Oxtun) (NONDÉDÉO *et al.* 2021) (fig. 2). De nombreux aménagements sont datés des périodes préclassiques et classiques, et ce jusqu'à environ 950 CE. Il s'agit d'aménagements hydrauliques (réservoirs, canaux, digues) et agraires (terrasses, champs surélevés et drainés) (CASTANET *et al.* 2019). Cela comprend aussi de nombreux habitats ainsi que la construction d'espaces publics, religieux et politiques (NONDÉDÉO *et al.* sous presse).

L'exploitation des ressources dans l'ensemble des milieux du territoire de subsistance.

Les aménagements hydrauliques et agraires, témoins de l'exploitation des ressources du milieu par les anciens Mayas, sont retrouvés dans l'ensemble des zones basses (*bajos*, vallées, dolines) et des zones collinaires du territoire de subsistance (CASTANET *et al.* 2019a) (fig. 2). La forêt et la faune ont également été exploitées dans l'ensemble des contextes biophysiques (DUSSOL 2017 ; TOMADINI, GROUARD 2020). Les vestiges d'habitat résidentiels sont quasi exclusivement identifiés dans les zones collinaires (NONDÉDÉO *et al.* sous presse). Cette distribution ne résulte pas d'un biais taphonomique lié à la sédimentation (CASTANET *et al.* 2020), mais bien d'un choix d'aménagement du territoire par les anciens Mayas. L'occupation saisonnière des *bajos*

11. <https://chronomodel.com/>

| | |
|--|--|
| Occupations | |
| Période Classique | |
| ▲ | Siège de pouvoir |
| □ | Siège de pouvoir nouvellement établi à la fin du Classique récent |
| ○ | Structure (habitat) |
| — | Chaussée |
| Période Préclassique | |
| ■ | Siège de pouvoir |
| ● | Structure (habitat) |
| Aménagements hydrauliques et agraires & carrières | |
| ■ | Réservoirs d'eau (aguadas) |
| — | Canaux, fossés et digues associés aux champs surélevés et drainés (wetland features) et aux réservoirs des zones de bajos, de vallées et dolines |
| — | Terrasses, murets et digues associés aux zones cultivées et aux réservoirs des zones collinaires |
| ● | Carrières |
| Relief karstique et hydrographie | |
| ■ | Principaux poljés (bajos) vallées et dolines |
| ■ | Dépression lacustre (lac intermittent) |
| ⋯ | Principaux cours d'eau intermittents potentiels |
| □ | Bassins versants topographiques |
| MNT LiDAR | |
| Altitude (mètres a.s.l.) | |
| Elevée : 334,607 | |
| Faible : 254,413 | |



1 - Kunal Sur ; 2 - Kunal Norte ; 3 - El Saraguate ; 4 - El Hospital ; 5 - La Bacinilla ; 6 - Trápoles ; 7 - El Cántaro ; 8 - Oxtun

Système de coordonnées : WGS 1984 UTM Zone 16N
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

Données LiDAR fournies par la Pacunam LiDAR Initiative (PLI) générées par le NCALM

avec des aménagements en matériaux périssables, de façon saisonnière (*a minima*), n'est pas exclue (CASTANET 2019; NONDÉDÉO *et al.* sous presse). De plus, cet état des lieux ne tient pas compte des probables structures invisibles potentielles (JOHNSTON 1998). Par ailleurs, un vaste réseau de chaussées a été construit dans les zones collinaires comme dans les zones basses du territoire (MORALES-AGUILAR, CASTANET 2016; NONDÉDÉO *et al.* sous presse). Outre le contrôle politique de tout cet hinterland via un déplacement facilité de troupes ou une collecte aisée des tributs, ce réseau viaire centripète a notamment favorisé l'exploitation et le contrôle des ressources ainsi que les activités économiques associées.

Quelles disponibilité, exploitation et gestion des ressources hydriques ?

Disponibilité des ressources hydriques

La disponibilité en eau fluctua dans l'espace et dans le temps. Les zones naturellement hautes et/ou bien drainées (essentiellement les collines des plateaux et les coteaux des *bajos* et des vallées) constituèrent des espaces collecteurs et des espaces de transfert souvent rapide des eaux de pluie. Les zones naturellement basses et/ou mal drainées (essentiellement les *bajos*, les vallées et les dolines), furent des espaces d'accumulation et de stockage temporaire ou permanent de l'eau (CASTANET 2016). Les reconstitutions établies dans le secteur d'étude ont révélé une variabilité pluriséculaire à millénaire des niveaux lacustres durant les périodes préclassique et classique, en réponse à la variabilité climatique et aux impacts anthropiques (voir ci-après). Les référentiels actuels et pré-anthropiques ont également montré une importante variabilité saisonnière et interannuelle des ressources en eau sous contrôle climatique (CASTANET *et al.* 2021a; 2021b; CASTANET 2016; TESTÉ 2020) (fig. 3). Ces fluctuations spatiotemporelles ont constitué des aléas hydrologiques (excès et pénuries d'eau) auxquels les populations mayas ont été confrontées dans leurs pratiques d'exploitation et de gestion des ressources hydriques, édaphiques et biologiques.

Exploitation et gestion de la ressource hydrique

Des mesures structurelles ont été prises, localement et de façon centralisée, pour exploiter et gérer la ressource

en eau et les risques associés. Une grande quantité et diversité d'infrastructures visant la gestion de l'eau dans l'intégralité des bassins versants du territoire ont été révélées (cf. ci-après) (CASTANET 2016b; CASTANET *et al.* 2019a; MORALES-AGUILAR, CASTANET 2016; DORISON 2020; NONDÉDÉO, DORISON 2017) (fig. 2). Cette transformation drastique de l'hydrosystème a permis une redistribution spatio-temporelle de l'eau dans le territoire de subsistance, en collectant, transportant, stockant, évacuant l'eau de surface et l'eau souterraine.

Dans tous les compartiments de l'hydrosystème du secteur d'étude et toutes périodes confondues, plusieurs centaines de réservoirs d'eau de différentes formes et capacités ont été aménagés pour des usages domestiques, agraires ou mixtes. Des canaux de différents gabarits, visant l'apport et/ou l'évacuation de l'eau, ont été creusés, constituant des réseaux hydrauliques sur une longueur cumulée supérieure à 300 km. Des digues et des terrassements furent construits en grande quantité, afin de retenir l'eau en surface et dans le sol.

Quelles disponibilité, exploitation et gestion des ressources édaphiques ?

Nature et disponibilité des ressources édaphiques

La couverture pédologique du territoire de subsistance comprenait des sols relativement drainés et peu épais (Mollisols, Inceptisols, Alfisols) dans les zones collinaires et des sols relativement plus épais et hydromorphes (Vertisols, Histosols) dans les zones basses (CASTANET *et al.* 2016; PURDUE 2014; PURDUE 2018). Les reconstitutions établies ont montré des fluctuations du détritisme en réponse aux impacts anthropiques sur les sols et aux fluctuations climatiques. Il s'agit notamment de fluctuations de l'alluvionnement dans les dépressions lacustres des *bajos* et du colluvionnement sur les versants des *bajos*. Deux périodes principales de production et de transfert sédimentaires accrus au sein des bassins versants ont été identifiées. La première, la plus intense, est survenue entre ~600 et ~200 BCE, tandis que la seconde s'est développée entre ~200 CE et 950/1 000 CE. Une grande partie des *mayas clays*¹² du secteur d'étude s'est mise place durant ces deux périodes (fig. 3) (CASTANET *et al.* 2021a; 2021b).

Fig. 2. Répartition des occupations, des aménagements hydrauliques et agraires et des carrières, en regard des éléments du relief karstique et de l'hydrographie : territoire de subsistance de Naachtun durant le Préclassique et le Classique.

12. Le terme *maya clays* est utilisé pour décrire des séquences sédimentaires ou pédosédimentaires aux faciès riches en argile mises en place durant les périodes mayas dans différents environnements tels que les lacs, les poljés (*bajos*), les plaines alluviales, les grottes et les zones humides (BEACH *et al.* 2015).

Exploitation et gestion de la ressource édaphique

Des mesures non structurales et structurales, prises localement et de façon centralisée, visèrent l'exploitation du potentiel agronomique des sols dans tous les contextes pédologiques et géomorphologiques (fig. 2). Ces adaptations socio-technologiques ont permis de conserver et/ou d'améliorer la ressource édaphique et de gagner des terres cultivables (CASTANET 2016; CASTANET *et al.* 2019a; 2019b; DORISON 2020; MORALES-AGUILAR, CASTANET 2016; PURDUE *et al.* 2019; NONDÉDÉO, DORISON 2017; NONDÉDÉO *et al.* sous presse).

L'appauvrissement des sols en nutriments a été maîtrisé par des amendements (CASTANET *et al.* 2019b), des jachères et la culture d'espèces régénératrices¹³. Dans les zones collinaires, la gestion des risques liés à l'érosion et au manque d'eau a reposé sur différents types de terrassements, dont la longueur cumulée sur la zone analysée (couverture LiDAR de 135 km²) dépassait 500 km, toutes périodes confondues. Dans les zones basses, la création de complexes de sols surélevés et de sols drainés a permis d'améliorer les sols et de gagner des espaces cultivables en y gérant les excès et les déficits en eau relatifs aux variabilités saisonnières et interannuelles des précipitations et des températures (fig. 2).

Des anthrosoles ont ainsi été construits, exploités et entretenus par les anciens Mayas dans les multiples terroirs de l'hinterland. Tous ces travaux, répartis sur plus de deux millénaires, ont été réalisés par une importante main-d'œuvre soutenue par une forte démographie, notamment pour la remobilisation de millions de mètres cubes de terre dans les zones basses et les zones collinaires.

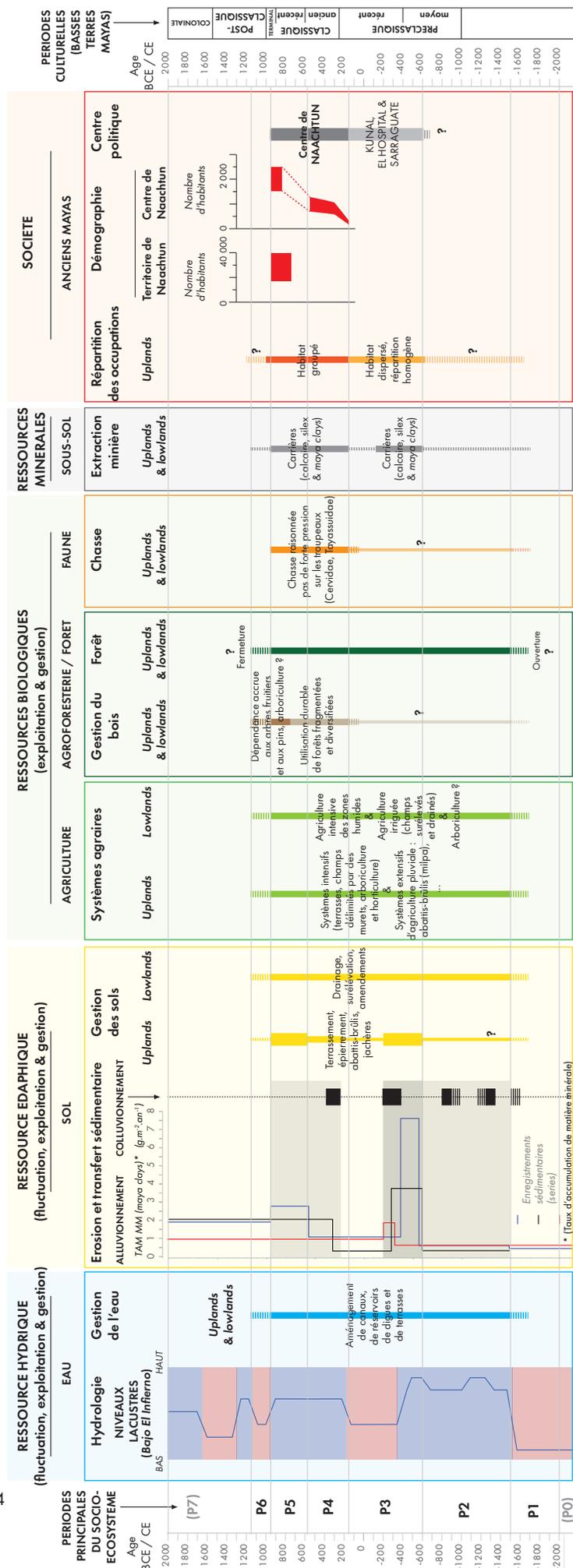
Quelles disponibilité, exploitation et gestion des ressources biologiques ?

La forêt : l'agroforesterie

L'étude des phytolithes a montré une ouverture de la forêt durant le Préclassique (forêt déjà ouverte localement vers 1500 BCE, TESTÉ 2020). Les travaux anthracologiques ont également établi que la consommation de bois était assurée par l'exploitation durable de forêts matures et de

Fig. 3. Fluctuation, exploitation et gestion des ressources en regard des dynamiques sociétales, au sein du territoire de subsistance de Naachtun, entre ~2000 BCE et l'Actuel.

13. Pour les anciens Mayas, la *milpa* constituait une composante importante du système de gestion des ressources. La *milpa* est comme une polyculture sur brûlis centrée sur le maïs (*Zea mays* L.), souvent associé au haricot et à la courge, alternant avec la végétation forestière selon un cycle d'environ 10 à 25 ans (NIGH, DIEMONT 2013).



zones de jachère par les anciens Mayas depuis au moins 150 CE et jusqu'à environ 750 CE. Dans la campagne située autour de Naachtun, au-delà de la zone résidentielle, depuis le début de la période classique et jusqu'au milieu du Classique récent, les reconstitutions suggèrent un paysage en mosaïque, peut-être similaire au système contemporain de *l'olche*¹⁴ (DUSSOL *et al.* 2021). Un second système d'utilisation du bois de combustion a débuté aux alentours de 750 CE. Il fut marqué par une dépendance accrue aux arbres fruitiers polyvalents et aux bois de pin. Concernant les arbres fruitiers, la question d'une sélection d'espèces utiles, voire de la mise en place d'un système d'arboriculture se pose (DUSSOL 2017; DUSSOL *et al.* 2021).

Les plantes cultivées : l'agriculture

Les systèmes agraires préclassique et classique identifiés dans les espaces drainés des zones collinaires, ont été de types intensif et extensif basés sur : 1) l'agriculture en terrasses et au sein de champs délimités par des murets ; 2) l'agriculture pluviale (agriculture itinérante sur abattis-brûlis telle que la culture de la *milpa*¹⁵) ; et 3) l'arboriculture et l'horticulture (CASTANET *et al.* 2019a; DORISON 2020; DUSSOL *et al.* 2021; PURDUE 2014; PURDUE 2018; PURDUE *et al.* 2019; MORALES-AGUILAR, CASTANET 2016; NONDÉODÉO, DORISON 2017; TESTÉ 2020). Dans les *bajos*, les dolines et les vallées, les systèmes agraires établis ont été ceux de l'agriculture intensive des zones humides (*intensive wetland systems*) ainsi que de l'agriculture irriguée, développés sur les champs surélevés et drainés (micro-parcellaire). L'arboriculture et l'horticulture ont pu également y être développées (CASTANET 2019; CASTANET *et al.* 2019a; 2019b; DUSSOL 2017; MORALES-AGUILAR, CASTANET 2016). Les types de systèmes agraires décrits ci-dessus renvoient à ceux décrits en Mésoamérique par WHITMORE et TURNER (2001).

Les travaux bioanthropologiques (mesures isotopiques, $\delta^{13}\text{C}$)¹⁵ indiquent une contribution importante du maïs (*Zea mays* L., 1753) au régime alimentaire des individus étudiés dans le site de Naachtun (GOUDIABY 2020). La présence de ce cultigène dans certains paléosols du territoire a été révélée par les phytolithes¹⁶ et par l'enrichissement en ^{13}C

de la signature isotopique du carbone¹⁷ (CASTANET *et al.* 2021a; 2021b; PURDUE *et al.* 2019; TESTÉ 2020). Le maïs occupa ainsi une place importante dans les systèmes agraires et horticoles du territoire de subsistance de Naachtun au Préclassique et au Classique, comme plus largement dans les systèmes agroécologiques de la zone de culture maya, toutes périodes confondues (WHITMORE, TURNER 2001).

Dans les zones basses comme dans les zones collinaires, de grandes superficies de terres, éloignées des espaces habités, furent cultivées intensivement. La distribution spatiale des zones cultivées identifiées et de l'habitat du Préclassique et du Classique n'a donc pas toujours pleinement répondu aux logiques proposées par les modèles d'*infield/outfield*¹⁸ et de *settlement agriculture*¹⁹ (CASTANET *et al.* 2019b; NONDÉODÉO *et al.* sous presse). De plus, la nature, la quantité et la répartition des vestiges liés aux aménagements agraires dans le territoire suggèrent que la production agricole a été contrôlée localement et de façon centralisée.

La faune (sauvage et apprivoisée) : ressource animale

L'étude archéozoologique révèle notamment que le cerf de Virginie, *Odocoileus virginianus* (ZIMMERMANN, 1780) et les pécaris [le pécaric à collier, *Pecari tajacu* (LINNAEUS, 1758) et le pécaric à lèvres blanches, *Tayassu pecari* (LINK, 1795)] furent chassés durant toute la période classique, y compris au cours du collapse maya (850 – 950/1000 CE à Naachtun), et constituèrent sans nul doute la base de l'alimentation carnée. L'étude des âges d'abattages de ces animaux semble indiquer qu'il n'y a pas eu de pression particulière sur les troupeaux, puisque très peu de juvéniles ont été décomptés et que les très vieux individus sont absents des contextes. De manière générale, les représentants de ces deux familles (Cervidae et Tayassuidae) ont été abattus à maturité sexuelle et à rentabilité pondérale. De plus, la présence de bois de cervidés, utilisés notamment dans l'artisanat, irait dans le sens d'une chasse raisonnée où la préférence de l'abattage est accordée aux jeunes mâles. Par ailleurs, plus de trente espèces de vertébrés ont été exploitées : une majorité de mammifères (essentiellement des carnivores), mais

14. Les communautés traditionnelles yucatèques gèrent les *l'olche*, qui correspondent à des ceintures de forêts maintenues autour des champs, créant ainsi un réseau forestier multifonctionnel, associant des arbres climax à croissance lente qui ne sont jamais abattus avec des arbres pionniers (DUSSOL *et al.* 2021).

15. Les travaux fondés sur les analyses isotopiques du carbone et de l'azote fournissent des informations utiles aux études sur les stratégies de subsistance des populations d'Amérique précolombiennes (SOMERVILLE *et al.* 2013).

16. La grande dimension des phytolithes du morphotype *Cross*, parmi ceux de type *Grass short-cell phytolith* (GSCP), peut être un indicateur de la forme domestiquée *Zea mays* L. Le pourcentage élevé des phytolithes *Cross* dans les paléosols peut indiquer la présence de ce cultigène (TESTÉ 2020).

17. La culture de *Zea mays* L. 1753 (plante au métabolisme en C4) provoque l'enrichissement de la matière organique du sol en isotope ^{13}C . Une augmentation du ^{13}C de la matière organique d'un paléosol peut indiquer la présence passée de ce cultigène (WRIGHT *et al.* 2009).

18. Le modèle d'organisation agraire *infield/outfield* considère que les meilleures terres (*infield*) faisaient l'objet de pratiques agricoles intensives et se trouvaient à proximité immédiate des sites d'habitat, tandis que les champs cultivés en extensif (*ouffield*) se trouvaient à une certaine distance des établissements humains (DODGSHON 1973).

19. Le modèle de *settlement agriculture* repose sur la décroissance de l'investissement agricole des cultivateurs relative à l'augmentation de la distance entre la zone cultivée et la zone habitée (KILLION 1992).

également des amphibiens et des lézards. En complément de ces trois grands mammifères phares pour la diète, il semble que les oiseaux et les tortues aquatiques et terrestres aient tenu un rôle non négligeable dans les choix d'apports animaux (TOMADINI, GROUARD 2020).

Quelles disponibilité, exploitation et gestion des ressources minérales en matériaux de construction ?

Les formations géologiques du substrat calcaire tertiaire (calcaire plus ou moins gypseux, plus ou moins altéré et riche en silice) ont constitué la matière première pour la construction [pierres, chaux et charge pour les mortiers (le *sascab* ou *sahcab*)], pour l'alimentation (la chaux, utile à la préparation du maïs) et pour les outils. Les formations superficielles, sédimentaires et résiduelles (argile, limon, sable) constituèrent des matériaux utilisés pour le bâti (constructions en terre crue, remblais de plateforme et de bâti, etc.) et la production de céramique, figurines, etc. Plus de 9 500 carrières d'extraction de calcaire ont par exemple été identifiées dans le secteur d'étude, ce qui représente une densité moyenne supérieure à 70 carrières/km², sans compter les carrières non détectables par le LiDAR.

DYNAMIQUE DU SOCIO-ÉCOSYSTÈME MAYA DURANT LE PRÉCLASSIQUE ET LE CLASSIQUE, ENTRE CHANGEMENT ET CONTINUITÉ

L'étude diachronique du socio-écosystème du territoire de subsistance de Naachtun a mis en évidence une évolution de ce dernier selon six grandes périodes (fig. 3).

Période 1 : D'environ 2 000/2 500 à 1 500 BCE (antérieur au Préclassique moyen) Émergence du socio-écosystème maya : les premières interactions socio-environnementales

À la suite d'une période qualifiée de pré-anthropique marquée par l'absence d'indice d'anthropisation et de marqueurs archéologiques d'une occupation de la zone (P0), cette période P1 se caractérise par les premiers indices d'une ouverture localisée de la forêt et d'une exploitation des ressources édaphiques et biologiques (CASTANET *et al.* 2021a; 2021b; NONDÉDÉO *et al.* 2020; PURDUE *et al.* 2019; TESTÉ 2020) (fig. 3). Les impacts anthropiques sur les milieux biophysiques restent vraisemblablement encore assez faibles et réversibles. Ces premières traces d'anthropisation relatives à des occupations précéramiques observées dans le

secteur d'étude sont parmi les plus anciennes de l'EIR des BTMm (WAHL *et al.* 2007).

Période 2 : D'environ 1 500 BCE à environ 600 BCE (antérieur au Préclassique moyen) Première forte emprise des populations mayas sur les milieux biophysiques

Cette seconde période fut marquée par les premiers impacts anthropiques forts sur les milieux biophysiques (hydrosystèmes, systèmes morphogéniques, sols, forêt). Les zones collinaires connurent des défrichements à des fins agricoles, une érosion accrue des sols et des formations superficielles et l'amorce possible des premiers terrassements des versants (CASTANET *et al.* 2021a; 2021b). La rectification des *bajos* à des fins agricoles fut amorcée par la création de complexes de champs surélevés et drainés (CASTANET *et al.* 2019b). Des sols de la zone collinaire ont également été cultivés (PURDUE *et al.* 2019) (fig. 3). Ces occupations débutèrent en même temps que les occupations voisines du secteur de Mirador (dont Nakbe), datées à 1 400 BCE (HANSEN 1998; WAHL *et al.* 2014), et que les occupations plus éloignées du bassin du lac Salpetén (ROSENMEIER *et al.* 2002). Cette étude confirme l'occupation précoce des BTMm par les communautés de *bajos* (KUNEN *et al.* 2000) et précise ses extensions temporelle et spatiale depuis au moins environ 1 500 BCE au cœur de l'EIR. Toutefois, pour ce qui concerne les données strictement archéologiques, il faudra attendre la phase suivante pour observer les premières traces d'occupation associées à des contextes et à du matériel (NONDÉDÉO *et al.* sous presse).

Période 3 : D'environ 600 BCE à environ 150/200 CE (Préclassique moyen et récent) Emprise maximale du Préclassique

Entre environ 600 BCE et environ 200 BCE (Préclassique moyen et récent), survient la phase la plus importante de transformation des milieux et des paysages du Préclassique dans des conditions environnementales plus humides (CASTANET *et al.* 2021a, b). L'érosion dans les zones collinaires et le transfert sédimentaire depuis les zones hautes (sources) vers les zones basses (puits) furent maximales (alluvionnement et colluvionnement), vraisemblablement en réponse à l'emprise agricole et à la gestion forestière. Une grande partie des nombreux vestiges de terrassements identifiés et attribués au Préclassique grâce à leur proximité avec les sites et les habitats datés (fig. 3), a probablement été établie durant tout ou partie de cette période (CASTANET *et al.* 2021a; 2021b). Les systèmes agraires établis précédemment dans les *bajos* ont été maintenus, tandis que les sols cultivés

des marges des *bajos* ont bénéficié des apports sédimentaires issus de l'érosion des zones hautes, également cultivées (CASTANET *et al.* 2021a ; 2021b ; CASTANET *et al.* 2019b ; PURDUE *et al.* 2019). La population s'est donc accrue dans l'ensemble du territoire. L'habitat y était dispersé et sa distribution plutôt homogène (HIQUET 2020b ; HIQUET 2020c ; NONDÉDÉO *et al.* 2020) (fig. 3). Cette évolution fut contemporaine de l'essor du centre politique local de Kunal et des centres régionaux de Mirador et de Nakbe (NONDÉDÉO *et al.* sous presse ; HANSEN 1998). Le développement urbain amorcé entre 900 et 600 BCE dans ce secteur de l'EIR fut ainsi soutenu par une occupation régionale accrue des hinterlands des cités et une augmentation de l'exploitation des ressources. En retour, il impacta les systèmes hydrologiques, biologiques, morphogénétiques et sédimentaires de façon irréversible et à large échelle (CASTANET *et al.* 2021a ; 2021b).

La période comprise entre environ 200 BCE et 150/200 CE, équivalente au Préclassique récent, est vraisemblablement marquée par le maintien de l'emprise des populations sur les milieux, en lien avec les systèmes agraires et agroforestiers établis préalablement. À la suite des dynamiques survenues durant la période précédente (phase d'atterrissement²⁰), les zones humides des *bajos*, des vallées et des dolines étaient alors fortement modifiées. Durant cette période, les apports sédimentaires dans les zones basses furent réduits, vraisemblablement en réponse à la réduction des stocks sédimentaires lors de la phase érosive de la période précédente (période 3) et/ou aux nombreux aménagements hydrauliques et agraires établis dans les bassins versants du territoire (CASTANET *et al.* 2021a ; 2021b) (fig. 3). La réduction anthropique de la connectivité hydrosédimentaire a été observée par ailleurs dans les BTMm (WAHL *et al.* 2013).

Période 4 : D'environ 150/200 CE à 550/600 CE (Classique ancien) Emprise accrue, relative à l'essor de la cité de Naachtun

L'exploitation des ressources évolua de pair avec l'émergence de l'épicentre monumental de la cité classique de Naachtun vers 150 CE et de plusieurs centres secondaires de son hinterland. L'emprise des populations sur les milieux biophysiques du territoire de subsistance fut accrue. La population de la zone résidentielle autour de l'épicentre est estimée entre environ 200 et 300 habitants vers 150 CE, puis entre environ 600 et 1 200 habitants vers 400 CE (HIQUET 2020a). Durant le Classique ancien (150 – 550 CE), le détritisme alluvial augmenta et fut doublé d'un colluvionnement grossier

(CASTANET *et al.* 2021a ; 2021b). Ce dernier survint durant l'apogée de la construction monumentale de la cité (Balam I et/ou Balam II) (HIQUET 2020a) (fig. 3). Les héritages préclassiques concernant les potentialités des milieux géographiques et les modalités d'exploitation et de gestion des ressources ont vraisemblablement partiellement perduré durant le Classique ancien. Cela concerne la gestion des bois, les pratiques agricoles et agroforestières et la gestion de l'eau (CASTANET *et al.* 2019b ; DUSSOL *et al.* 2021 ; PURDUE *et al.* 2019).

Période 5 : D'environ 550/600 à environ 950 CE (Classique récent / Classique terminal) Emprise maximale relative à l'apogée démographique du Classique récent

L'évolution vers l'apogée démographique (~750 – 830 CE) du Classique récent²¹ a fortement accru la demande sociale en ressources sur l'ensemble du territoire. Concernant le site de Naachtun, cette demande a été multipliée par deux, *a minima*. À l'échelle de l'hinterland, l'habitat était alors plus groupé et plus étendu (avec l'émergence de vastes zones résidentielles) que durant les périodes précédentes. La population de la cité de Naachtun fut alors comprise entre environ 1 600 et 2 500 habitants (HIQUET 2020a), tandis que celle du territoire (étudié sur 135 km²) est estimée entre environ 17 250 et 39 300 habitants (CANUTO *et al.* 2018 ; HIQUET 2020a ; 2020c). L'intensification de la productivité agricole fut de mise (maximisation) ; les terrassements se poursuivirent, et la densité de réservoirs théoriquement exploitables fut alors la plus forte, toutes périodes confondues. Durant l'épisode 550/600 – ~950 CE, le détritisme alluvial s'est accru en réponse à l'augmentation des surfaces consacrées à l'habitat, aux cultures, aux carrières et aux différents espaces publics (CASTANET *et al.* 2021a ; 2021b), tandis que les modalités de gestion des bois évoluèrent en profondeur aux alentours de 750 CE (DUSSOL *et al.* 2021) (fig. 3). Ces éléments indiquent une très forte demande sociale en ressources hydrologiques, édaphiques et biologiques et ont probablement nécessité un ajustement dans les modalités de leur exploitation et de leur gestion en regard de la capacité de charge du milieu.

Période 6 : D'environ 950 à environ 1 150 CE (Classique terminal / Postclassique) Déclin, déprise majeure puis abandon définitif

Avec le déclin de Naachtun vers environ 950 CE et l'abandon progressif du site (NONDÉDÉO *et al.* 2021 ; SION

20. Evolution de certains milieux lacustres et palustres vers des milieux plus exondés (terrestres) en réponse aux apports alluviaux et colluviaux.

21. Cette évolution de la population du territoire de Naachtun s'inscrit dans le phénomène d'apogée démographique observé dans l'ensemble des BTMm au Classique récent (CANUTO *et al.* 2018).

2016; DUSSOL *et al.* 2019), l'exploitation des ressources et, plus largement, l'emprise sur les milieux biophysiques chutèrent fortement. L'épisode plus sec identifié dans le territoire de subsistance à cette période, ainsi que régionalement (DOUGLAS *et al.* 2016), n'a pu que défavoriser le maintien des hauts rendements agricoles obtenus préalablement (CASTANET *et al.* 2021a; 2021b) (fig. 3). Ces dernières dynamiques sont comparables à celles vécues par de nombreuses autres cités des BTMm entre 750 et 1 050 CE (AIMERS 2007; TURNER, SABLOFF 2012). L'exploitation réduite des ressources a ensuite perduré durant une partie du Postclassique ancien (950 – 1 150 CE), en lien avec le maintien d'une population résiduelle (CASTANET *et al.* 2021a; 2021b; DUSSOL *et al.* 2019). Ces observations soutiennent la thèse de la persistance d'une présence humaine sporadique dans l'EIR des BTMm, comme cela fut montré sur la base de preuves paléoécologiques, dans le bassin du lac Paixban jusqu'à l'arrivée des Européens (WAHL *et al.* 2016), et des sources écrites (VILLAGUTIERRE SOTO-MAYOR, 1983).

Pour la période ultérieure allant jusqu'à l'Actuel (P7), les archives morphologiques et sédimentaires étudiées au sein de ce secteur d'étude n'ont pas révélé d'indice d'occupation et d'exploitation des milieux biophysiques.

CONCLUSIONS

Le socio-écosystème mis en place dans ce secteur d'étude des BTMm a duré pendant au moins 2 500 ans. L'espace géographique de cette étude fut donc le témoin d'une très longue période d'occupation de l'EIR et de l'Anthropocène précoce maya (BEACH *et al.* 2015). Au sein des BTMm, les plus fortes densités de structures d'habitat et les plus importantes superficies de *bajos* aménagées à des fins agricoles ont été identifiées dans le secteur de Naachtun (CANUTO *et al.* 2018), caractérisant donc des territoires, milieux géographiques et paysages palimpsestes construits durant plus de deux millénaires.

La dynamique de ce socio-écosystème a évolué selon six périodes principales de durée pluriséculaire, révélant à la fois des changements et des continuités sociétales et environnementales. Ce système s'est maintenu malgré la fluctuation des forçages internes et externes à laquelle il a été soumis. Les fortes transformations environnementales (hydrologiques, morphogénétiques, pédologiques et biologiques) survenues durant le Préclassique, et résultant de l'exploitation des ressources durant plus de 1 500 ans, n'ont pas été de nature à empêcher l'essor et le rayonnement d'une capitale régionale maya, dans le même espace géographique et durant environ huit siècles supplémentaires, à la période classique.

Parmi les facteurs de résilience de ce système complexe, se trouvent des caractéristiques intrinsèques aux

écosystèmes (capital et processus physiques, chimiques, biologiques, fonctionnement écologique, etc.) et aux socio-systèmes (démographie, connaissances, systèmes techniques, rapport à la nature, organisation, etc.) qui le constituent. À l'interface de ces systèmes, les interactions socio-environnementales ont contribué au façonnage des territoires, milieux géographiques et paysages palimpsestes, ainsi qu'à la gestion des ressources (eau, biomatériaux et géomatériaux) et des risques environnementaux par les anciens Mayas, et ce sur le temps long. Les résiliences à la fois environnementales, politiques et culturelles ont ainsi contribué conjointement à la durabilité du socio-écosystème.

Le forçage de plusieurs changements de dynamiques socio-écosystémiques identifiés pose question et devra être analysé. Parmi eux, l'apogée démographique et les épisodes récurrents de sécheresses accrues de la fin du Classique récent pourraient avoir contribué au franchissement d'un seuil systémique et avoir favorisé le déclin de ce socio-écosystème. Néanmoins, ce déclin pourrait également avoir résulté, en tout ou en partie, d'un forçage sociétal régional de nature socio-économique, au sein et au-delà des BTMm (AIMERS 2007; TURNER, SABLOFF 2012).

Les développements futurs de ces recherches viseront donc à renforcer nos connaissances sur la complexité des interactions socio-environnementales survenues ainsi que sur les dynamiques spatiales et temporelles du socio-écosystème. La durabilité et l'autosuffisance de ce dernier au sein du territoire de subsistance seront évaluées et analysées. Pour cela, il sera nécessaire d'estimer qualitativement et quantitativement la capacité de charge du milieu, la demande sociale en ressources, et cela en fonction du nombre d'habitants, des stratégies de gestion connues ou supposées des ressources par les anciens Mayas et des conditions paléoclimatiques établies.

REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du programme Petén Norte NAACHTUN (2010-2022) dirigé par P. Nondédéo (soutiens : le ministère français de l'Europe et des Affaires étrangères, le CNRS, l'université Paris 1, la Fondation Pacunam, la société Perenco et la fondation Simone et Cino Del Duca), du projet MAYANAT – *Dynamique d'un socio-écosystème maya dans le territoire de subsistance de la cité de Naachtun (Petén, Guatemala) entre 1 500 BCE et 1 000 CE : ressources, risques, résiliences et rapports à la nature en Mésoamérique précolombienne* (2020-2021) – coordonné par C. Castanet (soutiens : CNRS INEE, PEPS NOURANAT), du projet PAYAMA – *Paysages agraires d'hier et d'aujourd'hui en terre maya* (2017-2018) – coordonné par A. Garnier et E. Lemonnier (soutien : LabEx DynamiTe) et du projet HYDROAGRO – *Dynamiques croisées des sociétés et*

des milieux dans les Basse-Terres mayas : coévolution, crises et résiliences à Naachtun (Guatemala) (2014-2016) – coordonné par E. Lemonnier et C. Castanet (soutien : Université Paris 1). Ces travaux ont également reçu le soutien financier du LabEx DynamiTe (ANR-11-LABX-0046), dans le cadre du programme « Investissements d’Avenir ». Ils contribuent aux activités du Cemca en Amérique centrale. Les travaux de terrain ont été entrepris avec l’autorisation de l’*Instituto de Antropología e Historia (IDAEH) de Guatemala* et avec le concours des ouvriers du village de Uaxactun.

BIBLIOGRAPHIE

- AIMERS J.-J. 2007. « What Maya Collapse? Terminal Classic Variation in the Maya Lowlands ». *J. Archaeol.*, Res 15 : 329-77. doi : 10.1007/s10814-007-9015-x.
- BAILEY G.-N. 2005. « Site catchment analysis », in : RENFREW C., BAHN P. (eds), *Archaeology : the key concepts*. London, Routledge : 230-235.
- BEACH T., LUZZADDER-BEACH S., COOK D., DUNNING N., KENNETT D., KRAUSE S., TERRY R., TREIN D. & VALDEZ F. 2015. « Ancient Maya impacts on the Earth’s surface : an Early Anthropocene analog? ». *Quat. Sci. Rev.*, 124 : 1-30.
- BERNARD A. J. M. 2013. « Hinterland », in : LÉVY J., LUSSAULT M. (dir.), *Dictionnaire de la géographie*. Paris, Belin : 497-498.
- CANUTO M. A., ESTRADA-BELLI F., GARRISON T. G., HOUSTON S. D., ACUÑA M. J., KOVAC M., MARKEN D., NONDÉDÉO P., AULD-THOMAS L., CASTANET C., CHATELAIN D., CHIRIBOGA C. R., DRAPELA T., LIESKOVSKÝ T., TOKOVININE A., VELASQUEZ A., FERNANDEZ-DIAZ J. C. & SHRESTHA R. 2018. « Ancient lowland Maya complexity as revealed by airborne laser scanning of northern Guatemala ». *Science*, 361. DOI : 10.1126/science.aau0137.
- CASTANET C. 2016. Estudios del medio ambiente : Hidrología y sedimentología (Operación IV.6). In : NONDÉDÉO P., MICHELET D., HIQUET J., GARRIDO L. (eds.), *Proyecto Petén-Norte Naachtun 2015-2018* : 343-396. Informe Final de la séptima Temporada de Campo 2016. Guatemala ciudad, CNRS/ Université Paris 1/ CEMCA. Informe entregado al Instituto de Antropología e Historia de Guatemala.
- CASTANET C. 2019. Caracterización de los “wetland features” (Operación IV.6). In : NONDÉDÉO P., BEGEL J., MICHELET D., GARRIDO L. (eds.), *Proyecto Petén-Norte Naachtun 2015-2018* : 211-228. Informe Final de la Novena Temporada de Campo 2018. Guatemala city, CNRS/ Université Paris 1/ CEMCA. Informe entregado al Instituto de Antropología e Historia de Guatemala.
- CASTANET C., CAVERO J., DEVELLE-VINCENT A.-L., DORISON A., DUSSOL L., GROUARD S., HATTÉ C., HIQUET J., LANOS P., MOKADEM F., NONDÉDÉO P., PURDUE L., TESTÉ M. & TOMADINI N. 2021a. *Rapport scientifique du projet MAYANAT : dynamique d’un socio-écosystème maya dans le territoire de subsistance de la cité de Naachtun (Petén, Guatemala) entre 1500 BCE et 1000 CE : ressources, risques, résiliences et rapports à la nature en Mésoamérique précolombienne*. CNRS-INEE, PEPS NOURANAT, 285 p.
- CASTANET C., FERNANDES A., GARNIER A., TESTE M., BOMPARD M., CAVERO J., DEVELLE A. L., SIPOS G., DUSSOL L., PURDUE L., LEMONNIER E. & NONDEDEO P. 2019b. « Hydro-agro-system of the wetlands in the Central Maya Lowlands: The wetland features of the bajos in the hinterland of Naachtun (Petén, Guatemala) ». *Paper presented in Millennial Tropical Agricultures workshop*. Nice : Cepam, 1-3 octobre.
- CASTANET C., NONDÉDÉO P., DUSSOL L., TESTE M., PURDUE L., HIQUET J., LEMONNIER E., GARNIER A., DORISON A., TOMADINI N., GROUARD S., GOUDIABY H., MORALES-AGUILAR C., LIMONDIN-LOZOUET N., CAVERO J., DEVELLE-VINCENT A.-L., HATTE C., LANOS P., MOKADEM F. & SIPOS G. 2021b. *Dynamics and sustainability of the Maya socio-ecosystem of the hinterland of Naachtun, between 1500 BCE and 1000 CE (Southern Maya Lowlands, Petén, Guatemala)*. EGU General Assembly 2021, online, 19-30 Apr 2021, EGU21-9655, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-9655>.
- CASTANET C., NONDÉDÉO P., LEMONNIER E., PURDUE L., DORISON A., CUENOT J.-F., PAGEAU J., HIQUET J., MICHELET D., BEGEL J., MORALES-AGUILAR C. & GARRIDO L. 2019a. El LiDAR como herramienta para un acercamiento a la gestión de los recursos naturales (agua y suelos) : el caso de Naachtun, Petén, Guatemala. In : *XXXII Simposio de investigaciones arqueológicas en Guatemala, 23-27 de julio de 2018* : 665-677. Guatemala, Museo Nacional de Arqueología y Etnología de Guatemala.
- CASTANET C., NONDÉDÉO P., TESTE M., PURDUE L., HIQUET J., LEMONNIER E., GARNIER A., GOUDIABY H., DORISON A., TOMADINI N., GROUARD S., MORALES-AGUILAR C., LIMONDIN-LOZOUET N., CAVERO J., DEVELLE-VINCENT A. L., HATTE C., LANOS P. & MOKADEM F. 2020. « Dynamique du socio-écosystème maya du territoire de subsistance de la cité de Naachtun (Petén, Guatemala) entre 1500 av. et 1000 apr. J.-C. Développements méthodologiques et résultats préliminaires d’une approche systémique multiscalaire », in : *CIST2020 Proceedings. Population, Time, Territoires*. Paris-Condorcet : 204-209.
- CASTANET C., PURDUE L., LEMONNIER E. & NONDEDEO P. 2016. « Dynamiques croisées des milieux et des sociétés dans les Basses-Terres tropicales mayas : hydrosystème et agrosystème à Naachtun (Guatemala) ». *Les Nouvelles de l’archéologie*, 142 : 32-37. DOI : <https://doi.org/10.4000/nda.3275>.
- COTOM J., 2019. « ¿Y cómo los hicieron? : la manufactura de los objetos de concha del Clásico Tardío-Terminal (c. 750-950/1000 d.C.) en Naachtun, Guatemala ». Master inédit du Colegio de Michoacan, Mexique.
- DEEVEY E. S. 1978. « Holocene forests and Maya disturbance near Quexil Lake, Petén, Guatemala ». *Polskie Archiwum Hydrobiologii*, 25 : 117-129.
- DODGSHON R. 1973. « The Nature and Development of Infield-Outfield in Scotland ». *Transactions of the Institute of British Geographers*, 59 : 1-23. DOI : 10.2307/621709.
- DORISON A. 2020. « Cartographie des aménagements agraires dans les uplands de la microrégion de Naachtun », in : NONDÉDÉO P. (ed.), *Projet Petén-Norte Naachtun 2019-2020 (Petén, Guatemala) - Rapport 2020*. MEAE-CNRS-CEMCA : 29-34.

- DOUGLAS P. M. J., DEMAREST A. A., BRENNER M. & CANUTO M. A. 2016. « Impacts of Climate Change on the Collapse of Lowland Maya Civilization ». *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 44 : 613-645.
- DUNNING N. P., BEACH T. & LUZZADDER-BEACH S. 2012. « Kax and kol: collapse and resilience in Lowland Maya Civilization ». *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 109 : 3652-3657.
- DUSSOL L. 2017. *Feux et forêts mayas. Usages et gestion des combustibles ligneux dans les Basses-Terres centrales mayas à la période Classique: le cas du site de Naachtun, Petén, Guatemala, approche anthracologique*. Thèse de doctorat.
- DUSSOL L., ELLIOT M., MICHELET D. & NONDÉDÉO P. 2021. « Fuel economy, woodland management and adaptation strategies in a Classic Maya city: applying anthracology to urban settings in high biodiversity tropical forests ». *Vegetation History and Archaeobotany*, 30:175-192. DOI: 10.1007/s00334-020-00776-0.
- DUSSOL L., SION J. & NONDÉDÉO P. 2019. « Late fire ceremonies and abandonment behaviors at the Classic Maya city of Naachtun, Guatemala ». *Journal of Anthropological Archaeology*, 56, 101099. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaa.2019.101099>.
- FORD A. & HORN S. 2018. « Above and below the Maya forest. Advanced remote sensing technology raises questions about settlement and land use ». *Science*, 361, 6409: 1313-1314. DOI: 10.1126/science.aav0887.
- GEORGE P., 1970. *Dictionnaire de la Géographie*. Paris: PUF.
- GOUDIABY H. 2020. Análisis isotópicos sobre los restos óseos humanos de Naachtun. In: CASTANET C., DUSSOL L., FERNANDES A., GOUDIABY H. (eds.), *Análisis ambientales e isotópicos del sitio arqueológico Naachtun (Petén-Norte, Guatemala). Informe sobre los análisis realizados sobre los materiales exportados en 2018*: 52-61. Presentado al Departamento de Monumentos Prehispánicos y Coloniales y al Instituto de Antropología e Historia de Guatemala.
- HANSEN R. D. 1998. « Continuity and Disjunction: The Pre-Classic Antecedents of Classic Maya Architecture ». *Function and Meaning in Classic Maya Architecture*. Washington: Dumbarton Oaks: 49-122.
- HIQUET J. 2020a. *Essor monumental et dynamiques des populations. Le cas de la cité de Naachtun (Guatemala) au Classique ancien (150 – 550 apr. J.-C.)*. Thèse de doctorat non publiée, Paris.
- HIQUET J. 2020b. « Analyse chronologique et spatiale des structures archéologiques identifiées sur la couverture lidar de la micro-region de Naachtun », in: NONDÉDÉO P. (éd.), *Projet Petén-Norte Naachtun 2019-2020 (Petén, Guatemala)-Rapport 2020*. MEAE- CNRS-CEMCA: 12-16.
- HIQUET J. 2020c. « Étude dans la diachronie de l'occupation de la micro-region de Naachtun », in: NONDÉDÉO P. (éd.), *Projet Petén-Norte Naachtun 2019-2020 (Petén, Guatemala)-Rapport 2020*. MEAE-CNRS-CEMCA: 17-21.
- JOHNSTON K. J. 2002. « Protrusion, Bioturbation, and Settlement Detection during Surface Survey: The Lowland Maya Case ». *Journal of Archaeological Method and Theory*, 9, 1: 1-67.
- KILLION T.W. 1992. *Gardens of Prehistory. The Archaeology of Settlement Agriculture in Greater Mesoamerica*. Tuscaloosa: University of Alabama Press, 352.
- Kunen J. L., Culbert T., Fialko V., MCKEE R. & GRAZIOSO L. 2000. « Bajo communities: a case study from the central Petén ». *Culture & Agriculture*, 22, 3: 15-31.
- LE BERRE Y. 1995. « Territoires », in BAILLY A., FERRAS R., PUMAIN D. (dir.), *Encyclopédie de Géographie*. Paris, Éd. Economica : 601-622.
- LEVEQUE C., MUXART T., ABBADIE L., WEILL A. & VAN DER LEEUW S. 2003. « L'anthroposystème: entité structurelle et fonctionnelle des interactions sociétés-milieus », in: VAN DER LEEUW S., LÉVÊQUE C. (éd.), *Quelles natures voulons-nous? Pour une approche socio-écologique du champ de l'environnement*. Paris, Elsevier (coll. environnement): 110-129.
- MORALES-AGUILAR C. 2020. Sondeos arqueológicos en Kunal sur, Petén, Guatemala (Operación III-2). In: NONDÉDÉO P., BEGEL J., L. GARRIDO L. (eds.), *Proyecto Petén-Norte Naachtun 2019-2022*: 99-116. Informe de la Décima Temporada de Campo 2019. CNRS/ Université Paris 1/ CEMCA. Informe entregado al Instituto de Antropología e Historia de Guatemala.
- MORALES-AGUILAR C. & CASTANET C. 2016. Análisis preliminares de la imagen LiDAR de la microregión de Naachtun (Operación I.5). In: NONDÉDÉO P., MICHELET D., HIQUET J., GARRIDO L. (eds.), *Proyecto Petén-Norte Naachtun 2015-2018*: 53-83. Informe Final de la séptima Temporada de Campo 2016. Guatemala ciudad, CNRS/ Université Paris 1/ CEMCA. Informe entregado al Instituto de Antropología e Historia de Guatemala.
- NIGH R. & DIEMONT A. W. 2013. « The Maya milpa: fire and the legacy of living soil ». *Front Ecol Environ*, 11 : 45-54. DOI: 10.1890/120344.
- NONDÉDÉO P. 2017. « Naachtun: organisation, essor et histoire d'une capitale régionale maya ». *Comptes rendus de l'Académie des Inscriptions et Belles Lettres 2017*: 1211-1228.
- NONDÉDÉO P., CASTANET C., PURDUE L., LEMONNIER E., DUSSOL L., HIQUET J., GARNIER A. & TESTE M. 2020. « Archaeological and Paleo-Environmental Reconstructions in the Tropical Maya Area: The Case of Naachtun (Guatemala) », in: TSIRTSONI Z., KUZUCUOGLU C., NONDÉDÉO P., WELLER O. (eds.), *Different Times? Archaeological and Environmental Data from Intra-Site and Off-Site Sequences*. Archaeopress Publishing: 94-110.
- NONDÉDÉO P. & DORISON A. 2017. « Análisis preliminar de la imagen LiDAR (Operación I.5) », *Proyecto Petén-Norte Naachtun 2015-2018. Informe de la Octava Temporada de Campo 2017*. Guatemala ciudad: 15-18, 18 fig.
- NONDÉDÉO P., LEMONNIER E., HIQUET J., PURDUE L., CASTANET C. & DUSSOL L. sous presse. « Shaping an agrarian maya town: settlement pattern and land use dynamics at naachtun », in: MARKEN D. B., ARNAULD M.-C. (eds.), *The Flexible Maya City: Attraction, Contraction, and Planning in Lowland Urban Dynamics*. University Press of Colorado.
- NONDÉDÉO P., SION J., LACADENA A., CASES I. & HIQUET J. 2021. « From Nobles to Kings: the Political and Historical Context of Naachtun at the End of the Classic Period », in: OKOSHI T., CHASE A. NONDÉDÉO P., M.-C. ARNAULD (eds.), *Maya Kingship: Rupture or Transformation from Classic to Postclassic Times*. University Press of Florida: 86-105.
- PATIÑO A. 2013. *Pottery, Differentiation, Integration, and Politics: Ceramic Consumption and Manufacture in Naachtun during the Preclassic and the Early Classic Periods*. Thèse de doctorat, Calgary.

- PERLA-BARRERA D. & SION J. 2018. « Operación IV.1 : Análisis cerámico de la Temporada 2017 », *Proyecto Petén-Norte Naachtun 2015-2018: Informe de la Octava Temporada de Campo 2017*: 215-244.
- PURDUE L. 2014. Agricultura y subsistencia (Operación IV.7). In : NONDÉDÉO P., HIQUET J., MICHELET D., SION J., GARRIDO L. (eds.), *Proyecto Petén-Norte Naachtun 2010-2014*: 579-592. Informe Final de la Quinta Temporada de Campo 2014. CNRS/ Université Paris 1/ CEMCA. Informe entregado al Instituto de Antropología e Historia de Guatemala.
- PURDUE L. 2018. Agricultura y subsistencia (Operación IV.7a). In : NONDÉDÉO P., MICHELET D., BEGEL J., GARRIDO L. (eds.), *Proyecto Petén-Norte Naachtun 2015-2018*: 345-356. Informe Final de la Octava Temporada de Campo 2017. CNRS/ Université Paris 1/ CEMCA. Informe entregado al Instituto de Antropología e Historia de Guatemala.
- PURDUE L., DUSSOL L., TESTE M., LEMONNIER E., BLASCO T., MONTANES T., CASTANET C., GARNIER A. & NONDÉDÉO P. 2019. « Identification and Characterization of Ancient Agricultural Landscapes and Practices in Upland Tropical Environments (Central Maya lowlands, Naachtun-Guatemala) ». *Paper presented in Millennial Tropical Agriculture workshop*. Nice : Cepam, 1-3 octobre.
- ROSENMEIER M. F., HODELL D. A., BRENNER M., CURTIS J. H. & GUILDERSON T. P. 2002a. « A 4000 year lacustrine record of environmental change in the southern Maya lowlands, Petén, Guatemala ». *Quat. Res.*, 57 : 183-190.
- SHARER R. & TRAXLER L. 2006. *The Ancient Maya*. Palo Alto.
- SION J. 2016. « Caractérisation socio-économique des élites mayas au Classique terminal (800 – 950 apr. J.-C.) : le Groupe B-Sud de Naachtun (Guatemala) ». Thèse de doctorat de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- SOMERVILLE A. D., FAUVELLE M. & FROEHLE A. W. 2013. « Applying New Approaches to Modeling Diet and Status: Isotopic Evidence for Commoner Resiliency and Elite Variability in the Classic Maya Lowlands », *Journal of Archaeological Science*, 40, 3: 1539-1553. DOI: 10.1016/j.jas.2012.10.029.
- TESTE M. 2020. *Histoire naturelle des phytolithes des Basses-Terres Mayas. Implications pour la reconstitution des paléoenvironnements et des interactions sociétés-environnements*. Thèse de doctorat de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- TESTE M., GARNIER A., LIMONDIN-LOZOUET N., OXLAJ E., CASTANET C., PURDUE L., LEMONNIER E., DUSSOL L. & NONDÉDÉO P. 2020. « The phytoliths of Naachtun (Petén, Guatemala) : Development of a Modern Reference for the Characterization of Plant Communities in the Maya Tropical Lowlands ». *Review of Palaeobotany and Palynology*, 272 : 104-130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2019.104130>.
- TOMADINI N. & GROUARD S. 2020. « Étude archéozoologique : campagnes 2010-2014 », in : Nondédéo P. (éd.). *Projet Petén-Norte Naachtun 2019-2020 (Petén, Guatemala) - Rapport 2020*. MEAE-CNRS-CEMCA : 40-46.
- TURNER B. L., LAMBIN E. F. & REENBERG A. 2007. « The emergence of land change science for global environmental change and sustainability ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 104, 52 : 20666-20671.
- TURNER B. L. & SABLOFF J. A. 2012. « Classic period collapse of the central Maya lowlands: Insights about human-environment relationships for sustainability ». *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 109 : 13908-13914.
- WAHL D., BYRNE R. & ANDERSON L. 2014. « An 8700 year paleoclimate reconstruction from the southern Maya lowlands ». *Quat. Sci. Rev.*, 103 : 19-25.
- WAHL D., BYRNE R., SCHREINER T. & HANSEN R. D. 2007. « A Late Holocene record of settlement and abandonment in the Mirador Basin, Petén, Guatemala ». *Peten, Guatemala*. 8181, 17 : 813-820.
- WAHL D., ESTRADA-BELLI F. & ANDERSON L. 2013. « A 3400 year paleolimnological record of prehispanic human-environment interactions in the Holmul region of the southern Maya lowlands ». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 379-380 : 17-31.
- WAHL D., HANSEN R., BYRNE R. & ANDERSON L. 2016. « Holocene climate variability and anthropogenic impacts from Lago Paixban, a perennial wetland in Petén, Guatemala ». *Special issue on climate change and archaeology in Mesoamerica. Glob. Planet. Chang.*, 138 : 70-81.
- WHITMORE T. M. & TURNER B. L. 2001. *Cultivated Landscapes of Native Middle America on the Eve of Conquest*. Oxford.
- WRIGHT D. R., TERRY R. E. & EBERL M. 2009. « Soil Properties and Stable Carbon Isotope Analysis of Landscape Features in the Petexbatún Region of Guatemala ». *Geoarchaeology: An International Journal*, 24, 4 : 466-491.