



Azraq al-Šišān, ‘Ayn Sawda Reservoir Project. Rapport de la mission d’étude menée du 9 au 21 mai 2016

Lorraine Abu Azizeh, Julie Bonnéric, Barbara Couturaud, Aurélien Stavy

► To cite this version:

Lorraine Abu Azizeh, Julie Bonnéric, Barbara Couturaud, Aurélien Stavy. Azraq al-Šišān, ‘Ayn Sawda Reservoir Project. Rapport de la mission d’étude menée du 9 au 21 mai 2016. [Rapport de recherche] Ifpo - Institut français du Proche-Orient. 2016. hal-03091537

HAL Id: hal-03091537

<https://hal.science/hal-03091537>

Submitted on 29 Mar 2021

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.

Azraq al-Šišan

ʿAYN SAWDA RESERVOIR PROJECT

Rapport de la mission d'étude menée du 9 au 21 mai 2016

Responsable du projet :

L. Abu-Azizeh, architecte, Ifpo Amman (MAE/CNRS - UMIFRE 6 - USR 3135)

Membres de l'équipe :

Dr. J. Bonnéric, archéologue, Ifpo Beyrouth

Dr. B. Couturaud, archéologue, ArScAn Paris

A. Stavy, architecte



Department of Antiquities
Hashemite Kingdom of Jordan

Table des matières

Introduction	p.03
I. Objectifs et résultats 2016	p.04
1.1. Azraq : relevé du mur sud	p.04
1.2. Amman : préparation des publications et de l'ICHAJ	p.04
1.3. Amman : étude du matériel archéologique	p.04
1.3.1. Le matériel faunique (étude réalisée par Hervé Monchot)	p.05
1.3.2. Le matériel céramique (étude réalisée par J. Bonnéric)	p.05
1.3.3. Le verre (étude réalisée par J. Bonnéric)	p.05
1.3.4. Le matériel lithique - amorce de l'étude	p.06
II. Analyse dendrochronologique et datations ¹⁴C	p.07
2.1. Analyse dendrochronologique	p.07
2.2. Datations ¹⁴ C	p.07
2.3. Conclusions	p.08
III. Impression des blocs	p.10
IV. Conclusions et perspectives	p.11
V. Bilan budgétaire	p.13
VI. Remerciements	p.13
Bibliographie	p.14
Illustrations	p.16
Annexe 1 : rapport de l'analyse faunique (H. Monchot)	p.27
Annexe 2 : rapport de l'étude de la céramique et du verre (J. Bonnéric)	p.30
Annexe 3 : étude dendrochronologique (CIPRES)	p.33
Annexe 4 : datations ¹⁴ C (CIRAM)	p.34
Annexe 5 : datations ¹⁴ C (CEDAD)	p.35
Annexe 6 : factures	p.36



Department of Antiquities
Hashemite Kingdom of Jordan



Introduction

Situé en Jordanie, dans la ville d'Azraq (**Fig.1**), le réservoir d'Ayn Sawda est partiellement intégré dans la Wetland Reserve et fait partie du patrimoine d'Azraq al Šiṣān. Depuis le début des années 80, l'oasis d'Azraq subit d'importants changements écologiques liés aux pompages excessifs dans la nappe phréatique pour répondre aux exigences agricoles. Suite à la baisse du niveau général des eaux dans l'oasis et à l'assèchement progressif de la source `Ayn Sawda (tarissement en 1993), sont apparus les vestiges archéologiques du réservoir et de structures proches, nécessitant des interventions archéologiques.

Lors des premiers travaux, menés en 1981 par une équipe du DoAJ (Dr. G. Bisheh¹), ont été découverts des blocs de basalte sculptés, en contrebas de la plateforme qui se trouve sur le côté E du réservoir. Les premiers travaux de restauration des vestiges ont également été initiés à cette époque. Une équipe américaine a conduit des travaux en 1998² puis C. Vibert-Guigue (CNRS), entre 2004 et 2010, avec l'objectif de découvrir et mettre en sécurité un maximum de blocs sculptés. Malgré de belles découvertes (69 blocs présentant des bas-reliefs³), la nécessité de faire évoluer le projet en étude architecturale et archéologique du réservoir et des blocs est rapidement apparue.

Ainsi, à la suite d'une mission relais effectuée en 2013 avec C. Vibert-Guigue, L. Abu-Azizeh (architecte, Ifpo Amman) a pris la direction du projet « Azraq `Ayn Sawda Reservoir Project ». Ce projet Ifpo est financé à la fois par le MAE et l'appel d'offres Jordanie du CNRS. L'équipe est composée de quatre membres permanents : deux architectes (L. Abu-Azizeh et A. Stavy) et deux archéologues (Dr. J. Bonnéric et Dr. B. Couturaud,). Les deux missions de terrain menées en mai 2014 et mai 2015 ont produit des résultats très intéressants qui reposaient sur un volet archéologique (fouilles) et un volet architectural (topographie, restauration, modélisation 3D). En 2016, une mission d'étude a eu lieu à Amman du 9 au 21 mai afin de faire le point sur les connaissances acquises sur le terrain, pour les mettre en parallèle avec les analyses ¹⁴C, pour étudier le matériel et pour réfléchir précisément sur la nature et la datation du site.

¹ Bisheh G., 1986.

² Watson R.P. & Burnett G.W., 2001.

³ Les rapports de fouille sont disponibles au DoAJ à Amman, 2004 et 2007 à 2010.

1. Mission d'étude du 9 mai au 21 mai 2016

La mission d'étude s'est déroulée en deux temps : d'abord à Azraq, puis à Amman.

1.1. Azraq – Relevé du mur sud

Le travail mené à Azraq le 10 mai 2016 avait pour objectif de documenter un long mur, déjà repéré et décrit par D.L. Kennedy, situé au sud du réservoir, à l'extérieur de la Wetland Reserve. L. Abu Azizeh, B. Couturaud et W. Esaid (DoAJ Azraq) ont procédé à un repérage complet des parties visibles du mur avant de le relever avec une station totale et des compléments manuels.

Le mur a été repéré sur une longueur de 1,6 km (**Fig.1** et **Fig.2**). Les premières traces se trouvent au bord du chemin qui borde les plantations au S de la clôture S de la Wetland Reserve. Le mur s'oriente vers le SE, en bordure des marécages, et quatre changements d'axes précèdent un angle qui marque un changement d'orientation clair vers le NE et le cœur de la zone humide. Nos observations ont révélé la similitude de l'architecture et des techniques de construction avec la structure N. La largeur du mur varie de 1,20 à 1,50 m. Des contreforts sont également répartis le long du mur, sur ses parements internes et externes. Bien que la plupart ne soient plus visibles, huit contreforts circulaires ont été repérés (diam. 1,05 m à 1,43 m) (**Fig.3**).

1.2. Amman – Préparation des publications et de l'ICHAJ

Entre le 11 et le 21 mai, L. Abu-Azizeh, J. Bonnéric et B. Couturaud ont travaillé à la préparation de la publication des résultats des trois années de travail à Azraq. Un article majeur est ainsi en cours d'élaboration. Il est prévu en anglais et paraîtra dans la revue éditée par le Département des Antiquités de Jordanie, ADAJ. Il présentera à la fois l'ensemble des résultats archéologiques et architecturaux de la mission et abordera également la question de la nature et de la datation du site.

En parallèle, a été préparée une conférence de présentation synthétique des résultats de la mission dans le cadre du 13th International Conference on the History and Archaeology of Jordan (ICHAJ), organisé à Amman par le DoAJ entre le 22 et le 27 mai 2016. La communication, intitulée « Azraq Ayn Sawda Reservoir Project, Results of the 2013-2016 seasons » a été donnée par L. Abu-Azizeh le 23 mai 2016.

La préparation de cette conférence et de la publication a été l'occasion d'une réflexion d'ensemble, mettant en perspective les données archéologiques, architecturales et topographiques acquises durant nos deux campagnes de terrain, ainsi que l'étude des blocs, les résultats des analyses ¹⁴C, etc. Cela nous a permis de formuler l'hypothèse d'un site qui serait non seulement un réservoir, mais également un enclos (d'où le terme de réservoir enclos), construit à la fin de la période Umayyade et transformé au début de la période abbasside.

1.3. Amman – Étude du matériel archéologique

Une mission d'étude était également nécessaire pour analyser le matériel mis au jour durant les deux campagnes de fouille (2014 et 2015) car il avait été, jusqu'à présent, seulement documenté. Bien que peu abondant, il nécessitait néanmoins l'intervention de divers spécialistes.

1.3.1. Le matériel faunique – Étude réalisée par Hervé Monchot (Labex Resmed – UMR 8167).

Les éléments de faune ont été principalement recueillis autour du massif C et au sud de ce dernier, dans le secteur F. Au total, une centaine de restes osseux ont attesté la présence de dromadaires, de bœufs, d'équidés et de caprins (**annexe 1**). Il convient également de noter la présence d'un fragment de poisson-chat, espèce vivant dans l'eau douce des rivières, des lacs mais aussi dans les zones marécageuses, ainsi que dans des zones fortement anthropisées – étangs, bassins d'oxydation, systèmes d'égout en milieu urbain. De manière générale, les restes osseux présentent des altérations liées à un environnement riche en eau.

Dans les trois sondages qui longent le massif C coté intérieur, et à l'exclusion des découvertes de surfaces ou de remplissages de puits probablement récents, la faune a été en très grande majorité retrouvée dans les couches argileuses les plus profondes, correspondant très certainement à des occupations néolithiques (cf. matériel lithique). Les restes appartiennent principalement à des dromadaires et à des caprins, bien que la présence de bœufs et d'équidés doive également être notée.

Il en va de même pour la faune retrouvée dans le secteur F, dans des couches argileuses correspondant altimétriquement à celles du massif C, où les restes appartiennent principalement aux caprins et dromadaires. Dans le sondage C1, la faune, attestant de la présence de dromadaire et d'un jeune chien, a été récupérée dans les mêmes couches que le matériel lithique, dans des contextes probablement perturbés. Enfin, d'autres sondages ont livré des restes en très petite quantité : dans le sondage B1, un reste de bœuf a été retrouvé, ainsi que dans le secteur A, en surface et dans la première couche argileuse blanchâtre, à l'extérieur de la structure circulaire.

1.3.2. Le matériel céramique – Étude réalisée par J. Bonnéric.

Très peu de matériel céramique a été mis au jour durant les deux campagnes conduites par le 'Ayn Sawdā Reservoir Project (**annexe 2**). Les secteurs B, E, J et H n'en ont pas livré. Petits et très fragmentaires, les tessons sont souvent mal préservés et présentent parfois des concrétions ou des altérations de surface. Provenant en outre de céramiques communes, ils sont donc difficiles à identifier. Si une centaine de tessons ont été découverts, correspondant à 27 individus, seuls deux tessons ont pu être datés (**Fig.4a à Fig.4e**). Ils se rattachent à une production caractéristique de la période Umayyade et qui débute à la fin de la période byzantine (Daviau & Beckmann 2001, Sauer 1982, Sodini & Villeneuve 1992). Le premier tesson umayyade, mis au jour dans la couche C 52 du sondage C4, provient d'une marmite côtelée et garde les traces de motifs sinusoïdaux peints en clair. Une trentaine de tessons se rattachent du même objet mais ne sont pas décorés. Cette marmite présente une lèvre simple, bien que légèrement épaissie. Le second tesson, mis au jour dans la couche F1 02 (sondage F1) est également côtelé et orné d'une ligne sinusoïdale peinte de couleur claire de la même période. Ces deux tessons proviennent de couches correspondant au remplissage, anthropique ou naturel, du réservoir suite à la réfection du massif C.

1.3.3. Le verre – Étude réalisée par J. Bonnéric.

Alors que le décapage de Cl. Vibert-Guigue avait révélé quelques fragments de bracelets et de perles en verre (VibertGuigue, 2004, fig. 36 ; 2007, fig. 49 ; 2008, fig. 51 ; 2009a, fig. 16), seuls deux fragments ont été découverts durant nos deux campagnes (**Fig.5 ; annexe 2**). Le premier est très fragmentaire et abimé. Il pourrait provenir d'un bracelet

bleu dont il est impossible de savoir s'il était orné. En revanche, le second fragment est une base de verre à piédouche découvert dans la couche F1 02, d'où provient un tesson à décor sinusoïdal umayyade. Cette base peut être rapprochée d'une production importante à l'époque byzantine et qui s'est poursuivie jusqu'à la période ayyoubide (mi V^e – mi XIII^e s.). En effet, la base conique, dont la circonférence est ourlée, supporte un pied creux. Le verre est transparent verdâtre. Cet exemplaire est assez proche d'un fond découvert à Jérash et datant de la fin du VI^e – début du VII^e s. (Dussard p. 115, fig. 27/18).

1.3.4. Le matériel lithique – Amorce de l'étude.

L'intégralité du matériel lithique a été retrouvée autour du massif C, dans les sondages C1, C2 et C5. Le matériel retrouvé dans les sondages C2 et C5 provient de couches argileuses grises et noires dégagées dans les niveaux les plus profonds des sondages, à l'intérieur de l'enclos, et qui correspondent altimétriquement. Ces niveaux, anciens, correspondant semble t il à la période du néolithique pré-céramique (X^e-VII^e millénaires BC) (**Fig.6a à Fig.6e**). L'étude doit être poursuivie pour confirmer cette datation et la préciser.

Dans le sondage C1, le matériel lithique a été découvert dans les couches perturbées de surface et dans une couche d'argile verte contre le talus de fondation; il est fort possible qu'il s'agisse de matériel en contexte perturbé.

II. Analyse dendrochronologique et datations ^{14}C

Une série de prélèvements a été réalisée sur les mortiers et les bois durant les campagnes de terrain de 2014 et 2015. L'objectif était de procéder, pour la première fois, à des datations ^{14}C sur le réservoir pour préciser sa datation. L'analyse de la composition des mortiers, qui était également l'un des objectifs de ces prélèvements, n'a pas encore été réalisée.

2.1. Analyse dendrochronologique

Une analyse dendrochronologique a été confiée au Laboratoire d'Expertise du Bois et de Datation par Dendrochronologie (CIPRES) en France (**annexe 3**). L'étude a tenu compte de 8 échantillons de bois provenant du sondage C5 et d'un échantillon provenant du sondage C2. Cela correspond aux planches et aux pieux qui se trouvaient dans les fondations de la partie nord ouest du massif C.

Le mauvais état de conservation des bois a rendu l'étude difficile. Ainsi, seul un échantillon (pieu P4) s'est prêté à la dendromorphologie sans qu'aucune datation ne puisse être effectuée. Néanmoins, cette étude dendrochronologique a permis d'identifier l'essence du bois qui est du pin, probablement du pin d'Alep (*Pinus cf. Halepensis*).

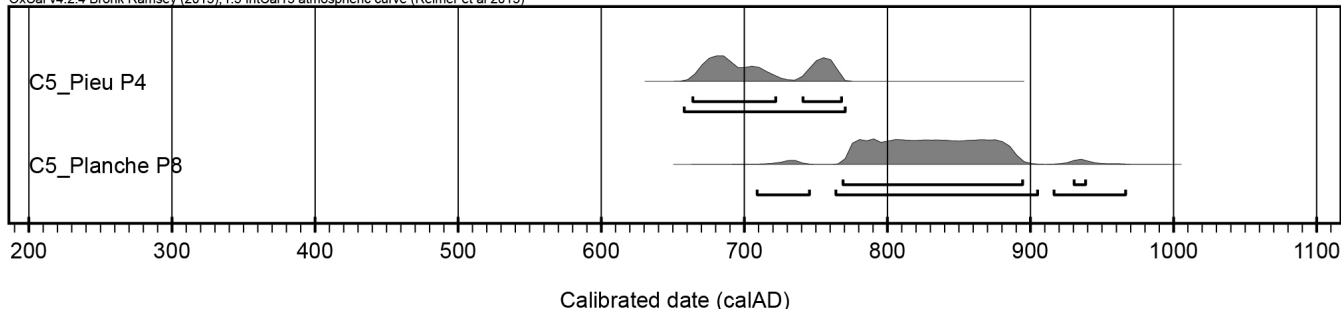
Enfin, chaque échantillon a par ailleurs fait l'objet de prélèvements pour datation ^{14}C .

2.2. Datation ^{14}C

La première série d'échantillons à dater concernait le bois prélevé dans le sondage C5, à l'extrémité nord du massif C. Préparés sur plaquette par le CIPRES, deux échantillons ont été traités en France, dans le laboratoire CIRAM, sous la direction d'A. Bouvier (**annexe 4**).

Échantillon	Provenance	Âge conventionnel
AG68	Chantier C5 – pieu P4	1300 ± 20 BP
AG69	Chantier C5 – planche P6	1190 ± 25 BP

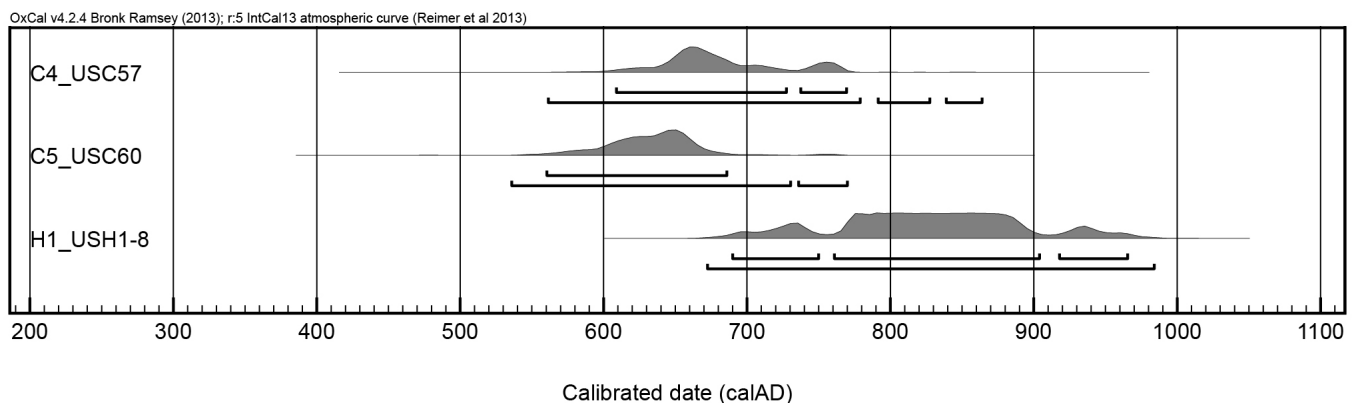
OxCal v4.2.4 Bronk Ramsey (2013); r5 IntCal13 atmospheric curve (Reimer et al 2013)



Ces résultats permettent d'exclure l'hypothèse d'une construction du réservoir antérieure au VII^e siècle d. n. è. Par ailleurs, l'hypothèse que les deux éléments de bois ne sont pas contemporains ne doit pas être écartée.

Une deuxième série de cinq échantillons de mortiers a été traité par Prof. L. Calcagnile au laboratoire CEDAD de l'Università di Salento (rapport présenté en annexe 5). Le laboratoire a procédé au nettoyage des échantillons et à l'extraction des charbons nécessaire à la datation par AMS.

Échantillon	Provenance	Âge conventionnel
LTL16050A	Chantier A	2665 ± 45 BP
LTL16051A	Chantier C4 – US C57	1350 ± 45 BP
LTL16052A	Chantier C5 – US C60	1401 ± 45 BP
LTL16053A	Chantier D1 – US C005	3176 ± 45 BP
LTL16054A	Chantier H1 – US H1-8	1196 ± 45 BP

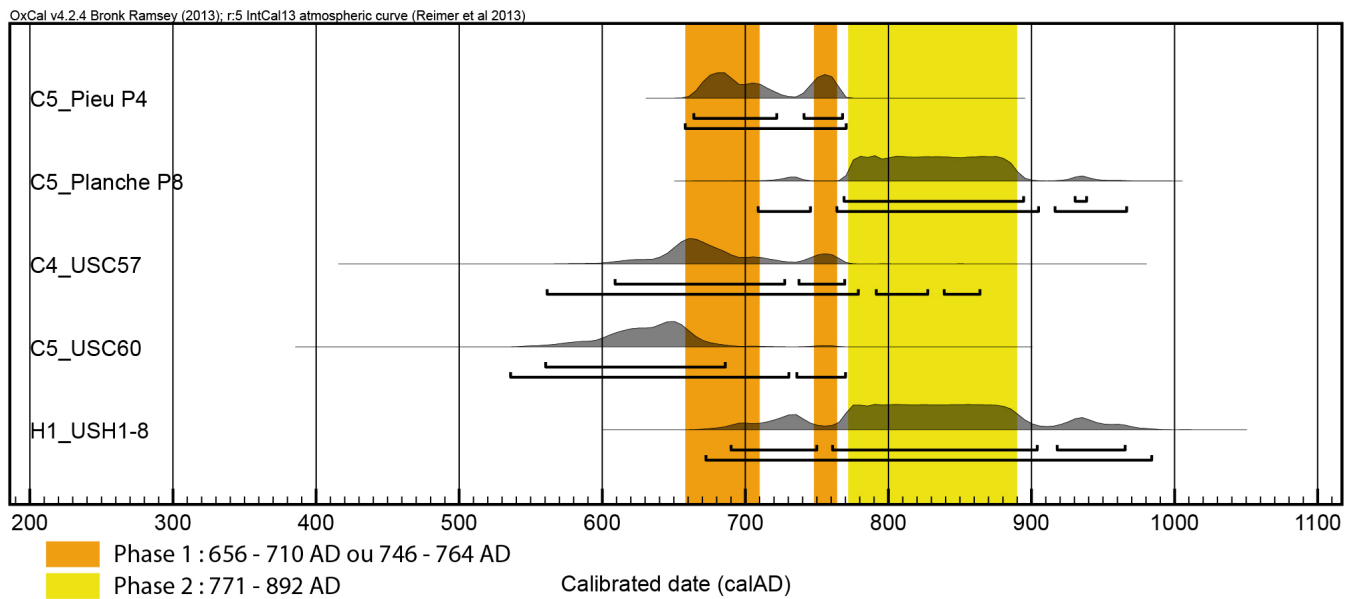


Trois résultats montrent une grande cohérence autour de 700 ap. JC. En revanche, les échantillons provenant des chantiers A et D1 montrent une incohérence avec les autres datations, et sont beaucoup plus anciens. D'après le CEDAD avec lequel ce problème a été abordé, ces deux résultats ne sont pas fiables et sont certainement dus à la présence de calcite mal calcinée au moment de la fabrication du mortier. Ce phénomène entrainerait un résidu d'âge géologique dans les mesures.

2.3. Conclusion

Le laboratoire CIRAM a effectué des analyses statistiques en tenant compte de toutes les datations obtenues (mortiers et bois) et deux hypothèses ressortent (cf graphe ci dessous) :

- Soit les résultats indiquent une seule phase de construction, même s'ils sont dispersés, auquel cas seuls les résultats les plus récents (période abbasside) fournissent un terminus post quem valable pour la construction du réservoir ;
- Soit les résultats indiquent une phase de construction initiale (période omeyyade) et une phase de réfection plus tardive (période abbasside).



D'un point de vue archéologique, en tenant compte d'observations architecturales et des travaux menés pendant les fouilles, l'hypothèse d'une phase initiale puis d'une phase de réfection plus tardive semble la plus pertinente.

III. Impression des blocs

Une collaboration a été mise en place entre l'Ifpo et le CESI (une école d'ingénieur située en France, à Écully) dans la perspective d'un projet d'impressions 3D des blocs sculptés d'Azraq qui a débuté en septembre 2015. Trois étudiants étaient en charge du projet. Des rendez-vous hebdomadaires ont permis de suivre le travail. Ils ont fait face à de nombreuses contraintes techniques liées à la fois aux imprimantes 3D mais également aux recommandations de L. Abu-Azizeh.

La première étape a été de définir le format d'export des modèles 3D des blocs réalisés à Azraq afin d'obtenir la meilleure compatibilité possible avec les formats pris en charge par les imprimantes 3D. C'est finalement le format .obj qui a été validé. Suite à de nombreux essais de couleurs d'impression, les blocs ont finalement été imprimés avec du fil gris (**Fig.7**). Le choix de l'échelle d'impression a été orienté en tenant compte à la fois des tests réalisés, du temps d'impression nécessaire à chaque bloc et de la taille maximale imprimable (environ 20 x 20 x 20 cm). L'échelle 1/5^{ème} a été choisie afin que le plus grand bloc du corpus (B093 : 94 cm de diamètre) puisse être conçu en une seule pièce (**Fig.8**). Quatre-vingt quinze blocs ont ainsi été imprimés (**Fig. 9**).

Une contrainte supplémentaire s'imposait. En effet, les blocs ne faisant pas tous la même épaisseur, la manipulation sur un support rigide était difficile. Afin que toutes les surfaces supérieures puissent être sur un même plan, les étudiants ont mis au point un support pour chaque bloc. Il est composé d'une tige filetée et d'une base conique imprimée sur laquelle figure le numéro du bloc. Tous les modèles 3D réalisés à Azraq ont dû être retravaillés car un percement partiel du bloc était indispensable pour tenir la tige filetée (**Fig.10**).

Du fait de nombreux problèmes techniques avec les imprimantes, des problèmes de qualité d'impression et d'un temps d'impression assez long (14h pour le bloc B092), les derniers blocs imprimés ont été reçus à Amman début juin 2016.

Un article, technique, est prévu pour fin 2016. Il sera écrit avec le CESI et présentera à la fois les aspects techniques du projet mais également les apports à l'étude archéologique. En effet, les impressions 3D sont clairement un outil de travail prometteur car elles permettent de prendre en compte les blocs en volume et de les manipuler, leur agencement pouvant ainsi être concrètement testé. Le travail d'étude des blocs n'en est qu'à ses débuts.

IV. Conclusions et perspectives

Outre la prospection conduite sur le mur sud du site et son relevé ainsi que l'étude du matériel, la campagne 2016 a été l'occasion de rassembler les données de terrain, les analyses de laboratoire, les impressions 3D conduites durant l'année écoulée et, ainsi, de formuler plusieurs hypothèses concernant les techniques de construction, le phasage et la nature du site. L'étude de l'architecture et des sols a montré l'adaptation des constructeurs au terrain, le bâti semblant traité de manière différente en fonction de l'humidité de la zone à bâtir. Différents systèmes ont été mis en place pour protéger. Cette analyse a par ailleurs été importante pour démontrer que les contreforts étaient bien construits en même temps que les murs du réservoir enclos mais que le mur ouest devait être légèrement postérieur, ainsi que certaines réfections effectuées au niveau du massif C. Cette lecture architecturale a été complétée par les analyses de datation ¹⁴C du mortier, permettant de formuler, en l'état des recherches, l'hypothèse d'une construction en deux temps, aux débuts de l'Islam. Le réservoir enclos aurait d'abord été aménagé sous une forme ouverte à l'ouest, les murs nord, est et sud, ponctués de contreforts semi circulaires et triangulaires, étant aménagés à la période umayyade (entre 656 et 710 ou entre 746 et 764). L'extrémité ouest des murs nord et sud est déjà fermée par des contreforts circulaires. Le réservoir enclos aurait été, dans un second temps, fermé par un mur occidental au début de la période abbasside (entre 771 et 892), mur construit suivant le même modèle que l'ensemble de l'édifice. Le massif C, ainsi que le mur oriental à sa jonction avec le massif, semble avoir été restauré, probablement à la même période.

L'étude des canaux, des altitudes et des sols a en outre offert une meilleure compréhension de la fonction de l'édifice, pour lequel le terme d'enclos-réservoir paraît plus approprié. La partie orientale, plus profonde, était bien destinée au stockage de l'eau de la source 'Ayn Sawdā. La partie occidentale, en revanche, n'était en rien un réservoir : l'apport en eau, via les canaux d'alimentation nord et sud, y était contrôlé et le mur avait probablement plus ici la fonction d'un enclos, peut-être celui d'une zone agricole. Cette forme alliant enclos et réservoir paraît tout à fait originale dans les structures hydro agricoles umayyades.

Malgré ces avancées, certains éléments doivent être éclaircis tandis que de nouvelles questions ont émergé. C'est pourquoi des études complémentaires doivent être conduites. Ainsi l'intervention d'un géomorphologue paraît indispensable afin de délimiter les zones sèches et humides du réservoir et de comprendre le tracé du mur et les différents types de fondation. Il pourrait également être possible de déterminer l'origine naturelle ou non de certaines couches et de mieux appréhender les réfections au niveau du massif C. Par ailleurs, une étude palynologique permettrait quant à elle de confirmer ou non l'hypothèse d'une zone agricole située à l'intérieur du réservoir-enclos et, si l'hypothèse se confirme, d'établir précisément la nature des plantations. Il est par ailleurs nécessaire d'élargir la zone étudiée afin de comprendre l'environnement du site et son implantation à la fois naturelle et anthropique. Une prospection archéologique doit être réalisée à l'E du réservoir-enclos, le long du mur partant de l'angle SE et se dirigeant vers le NE dans les marécages. Il faudra, d'une part, tenter d'en suivre le tracé et le relever précisément et, d'autre part, procéder à un examen précis des potentielles structures présentes dans cette zone ainsi que leurs fonctions. Un géomorphologue et un palynologue devront également intervenir à l'extérieur du réservoir-enclos, dans

l'ensemble du marécage et dans la zone du qā'. Une prospection devra également être conduite afin de déterminer où pouvait se situer l'établissement lié au réservoir-enclos, une telle construction indiquant une présence humaine forte à proximité. Deux hypothèses paraissent pertinentes : l'emplacement du village actuel d'Azraq Shishan lui même et celui de 'Ayn al Sil. Dans le premier, de nombreux blocs attestent une occupation, mais pourraient tout à fait être réemployés du réservoir enclos. Dans le second en revanche, a été découvert un bain et de longs murs pourraient être liés à des enclos en direction du sud et du réservoir qui pourrait être l'extrémité d'un grand établissement. Déterminer à quel type d'occupation était relié le réservoir-enclos est important pour la compréhension des installations umayyades dans la steppe mais également pour comprendre la présence des blocs sculptés. Les fouilles que nous avons menées n'ont pas permis d'établir un lien entre le massif C et ces blocs, mais n'ont pas non plus permis d'exclure cette possibilité. Si le réservoir-enclos est lié à un établissement destiné aux élites umayyades, il est possible d'envisager que le site pouvait être avant tout une réserve d'eau et l'enclos de plantations, mais également, à l'occasion, une aire de loisir, comme cela avait été avancé par des chercheurs antérieurs. Si l'établissement est plus modeste, il paraît plus probable que le réservoir-enclos n'ait eu qu'un rôle hydro-agricole.

Bibliographie

- Abu-Azizeh, L., Bonnéric, J., Couturaud, B. et Stavy, A.,** 'Ayn Sawdā Reservoir Project, Rapport de la mission de terrain menée du 13 au 31 mai 2014. Disponible à l'Ifpo Amman et au DoAJ, 79 pages.
- Abu-Azizeh, L., Bonnéric, J., Couturaud, B. et Stavy, A.,** 'Ayn Sawdā Reservoir Project, Rapport de la mission de terrain menée du 4 au 24 mai 2015. Disponible à l'Ifpo Amman et au DoAJ, 63 pages.
- Bisheh G.,** "Remarks concerning recent discoveries on the Umayyads", *ADAJ* 30, 1986, p. 7-55.
- Daviau Michèle & Beckmann Martin,** « Umayyad Painted Pottery and Abbasid Period Lamps at Tell Jawa: A Chronological Dilemma », in Villeneuve Estelle, La céramique byzantine et proto-islamique en Syrie-Jordanie (IVe VIIe siècles apr. J.C.), Institut Français d'Archéologie du Proche-Orient, p. 259-273, 2001.
- Dussard O.,** Le verre en Jordanie et en Syrie du Sud. Beirut: Institut français d'archéologie du Proche-Orient, 1998.
- Garrard A., Byrd P., Harvey P. and Hivernel F.,** Prehistoric Environment and Settlement in the Azraq Basin. A report on the 1982 Survey Season. *Levant* 17: 1-28, 1985.
- Genequand D.,** *Les établissements des élites omeyyades en Palmyrène et au Proche-Orient*, BAH 200, Beyrouth, 2012.
- Kennedy D.L., Riley D.N. & Stein A.,** *Archaeological Explorations on the Roman Frontier in Northeast Jordan: the Roman and Byzantine Military Installations and Road Network on the Ground and from the Air*, BARInternational Series134, Oxford:BritishArchaeological Reports, 1982.
- Maher L., Richter T., Jones M. and Stock J.T.,** The Epipalaeolithic Foragers in Azraq Project: Prehistoric Landscape in the Azraq Basin, Eastern, Jordan. *CBRL Bulletin* 6: 21-27, 2011.
- Musil A.,** "Arabia Deserta: A Topographical Itinerary", *Oriental Explorations and Studies* 2, 1978.
- Nelson B.,** *Azraq: Desert Oasis*, Allen Lane, 1973.
- Rees L.W.B.,** "The Transjordan Desert", *Antiquity* 12/3, 1929, p. 389-407.
- Richter T.,** "Rescue excavations at Epipaleolithic Ayn Qasiyah: report on the 2005 season", *ADAJ* 50, 2006, p. 189-204.
- Richter T. & al.,** "Preliminary report on the 2006 season at Epipaleolithic Ayn Qasiyah, Azraq ash-shishan", *ADAJ* 51, 2007, p. 313-328.
- Rollefson G.O., Quintero L. et Wilke P.J.,** Azraq Wetlands Survey 2000, Preliminary Report. *ADAJ* 45: 71-81, 2001.
- Sauer James A.,** « The Pottery of Jordan in the Early Islamic Periods », in *Studies in the History and Archaeology of Jordan I*, p. 329-337, 1982.

Sodini J.-P. et Villeneuve E., « Le passage de la céramique byzantine à la céramique omeyyade en Syrie du Nord, en Palestine et en Transjordanie », in Canivet Pierre et Rey Coquais Jean Paul, *La Syrie de Byzance à l'Islam, VIIe VIIIe siècles*, Damas, Institut français d'études arabes de Damas, p. 195-218, 1992.

Vibert-Guigue C., "Découverte de nouveaux blocs sculptés à Ayn es-Sawda (Azraq al-Shishan) Jordanie", *ADAJ* 50, 2006, p. 326-349.

Vibert-Guigue C., Mission à Azraq (Jordanie) dégagement et étude d'un décor sculpté, deuxième campagne, 26 mars au 25 avril 2007. 57p.

Vibert-Guigue C., Dégagement et étude d'un décor sculpté dans un contexte hydraulique omeyyade à Azraq (Jordanie), mission du 30 mars au 28 avril 2008. 76 p.

Vibert-Guigue C., Dégagement et étude d'un décor sculpté dans un contexte hydraulique omeyyade à Azraq (Jordanie), mission du 2 au 26 avril 2009. 64 p.

Vibert-Guigue C., Dégagement et étude d'un décor sculpté dans un contexte hydraulique omeyyade à Azraq (Jordanie), mission du 11 au 30 avril 2010. 41 p.

Vibert-Guigue C., Le réservoir monumental de l'oasis d'Azraq ash-Shishan et la découverte de blocs sculptés : un défi écologique, technique et iconographique. *SHAJ*: 165-185, 2013.

Vibert-Guigue C. et Abu-Azizeh L., Rapport de la mission du 3 au 29 avril 2013. 24 p.

Watson R.P. & Burnett G.W., "On the origins of Azraq's 'Roman wall'", *Near Eastern Archaeology* 64, 2001, p. 72-79.

Illustrations

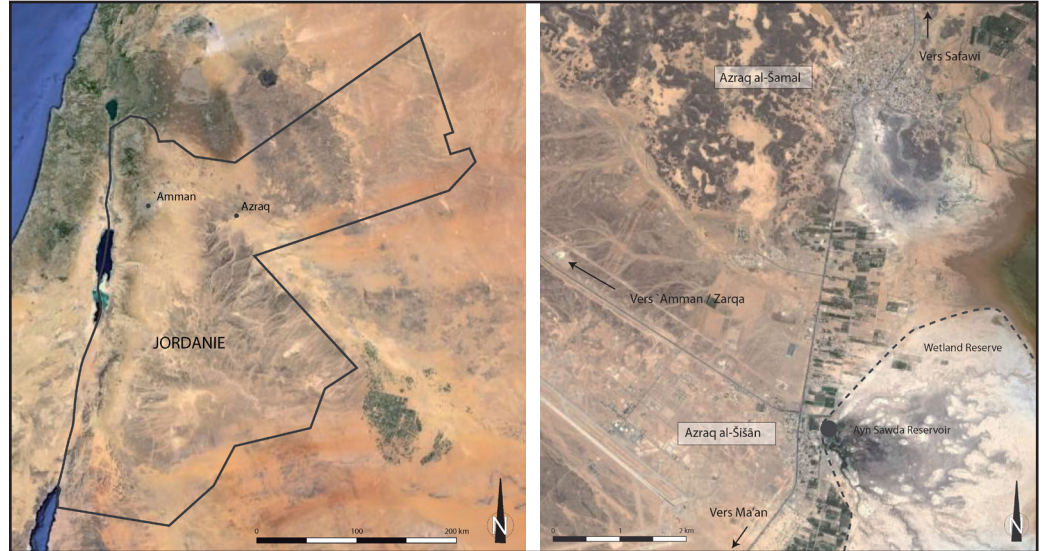


Fig.1 : Carte de localisation d'Azraq en Jordanie (fond de carte : image satellitaire Google Earth).

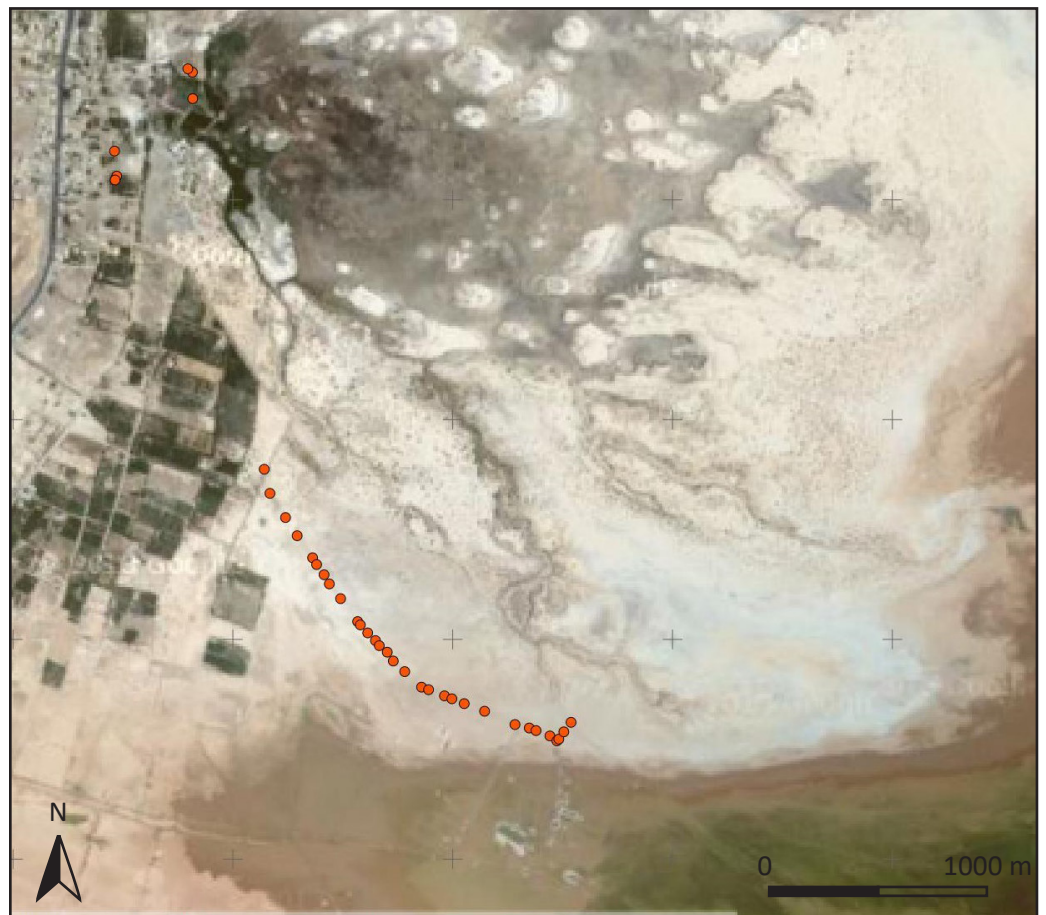


Fig.2 : Relevé du mur sud dans les marshes (tracé GPS).



Fig.3 : Photos du mur sud dans les marshes.

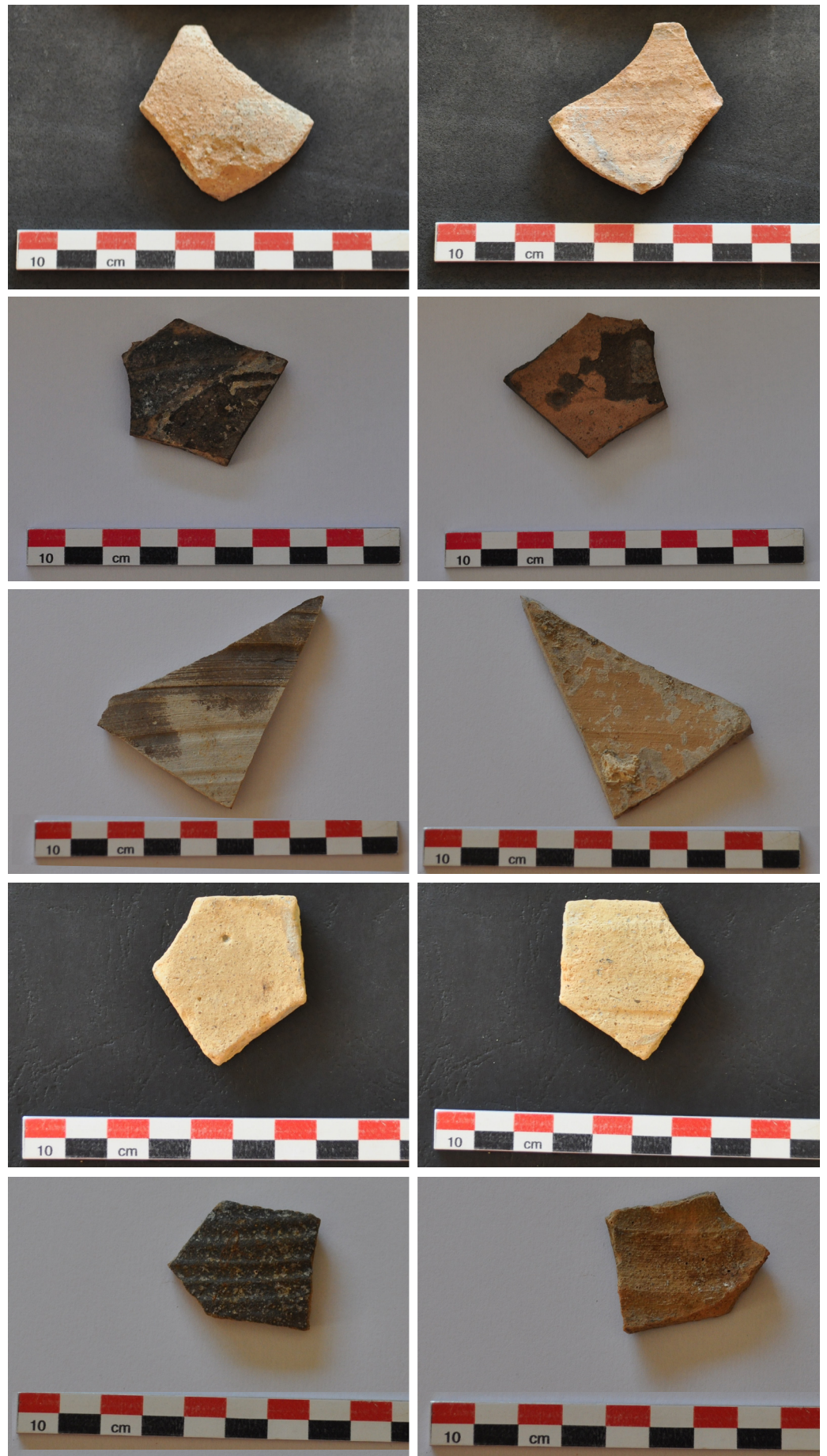


Fig.4a : Matériel céramique retrouvé dans les fouilles du chantier A en 2014.



Fig.4b : Matériel céramique retrouvé dans les fouilles du chantier C (sondages C1 et C2) en 2014 et 2015.



Fig.4c : Matériel céramique retrouvé dans les fouilles du chantier C (sondage C4) en 2014 et 2015.



Fig.4d : Matériel céramique retrouvé dans les fouilles du chantier D (sondage D1, mortier) en 2014 et 2015.

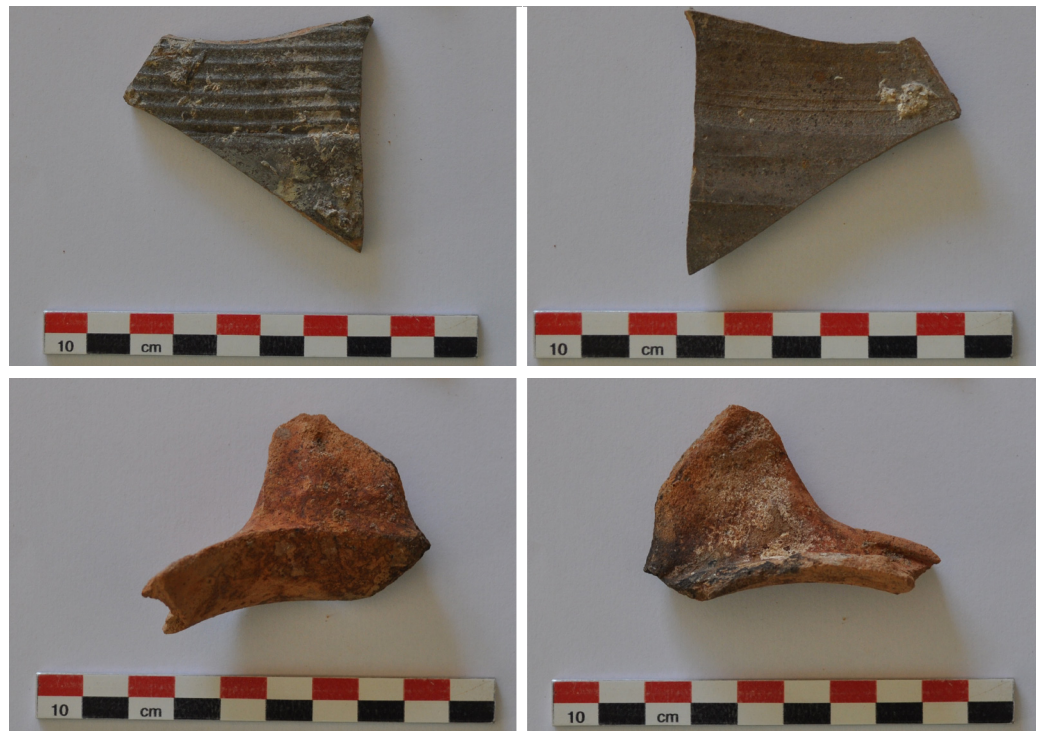


Fig.4e : Matériel céramique retrouvé dans les fouilles du chantier F (sondage F1) en 2014 et 2015.



Fig.5 : Matériel en verre retrouvé dans les fouilles en 2014 et 2015.



Fig.6a : Matériel lithique retrouvé dans les fouilles du chantier C, sondage C5.



Fig.6b : Matériel lithique retrouvé dans les fouilles du chantier C, sondage C2.



Fig.6c : Matériel lithique retrouvé dans les fouilles du chantier C, sondage C1.



Fig.6d : Matériel lithique retrouvé dans les fouilles du chantier C, sondage C5.



Fig.6e : Matériel lithique retrouvé dans les fouilles du chantier C, sondage C5.

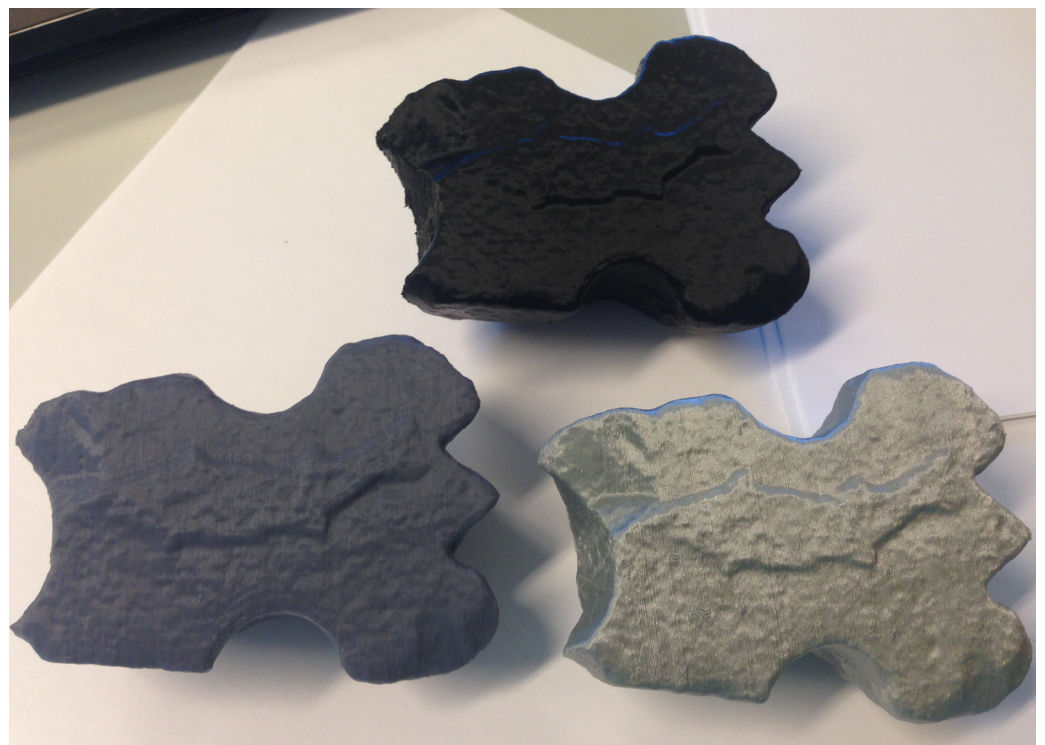


Fig.7 : Essais d'impression des blocs avec différentes couleurs de fils (photo CESI).

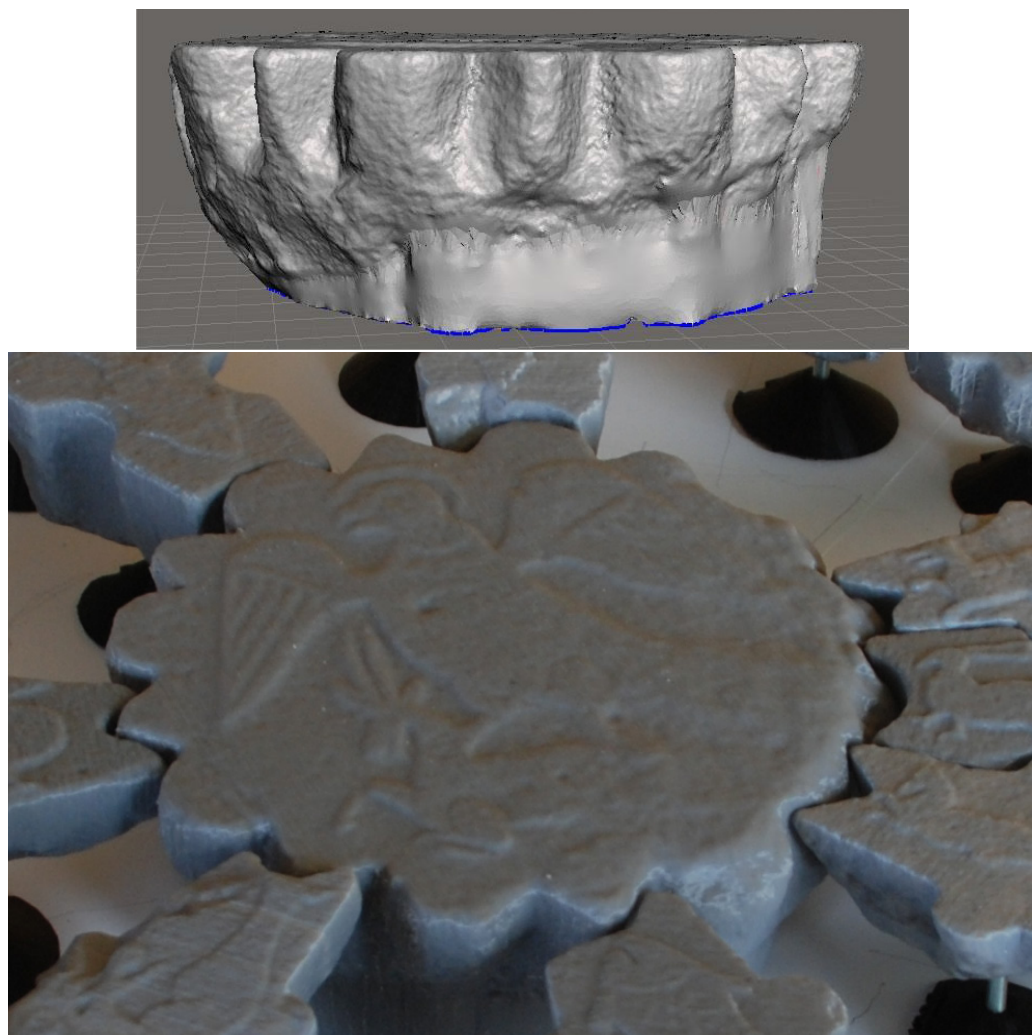


Fig.8 : Bloc 093, modélisation 3D (en haut) et bloc imprimé (en bas).



Fig.9 : 95 blocs ont été imprimés comme ceux présentés sur la photo.

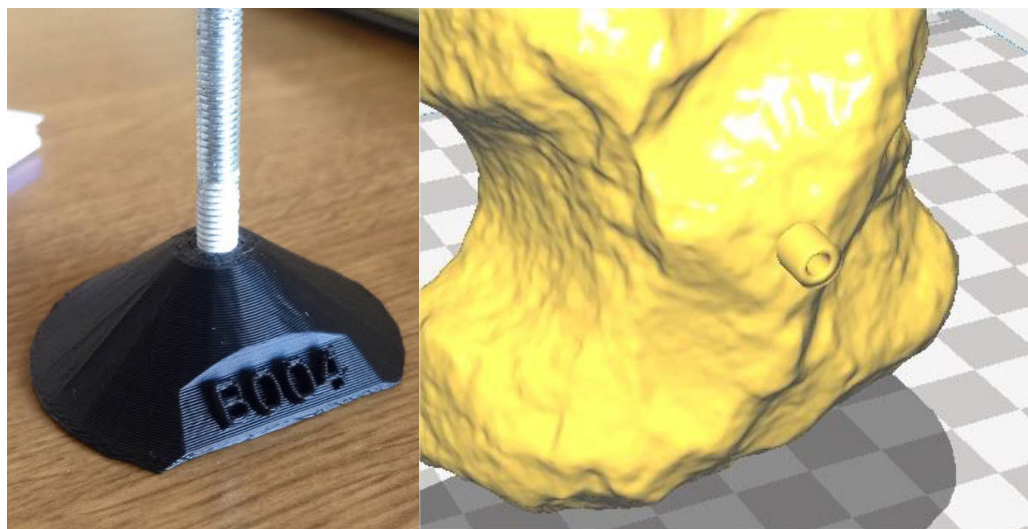


Fig.10 : La mise en place d'une tige filetée avec un support a été nécessaire.

Annexe 1 : le matériel faunique

Hervé Monchot

Labex Resmed - Université Paris-Sorbonne

UMR 8167 « Orient & Méditerranée »

Les fouilles 2014 du site d'Azraq 'Ayn Swada ont livré un petit assemblage osseux de 103 restes réparti le long des divers sondages stratigraphiques (Tab. 1) : deux restes pour le sondage A, un en B1, six en C1, 11 en C2, 14 en C4, 34 en C5, 31 en F1 et 4 en F2. Ce matériel appartient essentiellement à des grands mammifères, dominé par le dromadaire (*Camelus dromedarius*, N = 32), le bœuf (*Bos taurus* N = 10), des équidés (essentiellement de l'âne, *Equus asinus* N = 8), à des mammifères de plus petite taille comme les caprinés (mouton/chèvre, *Ovis aries/Capra hircus*, N = 19), de la gazelle (*Gazella* sp., N = 2), ou du chien (*Canis lupus familiaris*, N = 1), et à du poisson (*Clarias* sp., N = 1) ; le reste (N = 30) étant des fragments non-identifiables spécifiquement donc 18 attribuables à des grands herbivores.

Plusieurs éléments squelettiques attestent de la présence du dromadaire, comme une mandibule, des fragments de diaphyse d'os longs (radius, tibia, métapode) des extrémités articulaires de scapula, des fragments d'os coxaux, des fragments de corps de cotes et de vertèbres, une patella, des os du tarse et des phalanges. Une épiphyse distale de tibia gauche et une autre d'un fémur droit soulignent la présence d'un individu âgé de moins de deux ans¹ dans le sondage F2 (US02). La présence du dromadaire est normale en contexte oasien². Le bœuf est représenté par une mandibule appartenant à un veau âgé d'environ 6 mois³ dans le sondage B1 (US01), et divers éléments de bas de pattes (métapodes et phalange). Les petites dimensions des ossements d'équidés (*e.g.*, métacarpien 3 proximal : Bp = 33,0 ; Dp = 24,0 & métatarsien 3 proximal : Bp = 38,0 ; Dp = 35,0) laissent supposer la présence de l'âne plutôt que du cheval, avec la encore la présence d'un juvénile (ânon) de mois de 15 mois (*i.e.*, métacarpien 3 non épiphysé en distal) retrouvé dans le sondage C4 (US49)⁴

Pour les petits herbivores, on notera la présence de caprinés dont on ne pourra préciser l'appartenance spécifique (mouton ou chèvre) et surtout d'une gazelle dans le sondage C2. Un humérus droit de chien dont l'épiphyse proximale est non soudée est présent dans le sondage C1 ; il appartient à un individu âgé de moins 12-15 mois⁵. Enfin, dans le sondage C5-sud (US 43), on remarquera la présence d'un fragment de neurocrâne de poisson-chat (*Clarias* sp.), certainement attribuable à l'espèce africaine (*Clarias gariepinus*). Ce poisson se rencontre fréquemment à travers l'Afrique et Proche-Orient et vit dans l'eau douce des rivières, des lacs mais aussi dans les zones marécageuses, ainsi que dans des zones fortement anthropisées, tels des étangs ou bassins d'oxydation ou

¹ von den Driesch A., Obermaier, H. 2007. The hunt for wild dromedaries during the 3rd and 2nd millennia BC on the United Arab Emirates coast Camel bone finds from the excavations at Al Sufouh 2, Dubai, UAE. *Documenta Archaeobiologiae* 6 : 133-167.

² Monchot H. 2014 Camels in Saudi oasis during the last two millenia, the examples of Dûmat al-Jandal (Al-Jawf Province) and al-Yamâma (Ryadh province). *Anthropozoologica* 42(2) : 195-206.

³ Jones G.G., Sadler P. 2012. Age at death in cattle : methods, older cattle, and know-age reference matériel. *Environmental Archaeology* 17(1) : 11-27.

⁴ Barone, R. 1986. *Anatomie comparée des mammifères domestiques*. Tome 1 - Ostéologie. Paris.

⁵ Barone, R. 1986 *ibid*.

des systèmes d'égout en milieu urbain. Il est largement identifié dans les listes fauniques au Proche-Orient, y compris en zone steppique aride⁶.

La faiblesse de l'échantillon ne nous permet pas pour l'instant de tirer de conclusions fiables sur le statut de ces animaux au sein de l'oasis (*i.e.*, animaux consommés, ou tout simplement animaux morts naturellement près du point d'eau), d'autant plus que ces ossements présentes de fortes altérations physico-chimiques (*i.e.*, ossements « roulés », présence de cupules de dissolution) sur leur surface corticale liées à un environnement riche en eau.

⁶ Van Neer et al. 2004. Fish remains from archaeological sites as indicators of former trade connections in the Eastern Mediterranean. *Paléorient* 30(1) : 101-148.

SONDAGE	US	N	Dromadaire	Boeuf	Equidé	Capriné	Gazelle	Poisson-chat	Chien	Grand mam.	Mam. Indet.
A-sud	02	1									1
A-sud	03	1		1							
B1	01	1		1 (veau)							
C1	03/04/05	3	2						1 (chiot)		
C1	17	3								3	
C2	02	2									2
C2	11	7	1			3	1			2	
C2	14	2	1				1				
C4	49	4	1		1 (ânon)	2					
C4	52	4	3							1	
C4	53	3	1			1					1
C4	54	3	1		1					1	
C5	30	1	1								
C5	39	2	1			1					
C5-nord	32	17	7	4						6	
C5-nord	42	1			1						
C5-sud	34	3		1		1					1
C5-sud	43	10	1	1		3		1		1	3
F1	02	25	4	2	4	8				5	2
F1	06	6			1					1	
F2	02	4	4								
	Total	103	32	10	8	19	2	1	1	18	12

Tab. 1. Répartition spécifique des restes osseux du site d'Azraq 'Ayn Swada par sondage et unité stratigraphique (N = nombre de restes ; mam = mammifères ; indet = indéterminé)

Annexe 2 : étude du matériel céramique et du verre

Julie Bonnéric

Le matériel en céramique et en verre découvert lors des campagnes 2014 et 2015 du Azraq 'Ayn Sawdā Reserve Project, très limité, a été diagnostiqué durant la mission d'étude 2016. Caroline Durand (Ifpo Amman) a eu la gentillesse de bien vouloir examiner le matériel céramique pour vérifier le matériel pré-islamique. Nous la remercions. Les objets n'ont pas été numérotés mais simplement catalogués par contexte stratigraphique. Ils n'ont pas été dessinés mais seulement photographiés de manière systématique. Ce matériel se rattache à la transition byzantino-umayyade.

1. La céramique

Très peu de céramique a été mise au jour : en effet, seuls 27 individus ont pu être identifiés, correspondant à une centaine de tessons. Petits et très fragmentaires, les tessons sont souvent mal préservés et présentent parfois des concrétions ou des altérations de surfaces.

Seuls deux individus ont pu être identifiés. Ils se rattachent à une production caractéristique de la période umayyade, mais apparue à la fin de la période byzantine (DAVIAU et BECKMANN 2001, SAUER 1982, SODINI et VILLENEUVE 1992). Une marmite côtelée a été mise au jour dans la couche 52 du sondage C4. L'un des tessons de la panse présente les traces de motifs sinusoïdaux peints de couleur clair. Ont été préservés deux fragments du col et de la lèvre, une trentaine de tessons provenant de la panse et un départ d'anse. La lèvre est simple, bien que légèrement épaissie. La pâte, marron orangée, contient de fines inclusions. Un autre tesson côtelé présente également une ligne peinte en clair qui doit être un fragment de sinusoïde. Il provient de la couche F1-02. La pâte est grise avec de fines inclusions noires et blanches. Dans la couche A-05 pourrait également avoir été découvert un tesson à sinusoïde, mais la trace de peinture n'est pas très claire.

Catalogue des céramiques par individu

Localisation	Pâte	Forme	Décor	Remarques
A-01	Beige orangé, nombreuses et fines inclusions noires, brunes et blanches	Panse	Néant	
A-05	Noire, très dense, dure, avec de très fines inclusions micacées	Panse	Une légère incision horizontale	Trace de sinusoïde ou altération du revêtement ?
A-11	Beige, nombreuses et fines inclusions marron et noires	Panse	Néant	
A-11	Beige (noir en surface), nombreuses et fines inclusions noires et grises	Panse	Côtelé	
A-11	Pâte grise	Panse	Néant	Brûlé Traces de mortier gris avec petits nodules de chaux et petits fragments de charbon
A-11	Beige clair orangé, très compacte, fines inclusions noires	Panse	Engobe marron ? Trois cannelures espacées	

A-11	Orange (plus claire en surface), compacte, fines inclusions végétales et minérales (noires et rouge)	Panse (18 fragments)	Une cannelure	
C1-03/04/05	Gris foncé, compacte, fine et peu nombreuses inclusions noires	Panse (2 fragments)	Légèrement côtelé	
C1-03/04/05	Gris foncé, fines inclusions noires et blanches	Panse	Néant	
C2-01	Gris verdâtre sur l'extérieur, gris rougeâtre sur l'intérieur, compacte, avec des inclusions noires, rouges et brunes	Panse	Côtelé	
C2-01	Beige sur les surfaces et gris au centre, quelques fines inclusions blanches et beiges	Panse (3)	Néant	
C2-26	Gris, surface rougeâtre	Panse	Néant	Brûlé
C5-31	Gris orangé, coups de feu extérieur, très fines inclusions	Panse	Côtelé	
C4-52	Rouge brique, texture relativement compacte et fine, surface extérieure grise	Panse	Très légèrement côtelé	Tâches de mortier
C4-52	Rouge orangé, fines inclusions brunes, surface grise marronnasse	Bord à lèvre en triangle + panse	Néant	
C4-52	Rouge orangé, assez compacte, fines inclusions noires	Départ d'anse et bord, lèvre amincie à rebord triangulaire	Engobe altéré	Quelques concrétions
C4-52	Orangée, paroi épaisse, dégraissant végétal, inclusions	Panse (2)	Engobe orange altéré ?	
C4-52	Marron orangé, fines inclusions	2 cols avec lèvre simple légèrement épaissie, un départ d'anse, fragments de panse (30)	Un fragment de panse avec des motifs peints en clair	
D-mortier mur M3	Rouge, très compacte	Panse (15 tessons délités)	Néant	Mortier collé
F1-02	Rouge orangée, assez compacte, avec de fines inclusions noires	Départs d'anse et bord (2), lèvre amincie à rebord triangulaire	Engobe orangé ?	
F1-02	Gris foncé, très fines inclusions micacées	Panse	Néant	
F1-02	Orangée, dégraissant végétal et inclusions noires	Panse	Côtelé	
F1-02	Gris rougeâtre, avec de fines inclusions noires	Panse	Côtelé	

F1-02	Gris rougeâtre, avec de fines inclusions noires	Panse	Côtelé	
F1-02	Orangée, paroi épaisse, avec des traces de dégraissant végétal, inclusions	Panse	Engobe orange	Concrétions importantes
F1-02	Gris en surface et à l'intérieur de la tranche, orangé sur les bords de la tranche, fines inclusions noires et blanches	Panse	Côtelé et décoré d'une ligne peinte	
F2-02	Surface orangée mais pâte gris clair, fines inclusions	Départ d'anse et bord, lèvre amincie à rebord triangulaire	Engobe orange foncé	Concrétions
G-01	Rose orangée, compacte, inclusions blanches	Panse (4)	Néant	Traces de mortier

2. Le verre

Alors que les campagnes conduites par Cl. Vibert-Guigue avaient offert plusieurs exemplaires d'objets en verre, en particulier des fragments de bracelets et des perles, seuls deux fragments ont été découverts par le Azraq 'Ayn Sawdā Reserve Project. Tandis que le premier, qui pourrait provenir d'un bracelet mais est très abîmé, n'a pas pu être identifié, le second peut être rapproché d'une production importante à l'époque byzantine mais qui se poursuit jusqu'à la période ayyoubide : cette base de verre à piédouche, provenant de la couche F1-02, est conique et ourlée et supporte un pied creux. Le verre est transparent verdâtre. Cet exemplaire est assez proche d'un fond découvert à Jérash et datant de la fin du VI^e – début du VII^e s. (DUSSARD p. 115, fig. 27/18).

Catalogue des deux fragments

Localisation	Verre	Forme	Remarques
F1-02	Transparent verdâtre	Pied à ourlet creux et départ de tige creuse	
C5-29	Transparent bleu vif, irisé en surface	Fragment (bracelet ?)	Très altéré

Références

DAVIAU Michèle et BECKMANN Martin, 2001, « Umayyad Painted Pottery and Abbasid Period Lamps at Tell Jawa: A Chronological Dilemma », in VILLENEUVE Estelle, *La céramique byzantine et proto-islamique en Syrie-Jordanie (IV^e-VII^e siècles apr. J.C.)*, Institut Français d'Archéologie du Proche-Orient, Beyrouth, p. 259-273.

DUSSARD Odile, 1998, *Le verre en Jordanie et en Syrie du Sud*, Institut français d'archéologie du Proche-Orient (Bibliothèques archéologique et historique 152), Beyrouth.

SAUER James A., 1982, « The Pottery of Jordan in the Early Islamic Periods », in *Studies in the History and Archaeology of Jordan I*, p. 329-337.

SODINI Jean-Pierre et VILLENEUVE Estelle, 1992, « Le passage de la céramique byzantine à la céramique omeyyade en Syrie du Nord, en Palestine et en Transjordanie », in CANIVET Pierre et REY-COQUAIS Jean-Paul, *La Syrie de Byzance à l'Islam, VII^e-VIII^e siècles*, Damas, Institut français d'études arabes de Damas, p. 195-218.

Annexe 3 : étude dendrochronologique (CIPRES)



Laboratoire d'Expertise du Bois et de Datation par Dendrochronologie

Xylologie, Dendrochronologie, Tracéologie

CIPRES - Espace Lafayette, 8 rue Alfred de Vigny - BP 91302 - 25000 Besançon

☎ 06 81 03 70 70 ✉ contact@dendro.fr www.dendro.fr

Étude xylo-dendromorphologique et échantillonnage ^{14}C de bois découverts sur le site de Azraq Ayn Sawda Reservoir en Jordanie

Mission Azraq Ayn Sawda
Institut Français du Proche-Orient

Février 2016



Christine Locatelli, Didier Pousset
Archéodendromètres - Chercheurs indépendants

Pour citer ce rapport

Locatelli C., Pousset D., *Étude xylo-dendromorphologique et échantillonnage ^{14}C de bois découverts sur le site de Azraq Ayn Sawda Reservoir en Jordanie* – (Collaboration V. Asensi-Amoros), Laboratoire d'Expertise du Bois et de Datation par Dendrochronologie, Besançon, 2016, 16p.

Sauf mention particulière, les documents et photographies sont des auteurs du rapport.

Sommaire

I - Contexte de l'étude	p. 5
II - Caractérisation des bois	p. 5
III – Prélèvements pour des datations par le radiocarbone	p. 9
IV - Orientations bibliographiques	p. 10
V - Annexe	p. 12



Figure 1 : Bois *in situ*, découverts dans la partie nord de la face intérieure du réservoir
- clichés Institut français du Proche-Orient.

I – Contexte de l'étude

L'étude xylo-dendromorphologique dont les résultats sont présentés ci-après a porté sur une dizaine d'échantillons se référant à un ensemble de bois archéologiques associables aux fondations d'un réservoir remontant vraisemblablement à la période omeyyade mis au jour à Azraq en Jordanie¹ (figure 1).

Engagée de manière à caractériser cet ensemble de bois identifiés *in situ* comme étant des pieux et des planches en lien avec un coffrage, l'étude menée visait parallèlement à faire le point sur les possibilités d'application de la dendrochronologique en vue notamment de positionner -dans l'arbre et entre eux- les prélèvements de tissus ligneux destinés à l'analyse radiométrique des vestiges.

II – Caractérisation des bois

Les bois qui nous ont été confiés se présentent sous la forme d'échantillons ; ils n'ont donc pas été observés dans leurs dimensions d'origine (figure 2). Tous sont dans un état anhydre et arborent des tissus déstructurés réduisant considérablement les possibilités de caractérisation de ces artefacts. Les agencements cellulaires apparaissent profondément affectés du fait d'altérations d'ordre chimique et microbiologique, caractéristiques de milieux anaérobies, qui ont causé des pertes de densité et des déstructurations (figures 3 et 4). Les accroissements sont déformés et composent, sur de rares plages lisibles, des séries de cernes difficilement mesurables et de longueurs inappropriées pour engager des recherches de synchronismes.

Les analyses macrographiques et micrographiques - en plan transversal, en plan tangentiel et en plan radial, des fibres, des vaisseaux, des rayons, de la forme, de la hauteur, de la disposition et de la fréquence des cellules - effectués en collaboration avec Victoria Asensi Amoros², permettent d'affirmer que les bois découverts à Azraq ont été façonnés dans du pin ; plausiblement dans du pin d'Alep³ (*Pinus cf. halepensis*), (figure 5, et annexe).

Du fait de leur reconditionnement sous forme d'échantillons, les bois se sont difficilement prêtés à la dendromorphologie ; l'échantillon 04-P4 (USC5-Sample4) a néanmoins pu faire l'objet de relevés sommaires. Cet échantillon qui consiste en la partie appointée sur 4 pans d'un pieu présente les caractéristiques d'un bois de brin d'un diamètre de plus de 20 cm, issu d'un pin ayant des accroissements moyens de plus de 3 mm (figure 4).

¹ Mission Azraq Ayn Sawda – Responsable d'opération : Lorraine Abu-Azizeh, Architecte, IFPO, UMIFRE 6 - MAEE - CNRS - USR 3135 - Amman (Jordanie)

² Xylo-Data SARL – 4, Place Violet, 75015 Paris

³ Identifier un bois consiste à nommer l'arbre dont il est issu ; sont communément donnés le nom commercial ou vernaculaire et la dénomination botanique latine de la famille, du genre et de l'espèce lorsque c'est possible. Le nom du taxon est précédé de « cf » quand le niveau d'identification est incertain ; suivi de « sp » lorsque la différenciation anatomiquement de l'espèce n'est pas possible.

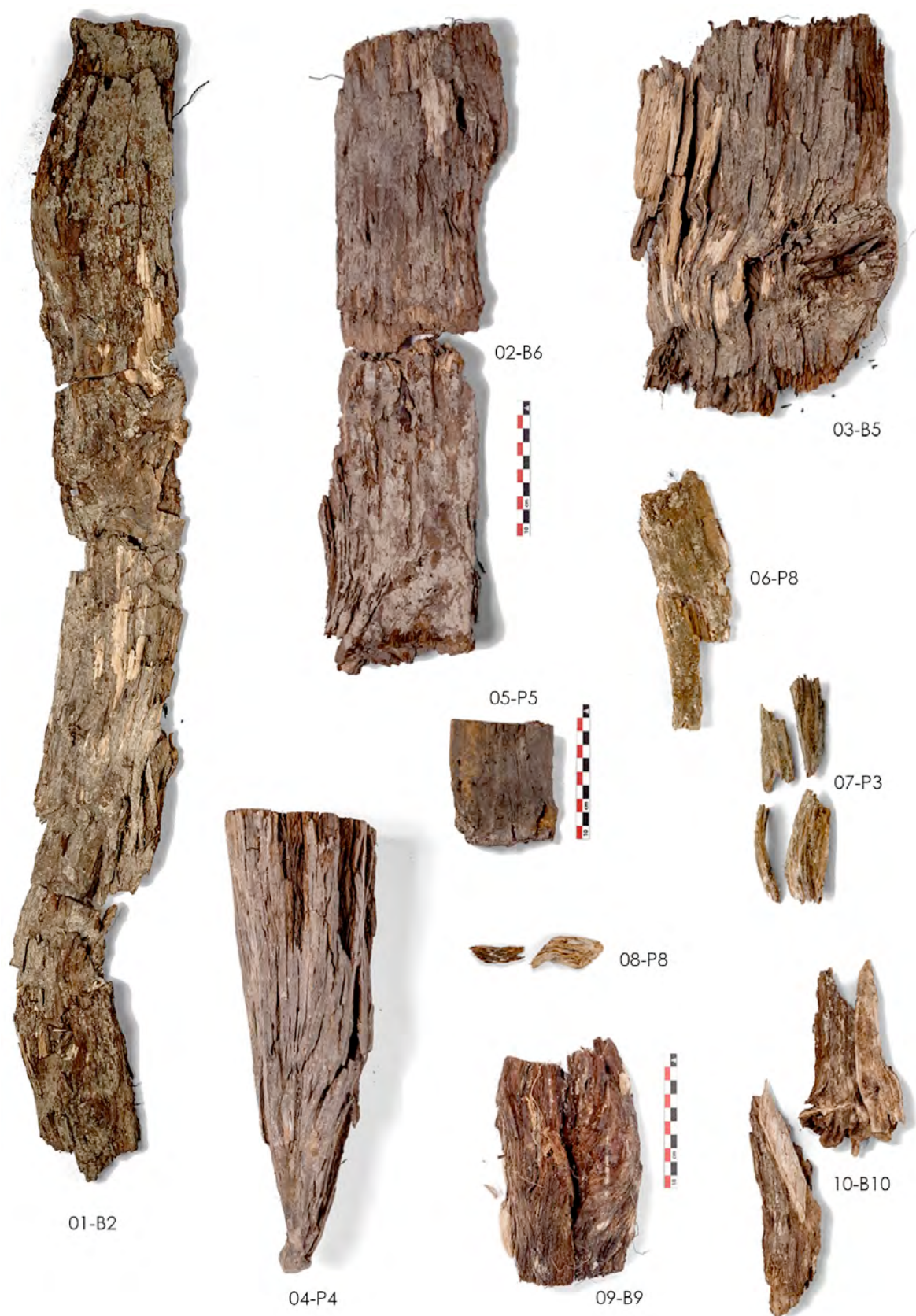


Figure 2 : Lot d'échantillons analysés ; les bois sont anhydres, fragiles et friables, inégaux dans leurs dimensions (rapport de 1 à 80 entre 08-P8 et 01-B2).



Figure 3 : Échantillon 05-P5 arborant 43 cernes de croissance déformés ; dendrochronologie non applicable.

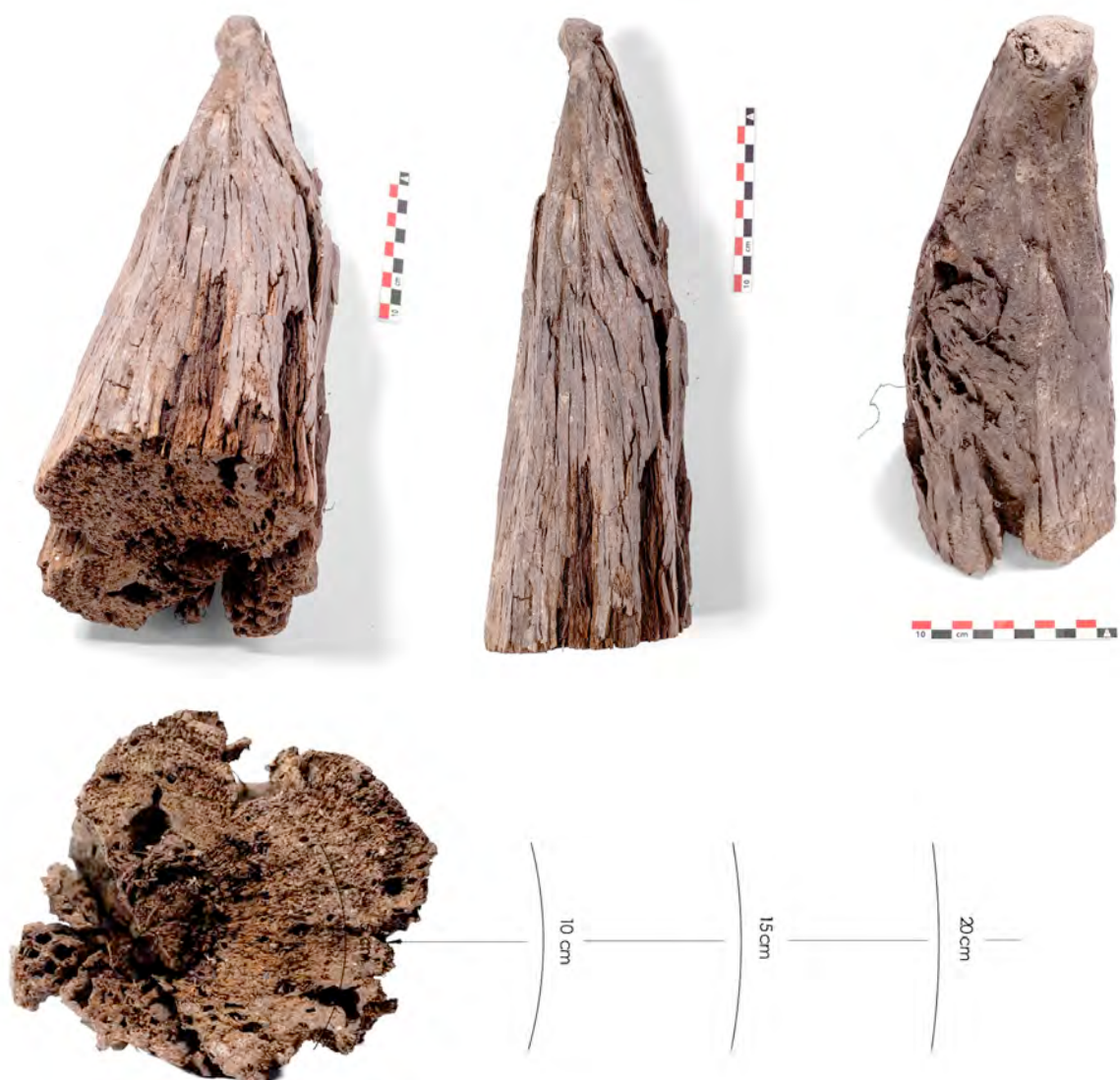


Figure 4 : Extrémité inférieure du pieu 04-P4, arborant des traces d'appointage sur 4 facettes, et profil dendromorphologique du bois - 18 cernes ont été comptabilisés depuis la moelle jusqu'au dernier cerne périphérique visible, accroissement moyen des cernes supérieur à 3 mm.

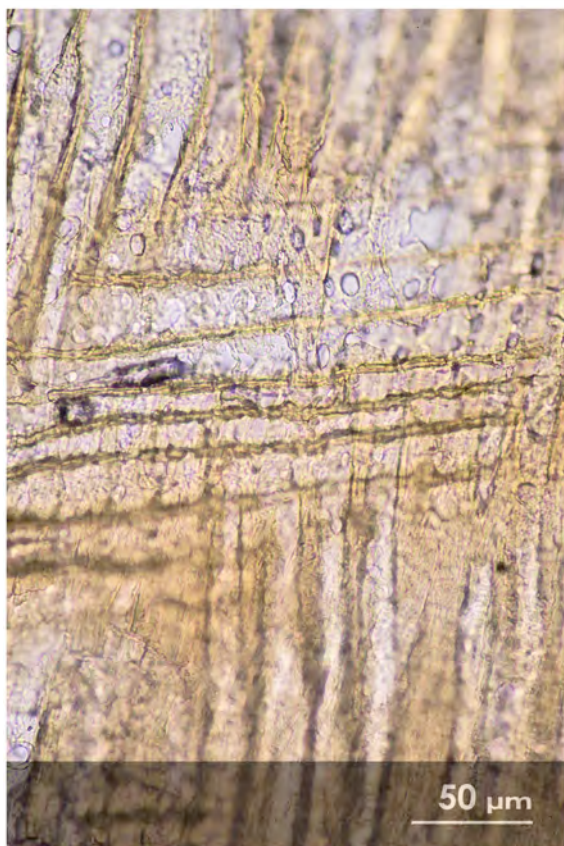
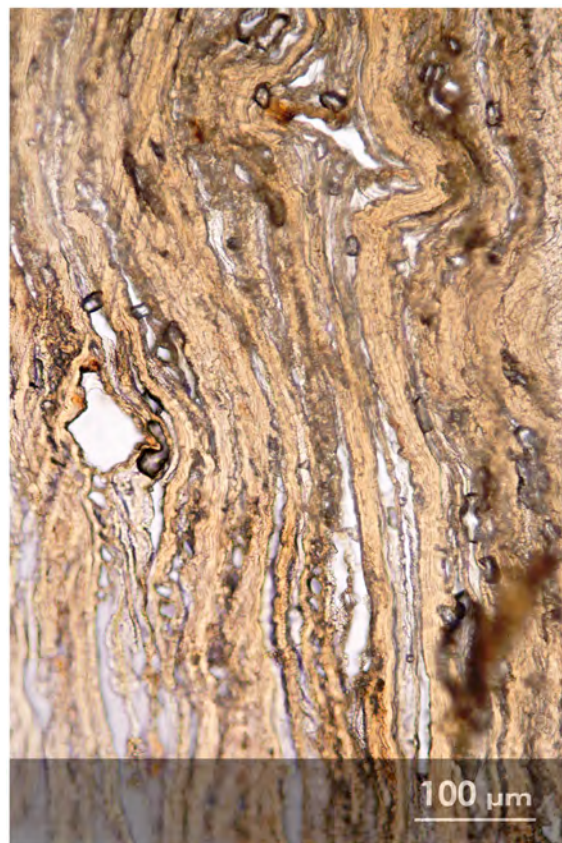


Figure 5 : Coupes microscopiques (plan transversal, plan tangentiel et plan radial) effectuées sur les échantillons 07, 01 et 05 (*Pinus cf. halepensis*). Les bois sont dans un très mauvais état de conservation, leur milieu et les conditions d'enfouissement anaérobie/aérobie ont engendré d'importantes déformations cellulaires.

III – Prélèvements pour des datations par le radiocarbone

Un décompte des cernes de croissance a été réalisé pour chacun des bois de manière à estimer au mieux le positionnement des prélèvements ^{14}C ; le but était dans notre cas de sélectionner les tissus les plus proches de l'assise cambiale, pour tendre à plus de précision. Une attention particulière a été accordée pour échantillonner des tissus moins contaminés par des carbones exogènes⁴. L'interprétation qu'il conviendra de donner aux résultats des analyses radiométriques devra parallèlement considérer les différentiels inhérents aux quantités de bois prélevés (figure 6) ; les prélèvements se référant à des individus supposés distincts et l'état de conservation des bois échantillonnés plus ou moins égal.

Prélèvement ^{14}C	cernes comptabilisés	US - lot bois / cat.	n° dendro	Description	Dimensions (cm) * dim. d'origine conservée
9,6 gr / 10-15 ^e cernes	16 cernes	C5 - sample 1 board 2	01-B2	planche	85,5 * 10,8 * 3,1 cm
10,4 gr / 20-30 ^e cernes	34 cernes	C5 - Sample 2 board P6	02-B6	planche	44,01 * 12,5 * 3,6 cm
12,2 gr / 21-23 ^e cernes	28 cernes	C5 - Sample 3 board P5	03-B5	planche	29,5 * 18,0 * 3,3 cm
4,4 gr / 10 ^e cerne	18 cernes, moelle	C5 - sample 4 pieu 4	04-P4	pieu appointé	Longueur 31,5 cm * diam. 11,5 cm
2,4 gr / 30-35 ^e cernes	43 cernes	C5 - Sample 05 P5	05-P5	planche	9,0 * 7,3 * 2,5
3,7 gr / 5-10 ^e cernes	15 cernes	C5 - Sample 06	06-P8	planche	18,4 * 6,2 * 1,9 cm
5,5 gr / 5-15 ^e cernes	16 cernes	C5 - Sample 07	07-P3	pieu	9,1 * 5,1 * 2,4 cm (fragment le + grand)
2,5 gr / 10-45 ^e cernes	58 cernes	C5 - Sample 08 pole P8	08-P8	pieu	5,1 * 2,3 * 2,0 cm (fragment le + grand)
11,3 gr / 2-10 ^e cernes	12 cernes	C2 - Sample 09 board	09-B9	planche	16,1 * 4,0 * 3,5 cm (fragment le + grand)
impropre au prélèvement		C2 - Sample 10 board	10-B10	perche	16,1 * 10,2

Figure 6 : Liste des bois étudiés et échantillonnés pour des datations par le radiocarbone.

⁴ (Lavie, 2013) ; (Richardin et Gandolfo, 2013).

IV - Orientations bibliographiques

Aléon D., Chanrion P., Negrie G., 1995 - *Le ressuyage et le séchage naturel des sciages feuillus*, Paris, CTBA, 1995, 120 p.

Baillie M.G.L., Pilcher J.-R., 1973 - A simple cross dating program for tree-ring research, *Tree-Ring Bulletin*, 33, Tree-Ring Society, University of Arizona, Tucson, pp. 7-14

Centre d'étude et de traitement des bois gorgés d'eau, 1985 - Les bois gorgés d'eau, étude et conservation, *Actes du 2e colloque du groupe de travail Bois gorgés d'eau*, ICOM, Grenoble, 369 p.

Chaumat G. *et al.*, 2007 - Les techniques actuelles de conservation mises en œuvre par ARC-Nucléart, *Sauvé des eaux. Le patrimoine archéologique en bois histoires de fouilles et de restaurations*, pp 169-178.

Collardet J., Besset J., 1988 - *Bois commerciaux*, Tome I : les résineux (conifères), H. Vial, Dourdan, Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, Paris, 277 p.

Damon P., Donahue D., Gore B. *et al.*, 1989 – Radiocarbon Dating of the Shroud of Turin, *Nature*, 337(6208), pp. 611-615.

Detienne P., 1988 - *Cours illustré d'anatomie des bois*. Centre Technique Forestier Tropical CIRAD.

Eckstein D., 1969 - *Entwicklung und Anwendung der Dendrochronologie zur Alterbestimmung der Siedlung Haithabu*, Thesis, University Hamburg, 113 p.

English Heritage, 2010 - *Waterlogged Wood, guidelines on the recording, sampling, conservation and curation of waterlogged wood*, English Heritage, London, 34 p.

Evin J., Oberlin C., 1998 – *La méthode de datation par le radiocarbone*, La datation en laboratoire, Collection "archéologiques", Editions Errance, Paris, pp. 75-117.

Giuliano J., 2008 - *Bois essences et variétés*, Editions H. Vial, Dourdan.

Grenouiller B., 1993 - *Les traces d'outils à bois de l'antiquité à nos jours*, Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies d'archéologie des périodes historiques, [dir.] Dentzer J.-M., ms. dact., Université Paris I - Sorbonne, 255 p.

Guibal F., 1991 - La dendrochronologie : méthode et potentialités, *Revue Archipal*, 30.

Guibal F., Lambert G.-N., Lavier C., 1991 - "Application de trois tests de synchronisation à trois types de données", *Dendrochronologia*, 9, Instituto Italiano di Dendrochronologia, LaboStoriaNat Verona, pp. 193-206.

Jacquot C., 1955 - *Atlas d'anatomie des bois de Conifères*. Centre Technique du Bois et de l'Ameublement (2 vol), Paris.

Lavier C., 2013 - Archéodendrométrie sur objets et oeuvres d'art à support-bois : savoir-faire technique, capacités, obstacles et alternatives, *Spectra Analyse*, n° 292, pp. 67-73.

Lavier C., Locatelli C., Poussot D., 2004 - De l'artefact en bois à la nature forestière : quelques histoires parlantes, *La revue forestière française*, LVI, numéro spécial "le bois dans son futur", ENGREF, Nancy, pp. 17-29.

Locatelli C., 1994 - *La chronologie du premier millénaire avant notre ère dans le Nord-Est de la France. Questions et réponses du dendrochronologue*, Mémoire de Maîtrise en Histoire de l'Art et Archéologie, U.F.R. Sciences du Langage de l'Homme et de la Société, Université de Franche-Comté, 130 p.

Mille P., 1995 - L'usage du bois vert au Moyen Age : de la contrainte technique à l'exploitation organisée des forêts, *L'Homme et la Nature au Moyen Age*, Coll. Archéologie, Actes du Ve congrès international d'archéologie médiévale, Grenoble, 6-9 octobre 1993, Dir. Colardelle M., Errance, Paris, pp. 165-169.

Mills C., 1988 - "Dendrochronology : the long and the short of it", Science and Archaeology, Coll. *British Archaeological Review (BAR)*, *International Series 196, Proceedings of a conference on the application of scientific techniques to archaeology*, Glasgow, September 1987, E. A. Slater and J. O. Tate, pp. 549-565.

Munaut A.V., 1988 - La dendrochronologie une synthèse de ses méthodes et applications, *Lejeunia*, nouvelle série n°91, Editions de Lejeunia, Liège (B), pp. 1-47.

Pillonel D., 2007 - *Technologie et usage du bois au Bronze final*, Coll. Archéologie neuchâteloise, 37, Hauterive-Champréveyres 14, Office et musée cantonal d'archéologie, Neuchâtel, 322 p.

Rackham O., 1982 - The growing and transport of timber and underwood", *Woodworking techniques before A.D. 1500, BAR International Series*, 129, Symposium at National Maritime Museum, Greenwich, September 1980, Sean Mc Grail, Londres, pp. 199-218.

Raven P., Evert R., Eichhorn S., 2000 – *Végétale*, Editions De Boeck Université, Paris (traduction de la 6e édition américaine par J. Bouharmont),

Richardin P., Gandolfo N., 2013 – Datation et authentification des oeuvres de musée – Apports de la datation par le carbone 14, *Spectra Analyse*, n° 292, pp. 55-60.

Schweingruber F.H., 1982 - *Anatomie microscopique du bois*, Teufen Ch, 226 p.

Schweingruber F.H., Eckstein D., Serre-Bachet F., Bräker O., 1990 - Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology, *Dendrochronologia*, 8, Instituto Italiano di Dendrochronologia, LaboStoriaNat Verona, 1990, pp. 9-38.

Venet J., 1974 - *Identification et classement des bois français. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts*. Nancy.

V – Annexe (ci-après)

Dr. Victoria ASENSI AMOROS,
Expert Micrographe des Bois
Xylodata, SARL
4, Place Violet,
75015 Paris
Tél. : 33 (0) 6 67 30 89 19
e-mail : victoria.asensi@free.fr
<http://www.xylodata.fr>

A : SAS CIPRES
Espace Lafayette,
BP 91302
25000 Besançon

Paris le 18/01/2016

RAPPORT D'EXPERTISE XYOLOGIQUE

Il nous a été fourni, pour identification du bois, un fragment d'un pieu en provenance de Jordanie (contexte archéologique).

Matériel et méthodes

Une étude macroscopique du prélèvement a été effectuée afin d'apprécier le grain, la texture et la couleur du bois.

Il s'agit d'un bois de couleur brun-foncé, à fil droit. Couleur et densité de l'échantillon semblent avoir été altérés, sans doute en contact avec l'eau.

Préparation des échantillons pour étude microscopique

- Prélèvement de copeaux millimétriques : coupes transversale, tangentielle et radiale.
- Vidage du contenu cellulaire.
- Montage de l'échantillon entre lame et lamelle avec Euparal et séchage pendant deux jours.

Etude des caractères anatomiques

- Microscope optique Carl Zeiss et photographies numériques.
- Consultation d'ouvrages cités dans la bibliographie.
- Comparaison avec notre collection personnelle de référence de bois.

Etude et identification

Nous présentons à côté de l'identification le nom du genre ou de l'espèce en latin et en italique (suivant les normes internationales de nomenclature), le vernaculaire français (ou l'anglais) et la famille d'appartenance de l'essence. Si le genre ou l'espèce sont précédés de « cf. » cela indique que nous n'avons pas eu accès, généralement du fait de la petite taille des échantillons (ou de leur mauvais état de conservation), à tous les éléments nécessaires pour effectuer une identification certaine mais qu'il s'agit probablement du genre cité, en fonction d'un croisement de données anatomiques.

Identification du bois : *Pinus cf. halepensis* Mill., Pin d'Alep, Pinaceae.

***Pinus halepensis* Mill.** atteint une hauteur de 10 à 15 mètres de hauteur et un fût qui peut aller jusqu'à 0,50 mètre de diamètre, sa longévité est faible. Il possède des aiguilles (vert gris clair) groupées par deux, très fines, souples et longues et de cônes brun luisants (6 à 12 centimètres de longueur) ; son écorce lisse et gris-argent dans l'arbre jeune et devient rouge-brun et s'épaissit et se crevasse.

***Pinus halepensis* Mill.** est une essence méditerranéenne présent depuis l'Espagne jusqu'à l'Anatolie et depuis le Sud de l'Europe jusqu'aux montagnes du Maroc.

Le bois du **pin d'Alep** présente un duramen fauve clair très résineux, l'aubier est blanc jaunâtre. Les cernes sont apparents avec une zone de bois final foncée, étroite et tranchante avec le bois initial. Il possède de canaux résinifères assez gros et colorés avec une résine rouge-brun, isolés ou groupés par 2 à 5, ils sont repartis dans toute la largeur du cerne mais très souvent alignés dans la zone de transition entre le bois initial et final. Le fil du bois est plutôt irrégulier, avec des nœuds larges. Le duramen du bois est assez résistant aux altérations biologiques tandis que l'aubier est facilement altérable par les champignons ou les insectes.

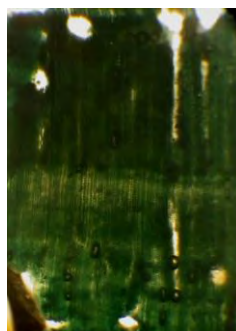
Microscopie

Coupe transversale

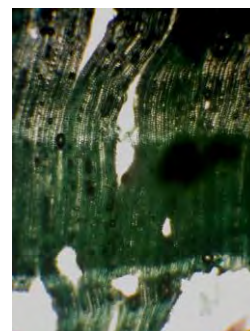
Limite des cernes bien visible. Passage graduel à très abrupte entre le bois initial et le bois final. Dans le bois final les canaux résinifères présentent des cellules larges à cellules épithéliales fines.



Coupe transversale ©Victoria Asensi



Coupe transversale ©Victoria Asensi



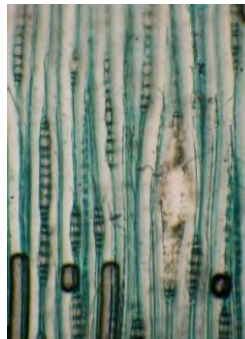
Coupe transversale
©Victoria Asensi

Coupe tangentielle

Rayons très étroits, unicellulaires. Hauteur moyenne des rayons est de 10 cellules (limité à 22). Présence de fibres trachéides. Présence des canaux résinifères entourés de cellules épithéliales fines.



Coupe tangentielle ©Victoria Asensi



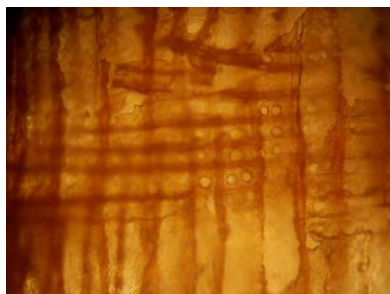
Coupe tangentielle ©Victoria Asensi



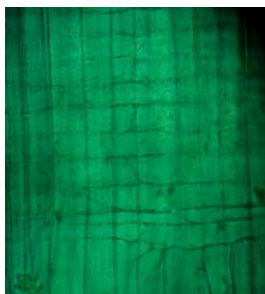
Coupe tangentielle
©Victoria Asensi

Coupe radiale

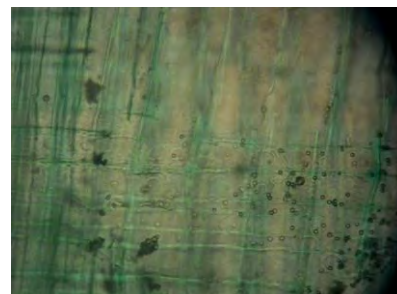
Fibres trachéides avec des ponctuations aréolées, généralement unisériées, occasionnellement bisériées et présentant des crassules. Leur diamètre est de 18 à 23 microns. Rayons hétérogènes avec des trachéides horizontales à parois épaisses et dentées (il peut avoir aussi des parois moyennement dentées). 2 à 3 (1 à 4) ponctuations pinoïdes à picéoïdes, disposées notamment en rangées horizontales et présentant un diamètre de 7 à 12 microns.



Coupe radiale ©Victoria Asensi



Coupe radiale ©Victoria Asensi



Coupe radiale ©Victoria Asensi

Bibliographie

CALLEN, G., 1976, *Les conifères cultivés en Europe*, Vol. I, J.-B. Baillière, Paris, 425p.

COLLARDET, J. et BESSET, J., 1988, *Les bois commerciaux et leurs utilisations. Tome 1. Bois résineux (Conifères)*, Éd. H. Vial, Dourdan, 277p.

GARCIA ESTEBAN, L.; GUINDEO CASASUS, A. et DE PALACIOS DE PALACIOS, P., 1996, *Maderas de coníferas. Anatomía de géneros*, Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid.

GARCIA ESTEBAN, L.; MARTIN, J. A. ; DE PALACIOS DE PALACIOS, P. ; GARCIA FERNANDEZ, F. et LOPEZ, R., 2010, « Adaptive anatomy of *Pinus halepensis* trees from different Mediterranean environments in Spain », *Trees*, 24, p. 19–30.



Victoria ASENSI AMORÓS

www.dendro.fr



contact@dendro.fr

Christine Locatelli, Didier Pousset - Archéodendrométrie

Laboratoire d'Expertise du Bois et de Datation par Dendrochronologie ☎ +0033 (0)6 81 03 70 70

Annexe 4 : datations radiocarbone (CIRAM)

CIRAM

Science For Art



Cultural Heritage

**LE RAPPORT 0216-AR-42A A ÉTÉ RÉALISÉ
PAR NOTRE DÉPARTEMENT ARCHÉOLOGIE**

DATATION PAR CARBONE 14 D'ÉLÉMENTS DE BOIS

Site du réservoir d'Azraq Ayn Sawda, Jordanie

sur demande de

Institut Français du Proche Orient
Mme Lorraine Abu-Azizeh
Amman
Jordanie

Dr. Armel Bouvier pour CIRAM

Martillac, le 1^{er} avril 2016

Vérifier l'authenticité
de ce rapport en scannant
ce QR code





DESCRIPTION DU CONTEXTE ARCHÉOLOGIQUE

Le travail présenté ici concerne l'étude d'un réservoir à Azraq-Ayn-Sawda, en Jordanie. Cette étude a été entreprise sous l'égide de l'Institut Français du Proche Orient.

La chronologie de ce réservoir est encore un peu floue, plusieurs hypothèses sont proposées à l'heure actuelle. Il pourrait s'agir d'une construction romaine ou encore de la dynastie Omeyyade.

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Il s'agit de proposer des repères chronologiques pour le fonctionnement du site, mais également de fournir des informations susceptibles de contribuer à l'établissement d'un référentiel dendrochronologique (cf. le rapport du LEB2D). En effet, notre travail intervient consécutivement à une approche xylologique de pieux et de planches de coffrages retrouvés sur le site et étant identifiés comme des fragments de pin d'Alep (cf. le rapport de Xylo Data).

LOCALISATION DES PRÉLÈVEMENTS

Afin de répondre à la problématique posée, deux prélèvements de bois nous ont été confiés (tab. 1).

Réf. CIRAM	Prélèvement	Nature	Masse (mg)
AG68	Pieu (Sample 4)	bois	54,8
AG69	Planche (Sample 6)		45,9

Tab. 1 : Référencement CIRAM, prélèvement, nature et masse des prélèvements.



Fig. 1 : Photographie des échantillons de bois dans lesquels les prélèvements utilisés pour la datation ont été effectués.

Par la suite, ces prélèvements seront désignés par leur numéro d'échantillon dans la nomenclature du laboratoire CIRAM.



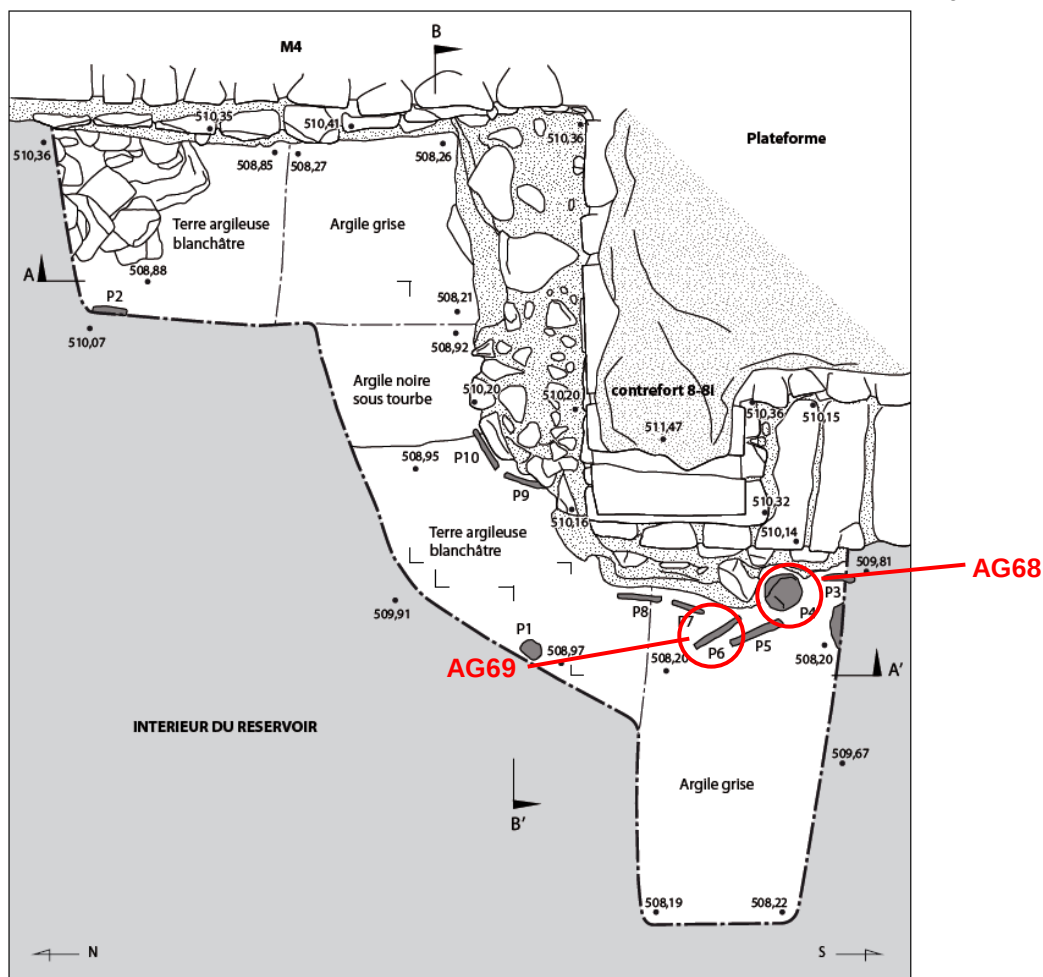


Fig. 2 : Plan du sondage C5 effectué dans le réservoir d'Azraq-Ayn-Sawda (plan IFPO). Les structures prélevées sont indiquées en rouge avec les numéros d'échantillon CIRAM.

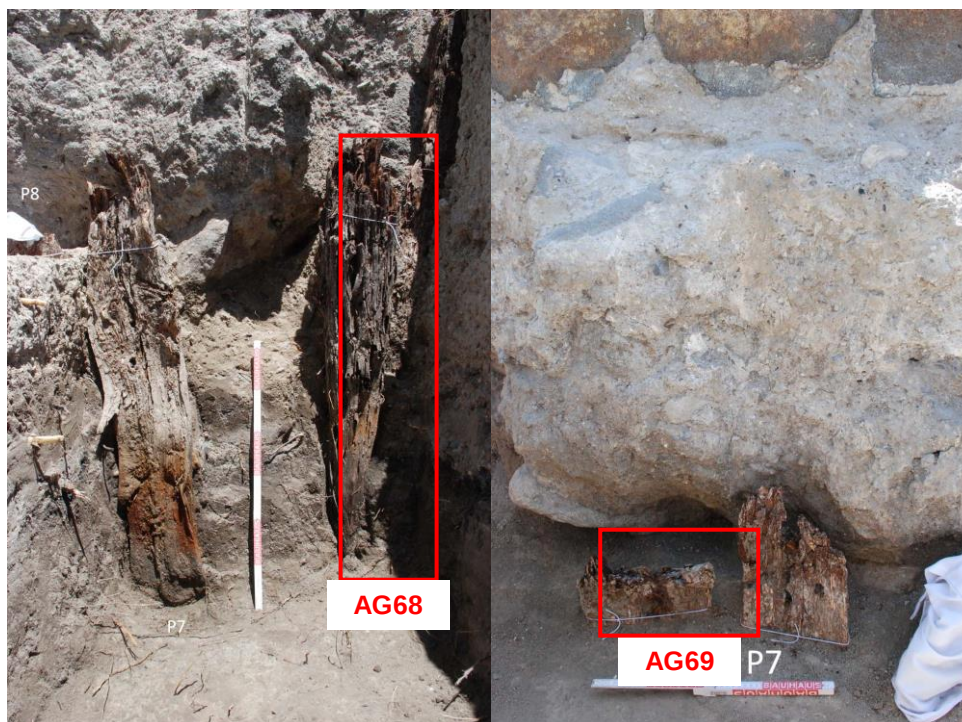


Fig. 3 : Photographies des structures en bois (photo IFPO). Les structures prélevées sont indiquées en rouge avec les numéros d'échantillon CIRAM.





DATATION DES PRÉLÈVEMENTS PAR CARBONE 14 - AMS

Préparation des échantillons

Les échantillons ont été traités à l'acide chlorhydrique (HCl) 1N à 80 °C pendant une heure, afin d'éliminer tout résidu de carbonates.

Ils ont ensuite été lavés à l'eau déminéralisée sur un filtre en fibre de verre et rincés dans une solution de soude diluée, afin d'éliminer tout risque de contamination par les acides humiques. Ils ont une nouvelle fois été traités à l'acide chlorhydrique (HCl) 1N à 80 °C pendant une heure, lavés à l'eau déminéralisée, puis séchés à 60 °C.

Une fois sec, ils ont été chauffés à 900 °C afin d'entraîner leur combustion. Les conditions instrumentales pour cette combustion ont été adaptées aux échantillons : ils ont été scellés dans des ampoules de quartz sous vide, en présence d'oxyde de cuivre CuO.

Le dioxyde de carbone (CO₂) résiduel a été séparé des autres résidus de combustion par purification cryogénique. Ce dioxyde de carbone a été transformé en graphite par catalyse suivant la méthode décrite par Vogel *et al.* (1984, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B5*, p. 289-293).

Mesure des teneurs en Carbone 14 résiduel et détermination de l'âge

Les différents isotopes de carbone ont été séparés par spectrométrie de masse, avec un accélérateur à 0,5 MeV. Puis, la concentration en ¹⁴C a été déterminée en comparant simultanément les mesures de ¹⁴C, ¹³C et ¹²C avec celles contenues dans des produits de référence (acide oxalique, CO₂ standard, charbon).

Le ratio ¹³C/¹²C (exprimé δ¹³C) a été mesuré séparément sur spectromètre de masse dédié à la mesure des rapports isotopiques stables, avec une erreur inférieure à 0,1 ‰.

L'âge ¹⁴C conventionnel a été calculé selon la méthode décrite par Stuiver et Polach (*Radiocarbon* 19/3 (1977), 355). Il prend en compte la correction du fractionnement isotopique (δ¹³C), basée sur la comparaison des rapports de concentration ¹³C/¹²C et ¹⁴C/¹²C.

Ce facteur permet de contrôler les effets d'éventuelles pollutions et d'évaluer la fiabilité de la mesure : il s'agit d'un bon indicateur de la « qualité » de l'échantillon.

L'incertitude de mesure associée au résultat (σ) regroupe les incertitudes statistiques de comptage du ¹⁴C résiduel, la variabilité des mesures et les effets de la soustraction du « blanc ».

Enfin, les intervalles de dates calendaires sont calculés en utilisant la calibration suivante :

OxCal v4.2.4 (Bronk Ramsey, 2009, Radiocarbon 51, vol. 4 337 - 360).

IntCal13, northern hemisphere calibration (Reimer et al., 2013, Radiocarbon 55, vol.4, 1869 – 1887)



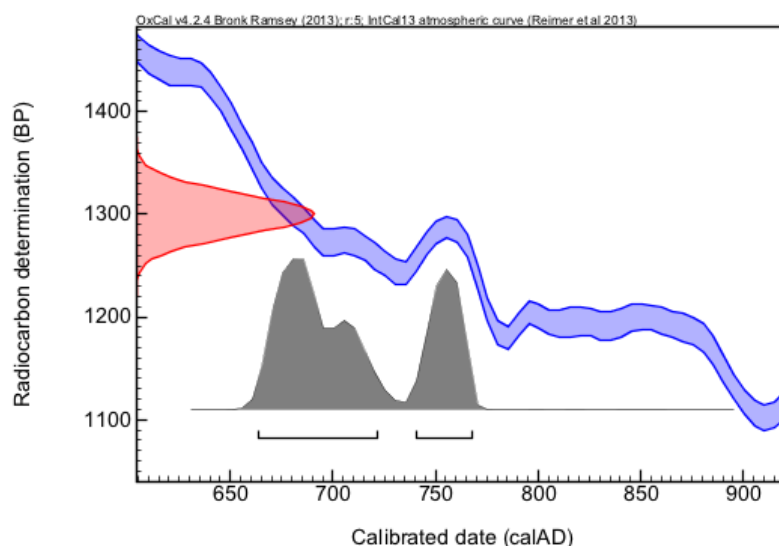


PRÉSENTATION INDIVIDUELLE DES RÉSULTATS

- AG68

Fraction	pMC corrigé	âge conventionnel	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Bois, résidus alcalins	85,07 $\pm$ 0,24	1300 $\pm$ 20 BP	- 27,9

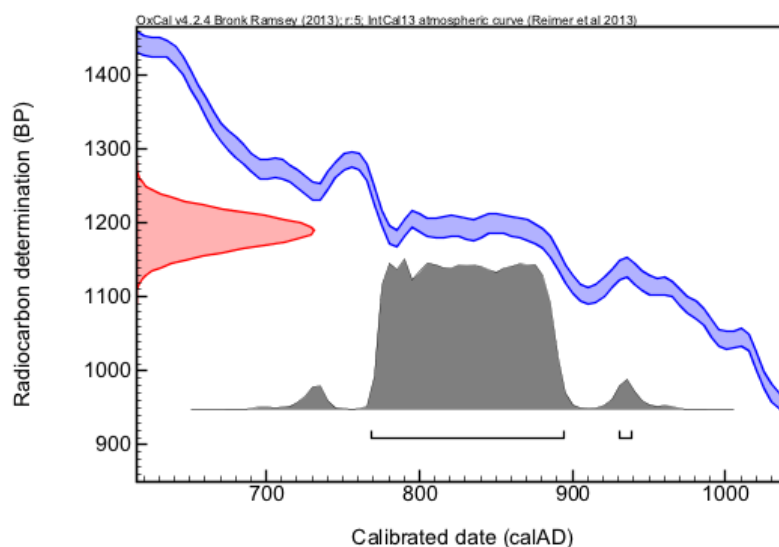
Dates calibrées à 2 σ : 664 – 722 après J.-C. (probabilité de 64,4%)
740 – 768 après J.-C. (probabilité de 31,0%)



- AG69

Fraction	pMC corrigé	âge conventionnel	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Bois, résidus alcalins	86,21 $\pm$ 0,25	1190 $\pm$ 25 BP	- 25,3

Dates calibrées à 2 σ : 768 – 894 après J.-C. (probabilité de 94,2%)
930 – 938 après J.-C. (probabilité de 1,2%)





BILAN ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Comme on le voit dans la figure 4 ci-dessous, les résultats sont discontinus. En effet, il n'y a aucune intersection des densités de probabilité à 2 sigma.

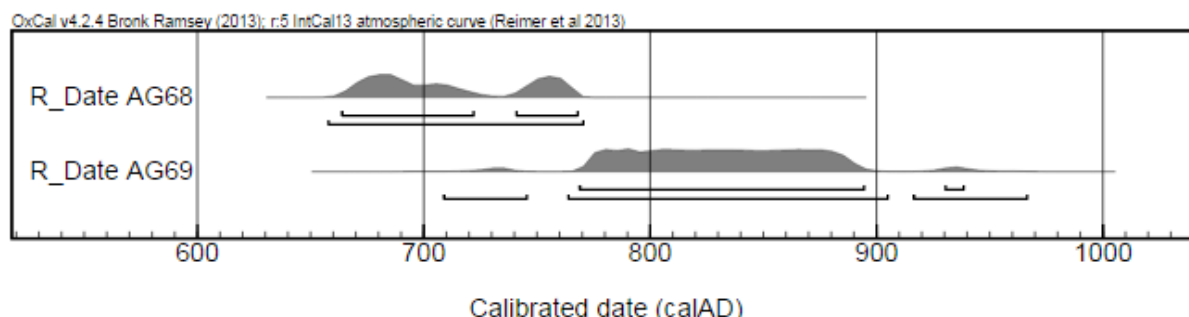


Fig. 4 : Distribution de probabilité a posteriori pour les datations obtenues sur AG68 et AG69. Les intervalles de datation à 3 sigma sont représentés en dessous de ceux à 2 sigma.

Plusieurs éléments d'informations sont à retirer de cette première approche de datation. Premièrement, on peut exclure l'hypothèse d'une construction antique. Les éléments en bois étant très probablement de peu antérieurs à l'édification du réservoir, ils permettent de proposer un *terminus post quem* au plus tôt au 7^e siècle.

Par ailleurs, il semble de prime abord que les deux éléments de bois ne soient pas contemporains, ce qui semble être une hypothèse à ne pas écarter. Toutefois, si des éléments archéologiques ou historiques permettent d'envisager que l'ensemble soit bien de la période Omeyyade, les intervalles a posteriori de datation de AG69 proposés à 3 sigma (99,7 % de confiance) mettent en évidence l'existence d'un intervalle supplémentaire :

Dates calibrées à 3 σ :	709 – 745 après J.-C. (probabilité de 2,2 %)
	764 – 905 après J.-C. (probabilité de 94,4 %)
	916 – 966 après J.-C. (probabilité de 3,0 %)

Par conséquent, il devient envisageable de considérer que les deux bois aient été abattus ou du moins aient vécu de manière contemporaine, dans la première moitié du 8^e siècle, même si cet événement est peu probable.

Toutefois, des données extérieures apportent un éclairage nouveau à la chronologie du réservoir. En l'occurrence, des datations ont été obtenues sur des échantillons de mortier par le CEDAD (Università del Salento). Ces résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Code labo	Prélèvement	Âge conventionnel	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
LTL 160250A	Sample 3	2665 $\pm$ 45 BP	- 19,7 $\pm$ 0,5
LTL 160251A	Sample 5	1350 $\pm$ 45 BP	- 26,6 $\pm$ 0,5
LTL 160252A	Sample 6	1401 $\pm$ 45 BP	- 22,8 $\pm$ 0,5
LTL 160253A	Sample 7	3176 $\pm$ 45 BP	- 16,9 $\pm$ 0,1
LTL 160254A	Sample 11	1196 $\pm$ 45 BP	- 11,5 $\pm$ 0,4

Tab. 2 : Code laboratoire, prélèvement, âge conventionnel et rapports isotopiques stables du carbone.

Parmi ces résultats, deux indiquent clairement un problème analytique : LTL 16050A et 53A. Ceci est très probablement lié à la présence de calcite mal calcinée au moment de la fabrication du mortier, entraînant un résidu d'âge géologique dans la mesure. En revanche, les trois autres résultats sont très compatibles avec ceux que nous avons mesurés (cf. figure 5).



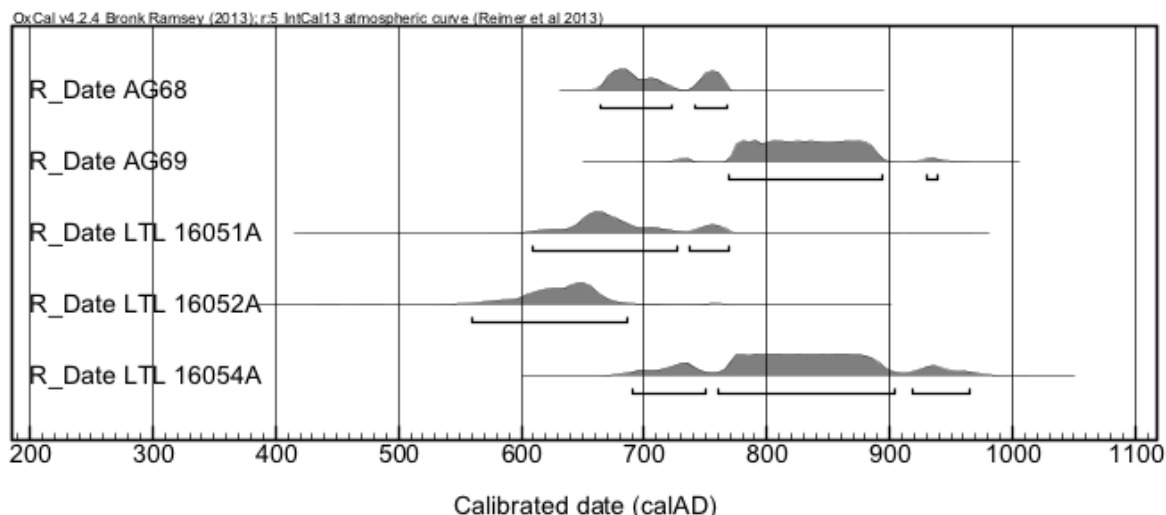


Fig. 5 : Distribution de probabilité a posteriori pour les datations obtenues par CIRAM et par le CEDAD.

La répartition montre quelques lacunes de recouvrement entre les datations. Nous avons exécuté un test statistique (χ^2) pour déterminer si les pMC mesurés sur les cinq échantillons considérés sont significativement différents ou s'ils renvoient à des événements sub-contemporains, que la méthode ne permet pas de discriminer. Le résultat obtenu de 26,8 pour un seuil d'erreur de 5 % à 9,5 (4 degrés de liberté) est incompatible avec cette assertion. C'est pourquoi, deux hypothèses nous apparaissent plausibles :

- Soit les résultats indiquent une seule phase de construction même si les résultats sont dispersés, auquel cas seuls les résultats les plus récents fournissent un *terminus post quem* valable à la construction du réservoir.
- Soit les résultats indiquent une phase de construction initiale et une phase de réfection plus tardive.

Seules les données archéologiques permettent de valider la première hypothèse. En revanche, nous pouvons vérifier la validité de la deuxième hypothèse en considérant que AG68, LTL16051A et LTL16052A qualifient la phase de construction initiale et AG69 et LTL16054A qualifient une potentielle phase de réfection du réservoir.

Pour vérifier la compatibilité des résultats avec ces hypothèses, nous avons également réalisé un test statistique (χ^2) pour déterminer si les pMC mesurés sur les échantillons de chaque phase peuvent renvoyer à des événements sub-contemporains.

- Pour la **phase 1** regroupant AG68, LTL16051A et LTL16052A, le résultat obtenu de 4,7 pour un seuil d'erreur de 5 % à 6,0 (2 degrés de liberté) est compatible avec le fait que les datations caractérisent plus ou moins un même événement. La date moyenne proposée à titre d'hypothèse pour cette première phase de construction serait la suivante : **656 – 710 AD** (84,5 % de probabilité) ou **746 – 764 AD** (10,9 % de probabilité).
- Pour la **phase 2** regroupant AG69 et LTL16054A, le résultat obtenu de 0,01 pour un seuil d'erreur de 5 % à 3,8 (1 degré de liberté) est également compatible avec notre hypothèse. La date moyenne proposée à titre indicatif pour cette deuxième phase de réfection serait la suivante : **771 – 892 AD** (95,4 % de probabilité).

Les deux phases pourraient s'être succédé dans un intervalle de temps très proche entre la deuxième moitié du 7^e siècle et la fin du 9^e siècle (moins de 250 ans).





CONCLUSION

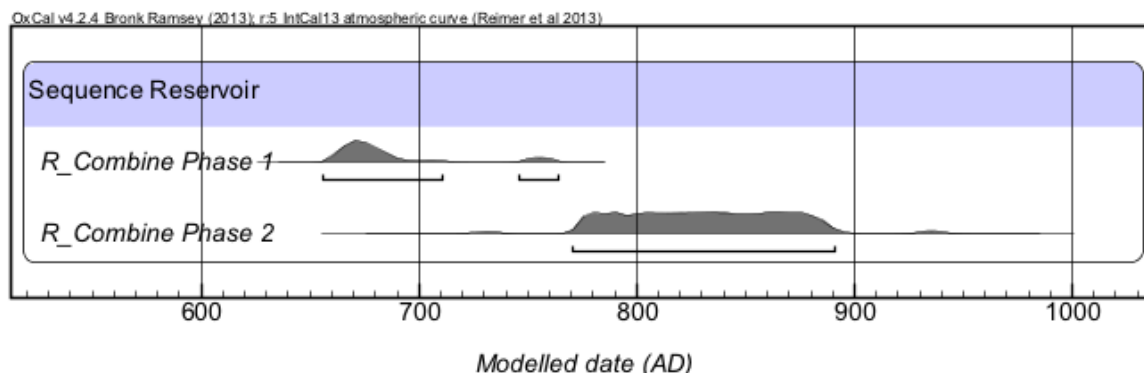


Fig. 6 : Représentation des distributions de probabilité des deux phases supposées de construction et/ou réfection du réservoir d’Azraq-Ayn-Sawda.

L’étude chronologique portant sur deux prélèvements de bois effectués lors des fouilles du réservoir d’Azraq – Ayn - Sawda (Jordanie) permet d’apporter les informations suivantes :

- ✓ Si le réservoir est constitué d’une seule phase de construction, on peut exclure que l’édification date de la période romaine.
- ✓ Les résultats obtenus sur les bois couvrent la fin du 6^e et le milieu du 10^e siècle.
- ✓ La confrontation des résultats obtenus sur les bois et les mortiers permet de proposer l’hypothèse que deux phases distinctes sont représentées.
- ✓ Une première phase de construction aurait pu avoir lieu entre la deuxième moitié du 7^e siècle et la première moitié du 8^e siècle, ce qui correspondrait à la période omeyyade.
- ✓ Une deuxième phase d’agrandissement ou de réfection pourrait avoir eu lieu entre la deuxième moitié du 8^e siècle et le 9^e siècle.

Les datations obtenues sur ces éléments de bois permettent de proposer une première approche chronologique, permettant plusieurs hypothèses sur la construction et l’évolution du réservoir. La conjonction de ces informations chronologiques, d’éventuelles datations ultérieures et surtout des informations issues du terrain devrait permettre de restituer l’histoire du réservoir d’Azraq-Ayn-Sawda.

Le présent rapport a été réalisé par le Dr Armel Bouvier.

Les analyses ont été effectuées au Center for Applied Isotope Studies, Athens, Georgia, United States.





Les principes de la datation par carbone 14

La datation au carbone 14 est basée sur la mesure de l'activité radiologique du carbone 14 contenu dans toute matière organique. Elle permet de déterminer l'intervalle de temps écoulé depuis la mort de l'organisme à dater (l'abattage de l'arbre par exemple).

Historique

Vers la fin des années 1940, des travaux réalisés aux États-Unis testèrent les potentialités d'utiliser les propriétés de la radioactivité naturelle du carbone 14 dans le cadre de la datation des matières organiques [1]. Puis, dans les années 1950, **Willard Frank Libby** a commencé à faire des expériences sur des échantillons égyptiens, qui furent couronnés de succès et lui valurent, en 1960, le prix Nobel de chimie pour le développement de cette méthode [2-3]. Depuis, avec l'évolution des techniques de mesure et l'accroissement de leur précision, il s'est avéré que le principe initial devait être ajusté, ce qui a conduit à l'élaboration d'une « calibration » des résultats, basée, en particulier, sur la comparaison avec des données obtenues par d'autres méthodes de datation (la dendrochronologie, par exemple) [4].

Principe de la méthode

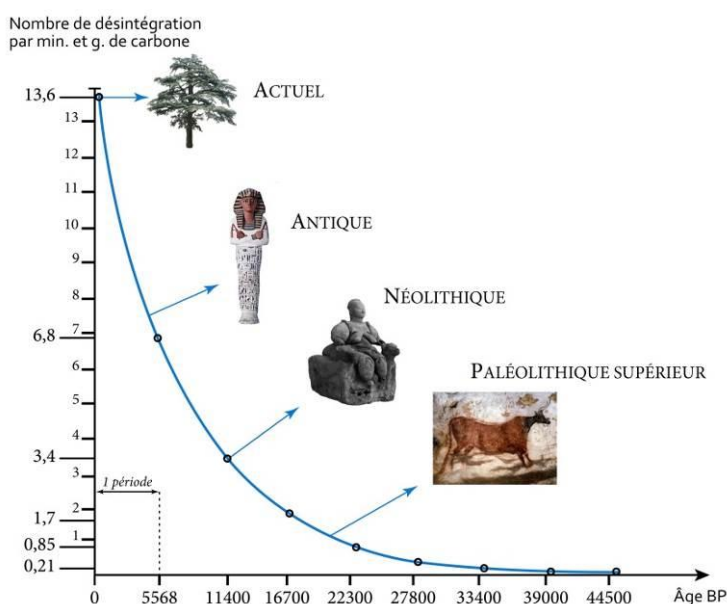
Le **carbone 14** (C^{14}) ou radiocarbone est un isotope radioactif du carbone dont la **période radioactive** (ou demi-vie) est égale à **5730 ans**.

Un organisme vivant assimile le carbone sans distinction isotopique, la proportion de C^{14} par rapport au carbone total (C^{12} , C^{13} et C^{14}) étant la même que celle existant dans l'atmosphère du moment.

La datation par carbone 14 se fonde ainsi sur la présence, dans tout organisme vivant, de radiocarbone en infime proportion (de l'ordre de 10^{-12} pour le rapport C^{14}/C total). A partir de l'instant où meurt un organisme, les échanges avec l'extérieur cessant, la quantité de radiocarbone qu'il contient décroît au cours du temps selon une loi exponentielle connue (désintégration naturelle des atomes de carbone 14).

Un échantillon de matière organique issu de cet organisme peut donc être daté en mesurant le rapport C^{14}/C total.

Courbe de décroissance exponentielle du ^{14}C





Evaluation de l'ancienneté

Dater un échantillon de matière organique consiste à mesurer le rapport C^{14}/C total et à en déduire son âge.

Le rapport C^{14}/C total est mesuré soit indirectement par la mesure de l'activité spécifique due au radiocarbone naturel qui est proportionnelle au rapport C^{14}/C total, soit directement par spectrométrie de masse.

Aujourd'hui, la mesure directe du rapport C^{14}/C total par la seconde méthode est privilégiée car elle permet de dater des **échantillons beaucoup plus petits** (moins d'un milligramme contre plusieurs grammes de carbone auparavant) et **en un minimum de temps** (en moins d'une heure contre plusieurs jours ou semaines). En pratique, le carbone extrait de l'échantillon est d'abord transformé en graphite, puis en ions qui sont accélérés par la tension générée par un spectromètre de masse couplé à un accélérateur de particules. Les différents isotopes du carbone sont alors séparés ce qui permet de compter les ions de carbone 14.

Signalons que les **échantillons vieux de plus de 50 000 ans ne peuvent être datés** au carbone 14 car le rapport C^{14}/C total est alors trop faible pour être mesuré par les techniques actuelles.

Age conventionnel et date calibrée

L'**âge carbone 14 conventionnel** d'un échantillon de matière organique, exprimé en années « before present » (**BP**), est calculé en considérant les deux éléments suivants :

- la période de désintégration du carbone 14 a été mesurée vers 1950 par Libby à 5568 ans ; or, depuis, des expériences plus précises ont été réalisées et donnent une période de 5730 ans ;
- la date de référence à partir de laquelle est mesuré le temps écoulé depuis la mort de l'organisme a été fixée à 1950 par Libby.

Par ailleurs, dès le début des années 1960, certaines divergences systématiques ont été observées, sur les mêmes échantillons, entre l'âge issu de la datation au carbone 14 et celui estimé par l'archéologie ou la dendrochronologie.

En effet, il s'avère que suite aux variations du champ magnétique terrestre, le taux de production du radiocarbone naturel a varié au cours du temps. Les changements climatiques ainsi que le rejet massif de carbone fossile dans l'atmosphère par l'industrie et les transports ont également modifié la teneur totale de carbone, donc de carbone 14. De plus, durant les années 1950 et 1960, les essais nucléaires ont presque doublé la quantité de radiocarbone dans l'atmosphère.

Par conséquent, les conventions choisies par Libby n'étant pas satisfaisantes, et la quantité globale de carbone 14 total dans la biosphère n'étant pas constante dans le temps, il est devenu nécessaire de construire des **courbes de calibration** en confrontant les datations obtenues par carbone 14 et celles données par d'autres méthodes telles que la dendrochronologie.

Ainsi, on transforme via ces courbes, l'âge BP en **datation calibrée** exprimée sous forme d'intervalles chronologiques associés à un pourcentage de probabilité [5-6].

Bibliographie

- [1] **G. Marlowe**, 1999, « Year one: radiocarbon dating and American archaeology, 1947-1948 », *American Antiquity*, LXIV/1, p. 9-32.
- [2] **W.F. Libby**, 1955, *Radiocarbon dating*. 2nd Ed, University of Chicago Press, Chicago.
- [3] **G. Marlowe**, 1980, « W.F Libby and the Archaeologists: 1946-1948 », *Radiocarbon*, XXII/3, p.1005-1014.
- [4] **R.E. Taylor**, 1987, *Radiocarbon dating: an archaeological perspective*, Academic Press, London, chap. 6.
- [5] **M. Stuiver et al.**, 1998, « CALIB rev 4.3 (Data set 2) », *Radiocarbon*, vol. 40, p. 1041-1083.
- [6] **A.J.T. Jull**, 2003, *Radiocarbon*, vol. 46, 18th conference, Wellington.



Annexe 5 : datations radiocarbone (CEDAD)



**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**



&(1-24#.# \$-°021~## E'211-1-°##

**Dr. Lorreine Abu Azizeh
IFPO CNRS**

06 April 2016

Rif.CEDAD: 2015 0068

Results of Radiocarbon Dating

Dear sir, please find enclosed the results of the radiocarbon dating of the samples you submitted to CEDAD (AMS and radiocarbon dating facility, University of Lecce, Italy) and listed in Table 1.

Sample ID	CEDAD Code	Provenance
SAM 3	LTL16050A	
SAM 5	LTL16051A	
SAM 6	LTL16052A	
SAM 7	LTL16053A	
SAM 11	LTL16054A	

TABLE 1. SUMMARY OF THE DATED SAMPLES.

Macro contaminants were removed from the samples by mechanical handpicking under optical microscope. The selected portion of the samples was treated in order to chemically remove any possible source of contamination.

The purified sample material was then converted to carbon dioxide by combustion in sealed quartz tubes. The obtained carbon dioxide was converted at 550°C into graphite by using ultrahigh purity Hydrogen as reducing medium and 2 mg iron powder as catalyst. The sample yielded enough graphite to allow an accurate determination of the radiocarbon age by the accelerator mass spectrometer.



The radiocarbon concentrations have been determined in the accelerator mass spectrometer by comparing the ^{12}C , ^{13}C currents and the ^{14}C counts obtained from the samples with those obtained from standard materials supplied by IAEA (International Atomic Energy Agency) and NIST (National Institute of Standard and Technology).

The "conventional radiocarbon age" was calculated with a $\delta^{13}\text{C}$ correction based on the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio measured directly with the accelerator. For the estimation of the measurement uncertainty (standard deviation) both the radioisotope counting statistics and the scattering of the data have been taken into account. The larger of the two is given as final error in Table 2.

Sample	Radiocarbon Age (BP)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)^(**)	Note
LTL16050A	2665 ± 45	-19.7 ± 0.5	
LTL16051A	1350 ± 45	-26.6 ± 0.5	
LTL16052A	1401 ± 45	-22.8 ± 0.5	
LTL16053A	3176 ± 45	-16.9 ± 0.1	
LTL16054A	1196 ± 45	-11.5 ± 0.4	

TABLE 2. MEASURED VALUES.

(**) The listed values of the carbon stable isotopes fractionation term ($\delta^{13}\text{C}$) are measured by AMS. These values can differ from the natural fractionation and from those measured by IRMS.

The conventional radiocarbon ages of the samples were converted into calendar years by using the software OxCal Ver. 3.5 based on the last atmospheric dataset [Reimer PJ, et al. 2013 *Radiocarbon* 55 No. 4-1869-1887]. The results of the calibration are reported in the following figures.



**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**


Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"



&(1-52#.# \$-°021~## E'811-1-E"°#

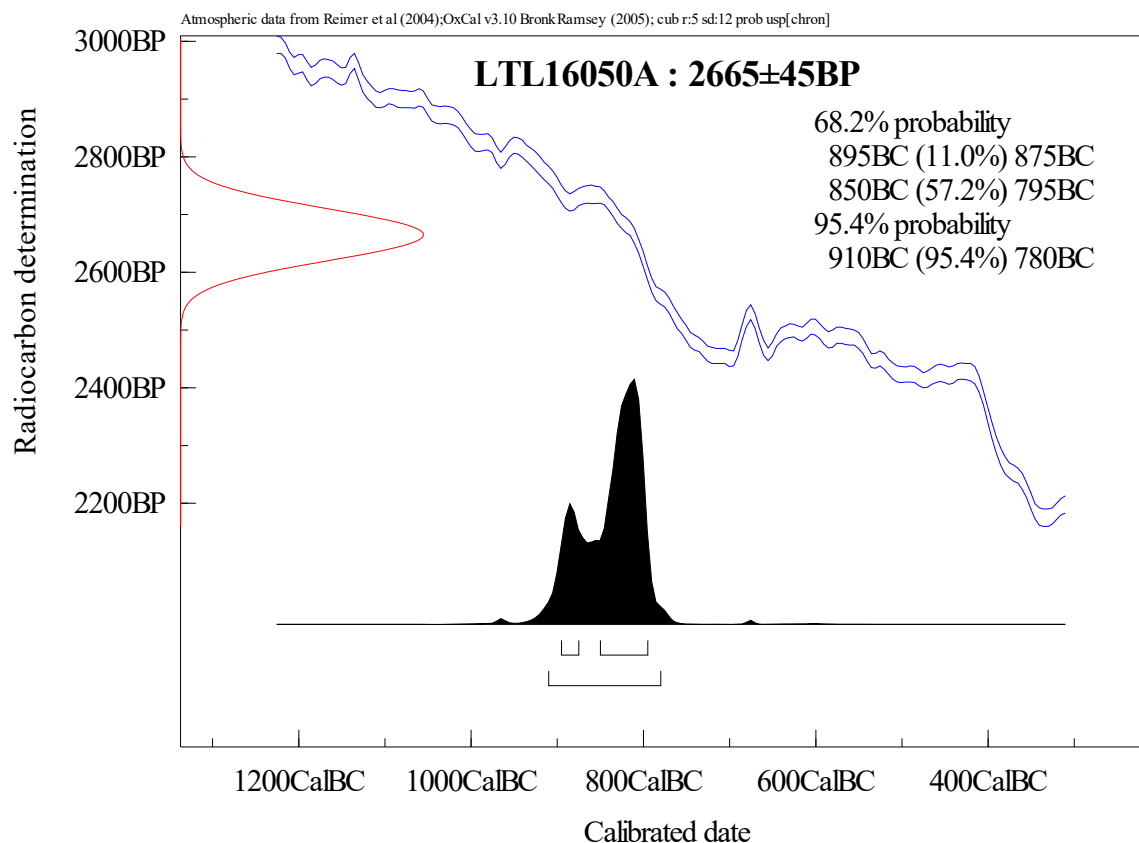


Figure 1. Calibration of the radiocarbon age of the sample LTL16050A.



**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**


Dipartimento di Matematica e Fisica
"Ennio De Giorgi"



&(1-52#.#\$-°0E1~##E'811-1-°°#

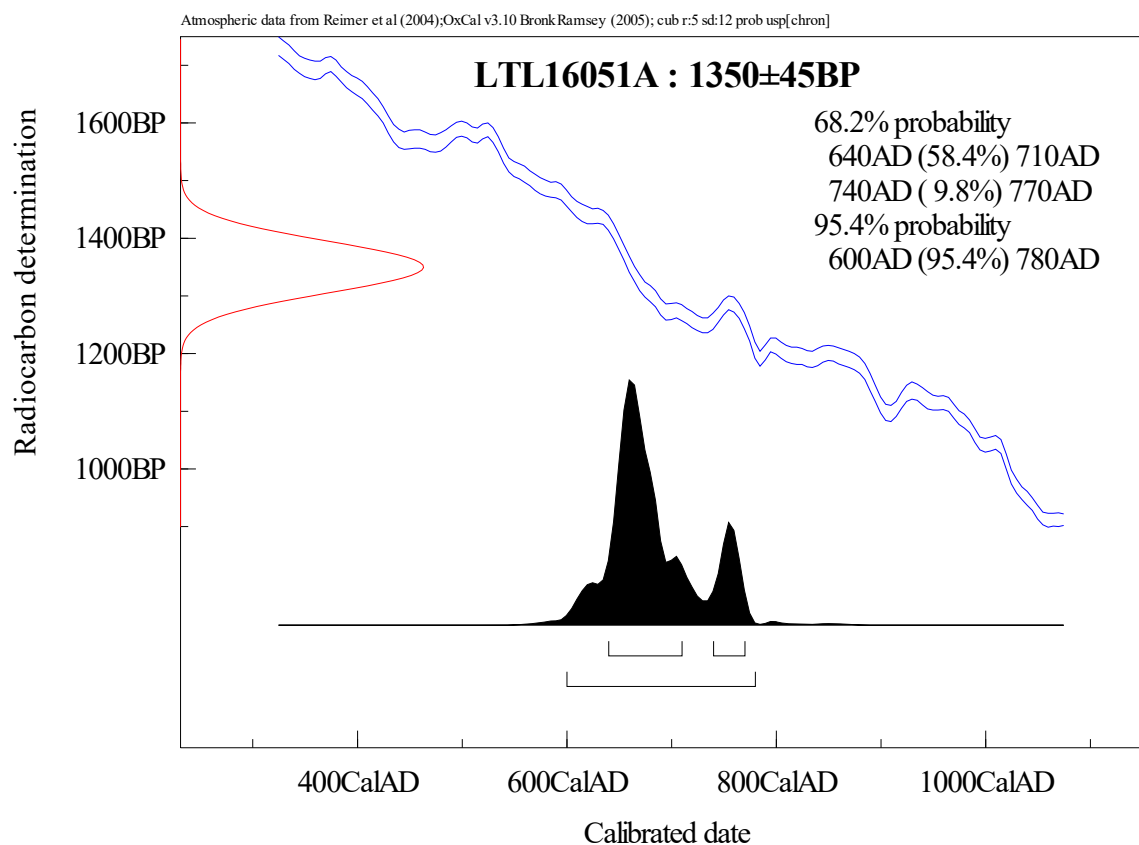
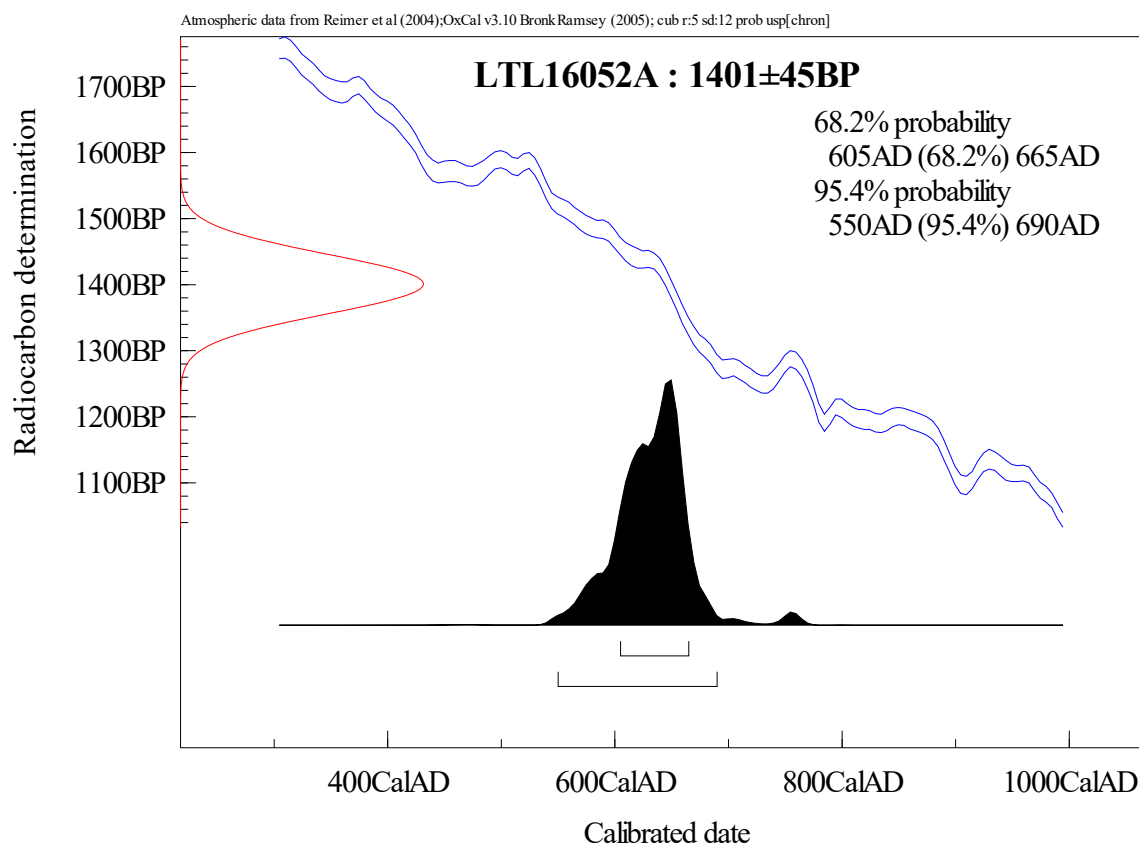
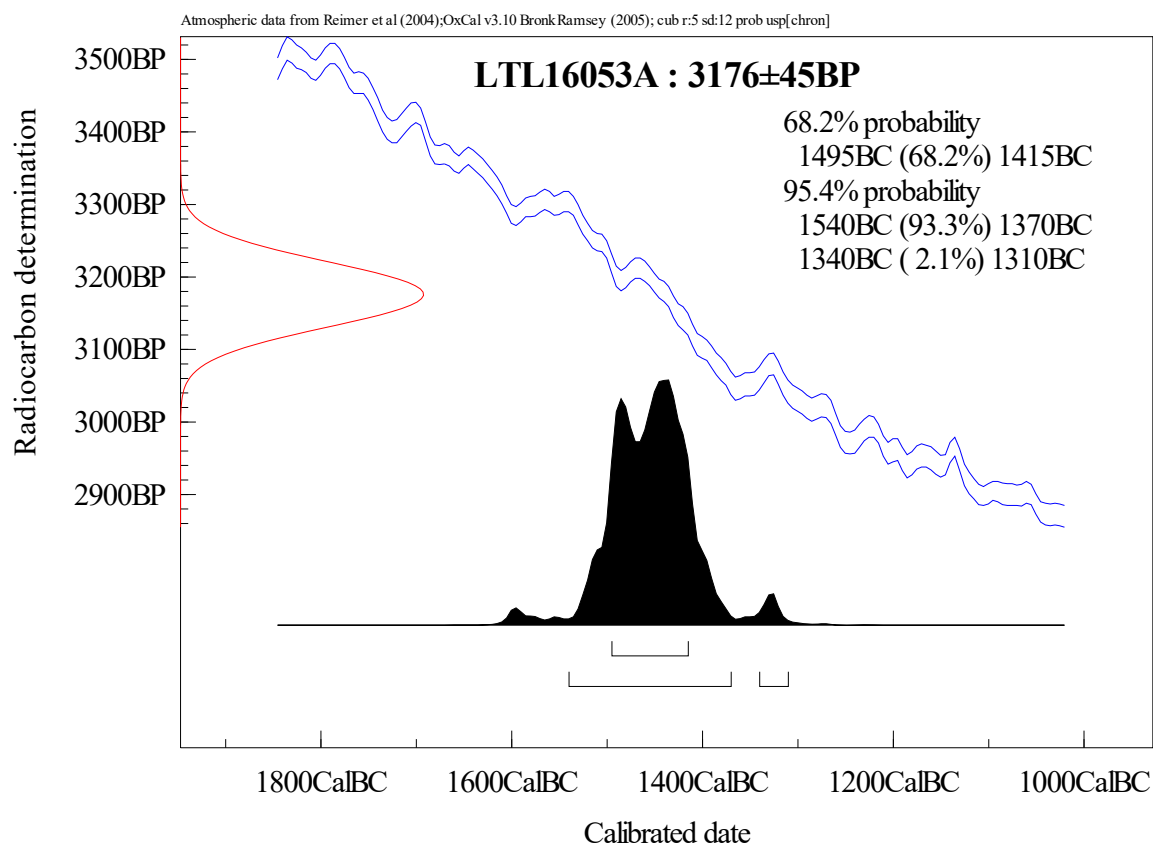


Figure 2. Calibration of the radiocarbon age of the sample LTL16051A.



**Figure 3. Calibration of the radiocarbon age of the sample
LTL16052A.**



**Figure 4. Calibration of the radiocarbon age of the sample
LTL16053A.**

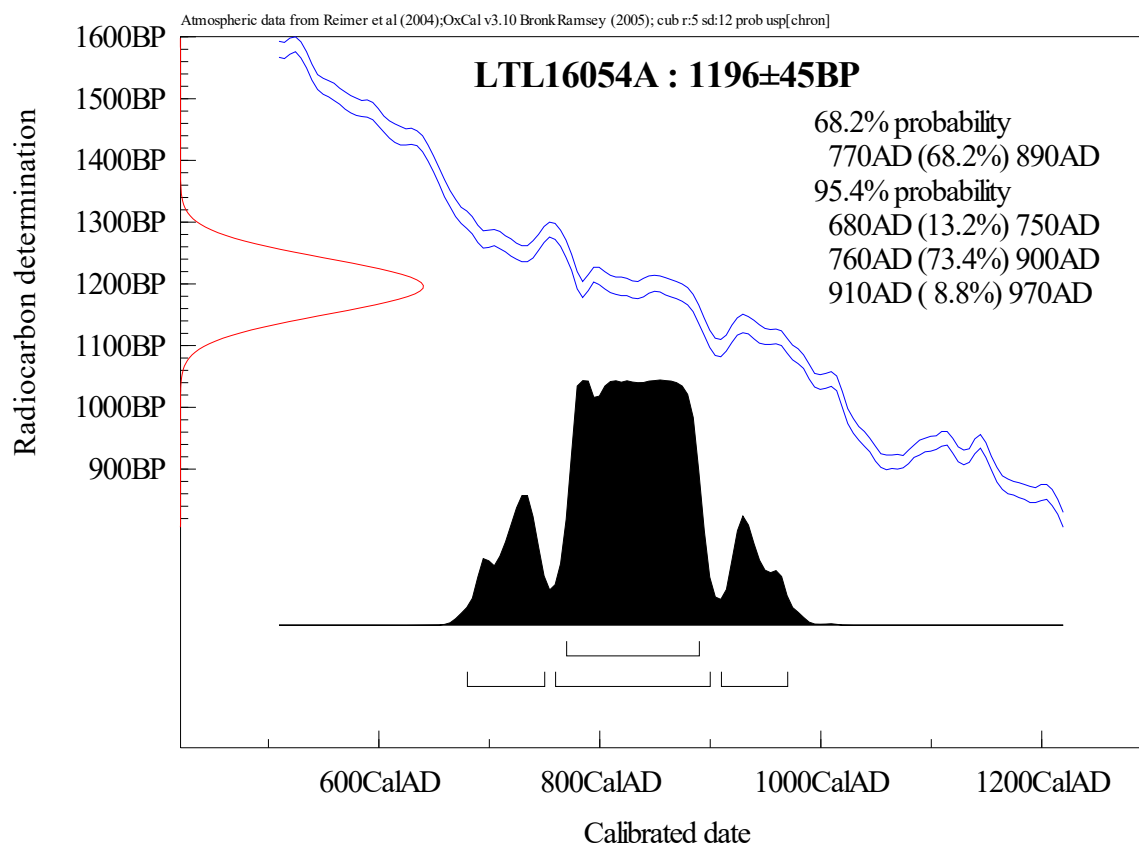


Figure 5. Calibration of the radiocarbon age of the sample LTL16054A.

Best Regards,



**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**



&(1-52#.# \$-°021~## E°A11¹-E°°#

Prof. Dr. Lucio Calcagnile

Director, Centro di Datazione e Diagnostica dell'Università del Salento