

Le carbone séquestré dans les anthrosols archéologiques intertropicaux. Un patrimoine pour l'avenir.

Problématique

Contrairement à certaines idées reçues, les zones intertropicales ont abrité des phénomènes culturels brillants, dont l'archéologie ne prend la pleine mesure que depuis peu. Ces civilisations ont laissé une empreinte profonde, encore visible aujourd'hui grâce aux nombreux sites archéologiques que l'on découvre sous les forêts tropicales, mais aussi aux grâce aux paysages qui ont été très fortement anthropisés durant des millénaires. Il faut dire que ces civilisations intertropicales ont su élaborer des agricultures capables de préserver, voire d'augmenter, la fertilité des sols cultivés malgré de fortes contraintes physiques (texture des sols), climatiques (contraste saisonnier) et géochimiques (acidité des sols). Ecologues et archéologues se sont notamment rendu compte que les pratiques développées par ces communautés du passé ont modifié ces « anthrosols » qu'elles ont occupés et cultivés en jouant sur leur stock de carbone. Encore très prisées des agriculteurs amazoniens pour leur qualité agronomique, les anthrosols archéologiques appelé « terra preta » (terre noire en portugais) démontrent que certaines pratiques peuvent conditionner les propriétés des sols sur des échelles de temps plurimillénaires. De manière inattendue, ces patrimoines archéologiques, n'attire pas l'attention des équipes cherchant à lutter contre le réchauffement climatique et la faim dans le monde (par exemple l'initiative française 4p1000 ne fait pas mention de l'archéologie, <https://www.4p1000.org/fr>).

Si le but de ce contrat doctoral est de faire résolument entrer le patrimoine archéologique intertropicale dans les questions actuelles concernant la séquestration du carbone, sa question scientifique concerne précisément leur origine, si importante pour d'éventuels applications agricoles futures : quelles sont les pratiques qui sont à l'origine de la formation de ces anthrosols riches en carbone ? Derrières celles-ci, allons-nous retrouver toujours les mêmes phénomènes (invariants), ou bien va-t-on découvrir des processus toujours différents issus de particularités culturelles ? Quelle est le rôle des évolutions culturelle, et notamment des progrès dans la maîtrise de la combustion que l'on constate, par exemple, avec l'apparition de la métallurgie ?

Méthode

Pour tenter de répondre à ces questions nous avons commencé à développer une méthode originale d'analyse des sols archéologiques qui cible la matière organique (MO) en permettant de quantifier et de caractériser ses différents « pools », grâce au soutien du fond d'amorçage de l'Institut de Recherche pour le Développement¹. On peut ainsi différencier le carbone minérale (issu de la géologie) et organique (issu de matière vivante), et savoir si cette dernière provient plutôt de matière carbonisée ou de matière fraîche plus ou moins décomposée et incorporée dans le sol. Ces développements méthodologiques ont été réalisés sur des panels de sols représentatifs de situations archéologiques emblématiques en Bolivie et au Cameroun². Une série d'analyses préliminaires par analyse Rock-Eval[®] a ainsi fourni les bases d'une typologie des sols archéologiques à travers leur contenu en MO. Ils permettent de mettre en évidence trois types de pratiques :

-les apports exogènes de MO carbonisées (charbons). Les méthodes culturales produisant de la MO carbonisée sont diverses et n'atteignent pas toutes les mêmes températures : débroussaillage ponctuel, feu de savane, abattût-brulis forestier, écobuage, combustions réductrices diverses.

¹ Projet "Intertropical Anthrosols in archaeological studies: *What soil organic carbon teach us about ancient practices and societies?*", 2019-2021, budget de 38 000 euros.

² Malou O-P. et al., in prep. « Comment détecter les activités humaines sur les sols archéologiques intertropicaux ? » (soumis à la revue *Etude et gestion des sols*)

-*les amendements organiques frais*. Les méthodes d'enrichissement des sols sont très diverses et ont des implications sociales très différentes selon qu'il s'agit de répandre du fumier, des résidus de cuisines, des fèces humaines, etc.

-*les sols reconstruits par terrassement* (technosols). Depuis quelques années, les terrassements s'avèrent beaucoup plus nombreux qu'on ne le pensait en régions intertropicales. On les retrouve autant dans les régions à forte déclivité, qu'en plaine, en zone humide comme en région sèche. Ces pratiques ne semblent pas intégrer l'utilisation du feu.

Le protocole d'analyse des anthrosols que nous avons développé a permis une collaboration novatrice avec l'Institut Français du Pétrole - Énergies Nouvelles (Malou et al. in prep.) et l'UMR METIS (SU-CNRS). Il sera affiné par des analyses complémentaires permettant de reconstituer les paléo températures des MO carbonisées (notamment par la méthode spectroscopique), ce qui précisera leurs modes de production.

Objectifs

L'objectif de la thèse sera de le généraliser le protocole dans le temps et dans l'espace et d'appliquer la typologie. On reproduira donc les analyses Rock-Eval[®] sur de nombreux échantillons provenant de sites archéologiques de différentes régions.

Le doctorant, dont le profil sera de préférence issu d'un cursus en sciences expérimentales (science du sol, science de la terre, science de l'environnement). Il étudiera trois grandes séries d'échantillons, de sols archéologiques provenant de sites emblématiques, déjà collectés, bien documentés, et dont les stratigraphies ont été précisément datées au ¹⁴C.

Les résultats concernant la caractérisation et la quantification du carbone des anthrosols pourront ainsi être rattachés aux familles de pratiques agraires les plus probables qui sont à leur origine, et confrontés aux analyses archéologiques. Pour atteindre cet objectif, chaque série analysée constituera une étape de l'objectif général.

Étape 1 : De tous les anthrosols *les terra preta* amazoniennes sont les plus spectaculaires et les mieux analysés. Comme l'on sait déjà qu'ils contiennent des particules de charbon, il sera prioritaire d'utiliser la typologie que nous avons obtenue en diversifiant les sites et les périodes chronoculturelles afin de vérifier si les processus de formation sont communs ou non. Cette étape pourra s'appuyer sur les équipes de spécialistes déjà contactées lors du projet soutenu par l'IRD, notamment Eduardo Neves de l'université de Sao Polo, Manuel Arroyo-Kalin de University College of London, et Wenceslao Texeira de l'EMBRAPA au Brésil.

Étape 2 : Le doctorant recevra d'autres échantillons d'anthrosols décrits en Amérique du sud (champs surélevés de Bolivie et de Guyanes) et en Mésoamérique (terres maya, chinampas mexicaines) afin de déceler les points communs et les différences fondamentales. Cette région regroupe également des équipes déjà impliquée dans le projet initial de l'IRD (Umberto Lombardo de l'Université de Bern) et permettra également de s'appuyer sur le partenariat stratégique de Sorbonne Université avec l'UNAM (Mexique).

Étape 3 : On élargira enfin à d'autres régions, afin de bien faire contraster les résultats :

i- l'Afrique de l'Ouest et Afrique centrale conserve des anthrosols encore mal connus dont certains ont été publiés tandis que d'autres sont encore en cours d'analyse. Le directeur de ce doctorat, Geoffroy de Saulieu (archéologue IRD), conduit des fouilles en Afrique centrale (Cameroun et Gabon) et participe à la mission archéologique Ife-Sungbo au Nigeria en collaboration avec l'Université William & Mary aux (USA) et l'Université Obafemi Awolowo (Nigéria). Par ailleurs il coordonne un Work Package sur les anthrosols du Bas-Ogooué au Gabon financé par le Belmont Forum VULCAR-FATE³

ii- Quelques analyses sur des échantillons provenant d'anthrosols européens, méditerranéens et asiatiques seront également réalisées en fonctions des collaborations en cours ou à venir,

³ <https://vulcar-fate.obs-mip.fr/>

notamment avec le laboratoire Archéologie Environnementales codirigé par Pr. Christophe Petit (Umr7041), et d'autres équipes du CIRAD et de l'IRD.

Encadrement et chronogramme

Le doctorant sera dirigé par **Geoffroy de Saulieu**, archéologue tropicaliste, directeur de recherche (HDR) à l'IRD, UMR 208 « Patrimoines locaux, environnement et globalisation », basé au Muséum National d'Histoire Naturelle. Après avoir travaillé en Amazonie pendant une quinzaine d'année il développe des recherches en Afrique tropicale depuis 2010.

Il sera encadré par **Frédéric Delarue**, biogéochimiste spécialiste du carbone géologique, appartenant à l'UMR 7619 « Milieux environnementaux, transferts et interactions dans les hydrosystèmes et les sols » localisée sur le site Pierre et Marie Curie de Sorbonne Université. Cet encadrement permettra notamment de développer les analyses de spectroscopie visant à reconstituer les paléo températures de la MO carbonisée.

David Sebag, sédimentologue à l'Institut Français du Pétrole – Energie Nouvelle (IFPEN) est spécialiste de l'application de la méthode Rock-Eval® à des sols agricoles tropicaux et co encadrera le doctorant. Cette collaboration stratégique permettra de formaliser les liens avec l'IFPEN qui s'intéresse fortement aux questions de séquestration du carbone, et rendra possible la réalisation des analyses Rock-Eval® de caractérisation et de quantification de la MO.

Chronogramme :

| | Année 1 | Année 2 | Année 3 |
|--------------------------|---------|---------|---------|
| Rédaction | | | |
| Veille bibliographique | | | |
| Rock Eval étape 1 | | | |
| Rock Eval étape 2 | | | |
| Rock Eval étape 3 | | | |
| Spectroscopie | | | |
| Analyses complémentaires | | | |
| Rédaction d'articles | | | |

A noter : les analyses par Rock-Eval® sont rapides et généralement réalisées par série en quelques semaines. Le traitement des données est ensuite réalisé sur excel et matérialisé par des graphiques.

Perspectives :

Il s'agit d'un projet doctoral novateur et original qui met SU et l'Institut OPUS au cœur de la brûlante question de la séquestration du carbone. Au terme de son doctorat, la personne retenue possédera ainsi une spécialité valorisable à plusieurs niveaux, susceptible de proposer de nouvelles perspectives à SU, tout en encrant l'institut OPUS au centre de collaborations interdisciplinaires et internationales. Le sujet fera ainsi gagner l'Institut en visibilité et permettra de nombreuses valorisations médiatiques.

Il est tout à fait inattendu d'aborder les vestiges archéologiques par le biais de leur contenant, le sol, ce qui enrichit notablement la notion de patrimoine. Ce projet doctoral permet de montrer qu'à travers la MO léguée par les hommes du passé, on doit aujourd'hui considérer doublement ce patrimoine comme vital : témoin irremplaçable de l'histoire de l'humanité et stock de carbone à préserver pour l'avenir.