



**HAL**  
open science

## Les dépôts carbonatés en contexte archéologique, mémoire d'une gestion de l'eau : l'exemple du site de Jebel oust, Tunisie

Julien Curie, Christophe Petit, Aicha Ben Abed, Henri Broise, John Scheid

### ► To cite this version:

Julien Curie, Christophe Petit, Aicha Ben Abed, Henri Broise, John Scheid. Les dépôts carbonatés en contexte archéologique, mémoire d'une gestion de l'eau : l'exemple du site de Jebel oust, Tunisie. Véronique Brouquier-Réddé; Frédéric Hurlet. L'eau dans les villes du Maghreb et leur territoire à l'époque romaine, Mémoires (54), Ausonius, pp.273-285, 2018, 9782356132307. hal-02057653

**HAL Id: hal-02057653**

**<https://hal.science/hal-02057653>**

Submitted on 4 Jun 2020

**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.

# Les dépôts carbonatés en contexte archéologique, mémoire d'une gestion de l'eau : l'exemple du site de Jebel Oust, Tunisie

*Julien Curie, Christophe Petit, Aïcha Ben Abed, Henri Broise, John Scheid\**

Les dépôts carbonatés continentaux précipités par certaines eaux froides (tufs calcaires, spéléothèmes) ou chaudes (travertins) sont largement utilisés dans les études paléoenvironnementales comme enregistreurs fiables des conditions climatiques et environnementales contemporaines de leur formation<sup>1</sup>. Leur prise en compte en contexte archéologique se développe depuis quelques années, débutant avec l'étude pionnière des concrétions de l'aqueduc gallo-romain de Nîmes<sup>2</sup>, poursuivie par un certain nombre de cas d'étude – un *castellum diuisorium* à Ostie<sup>3</sup> ; les aqueducs gallo-romains d'Arles<sup>4</sup> et de Fréjus<sup>5</sup> – jusqu'aux études les plus récentes qui parviennent, notamment grâce aux progrès des méthodes analytiques, à mettre en évidence l'apport majeur des dépôts carbonatés à une compréhension améliorée du fonctionnement des aqueducs<sup>6</sup> et de la gestion de l'eau à l'époque romaine<sup>7</sup>.

Les objectifs de notre étude, appliquée sur le site antique de Jebel Oust, sont de démontrer l'intérêt d'une analyse géoarchéologique des dépôts carbonatés, d'une part au sein de la thématique des sanctuaires associés à une source à l'époque romaine, objets d'un questionnement majeur au sein des problématiques culturelles<sup>8</sup> et, d'autre part, à une caractérisation accentuée de la complexité de l'ingénierie hydraulique (et architecturale) mise en œuvre dans le fonctionnement d'un édifice thermal romain, au centre des études menées sur les pratiques balnéaires.

Le site est établi sur le versant oriental de la montagne homonyme, à une trentaine de kilomètres au sud de Tunis, sur la route de Zaghouan. Sur le flanc oriental de la montagne, une source hydrothermale présente un événement naturel qui est à l'origine de l'implantation antique et dont les propriétés physico-chimiques ont engendré la précipitation de dépôts carbonatés (travertins) au sein des structures anthropiques. La première occupation peut être datée du début du I<sup>er</sup> siècle p.C. et l'abandon de la fin du VI<sup>e</sup> siècle, certainement en lien avec le tarissement de la source<sup>9</sup>. Dans les années 1960, une grande partie du site a été mise au jour, en particulier les trois secteurs échelonnés le long du versant qui ont fait l'objet de recherches récentes<sup>10</sup>.

L'organisation du complexe présente un plan orienté autour de la source chaude (fig. 1). Le premier aménagement de celle-ci en lieu de culte date du I<sup>er</sup> siècle p.C. Au cours de la deuxième moitié du II<sup>e</sup> siècle, le lieu de culte connaît une phase de monumentalisation. La pérennité du lieu sacré est assurée par la mise en place d'un culte paléochrétien, avec la construction d'une église et d'un baptistère, à proximité immédiate de l'événement thermal. Depuis la zone culturelle, l'eau chaude de la source est acheminée en contrebas du versant, par le biais d'un profond aqueduc creusé dans le substrat géologique, afin

1. Pentecost 2005.

2. Guendon & Vaudour 2000.

3. Carlut *et al.* 2009.

4. Guendon & Leveau 2005.

5. Bobée *et al.* 2010.

6. Sürmelihindi *et al.* 2013.

7. Curie 2013 ; Curie & Petit 2014.

8. Cazanove et Scheid 2003.

9. L'eau chaude (55°C) redécouverte à la suite de travaux de prospection minière au début du XX<sup>e</sup> siècle est exploitée de nos jours pour l'alimentation d'un complexe sanitaire contemporain.

10. Les premiers dégagements, qui eurent lieu en 1907, n'affectèrent que les piscines 5 et 9 (cf. Carton 1907) et ce n'est qu'en 1962 qu'une grande partie du site fut dégagée par M. Fendri qui a publié un article, lequel concerne les mosaïques mises au jour à l'est des thermes (Fendri 1965). L'étude approfondie d'une partie des vestiges dégagés a été entreprise depuis 2000 sous la direction de A. Ben Abed et J. Scheid (Ben Abed & Scheid 2003 ; *Eid.* 2005 ; Ben Abed *et al.* 2011 ; *Eid.* 2018).

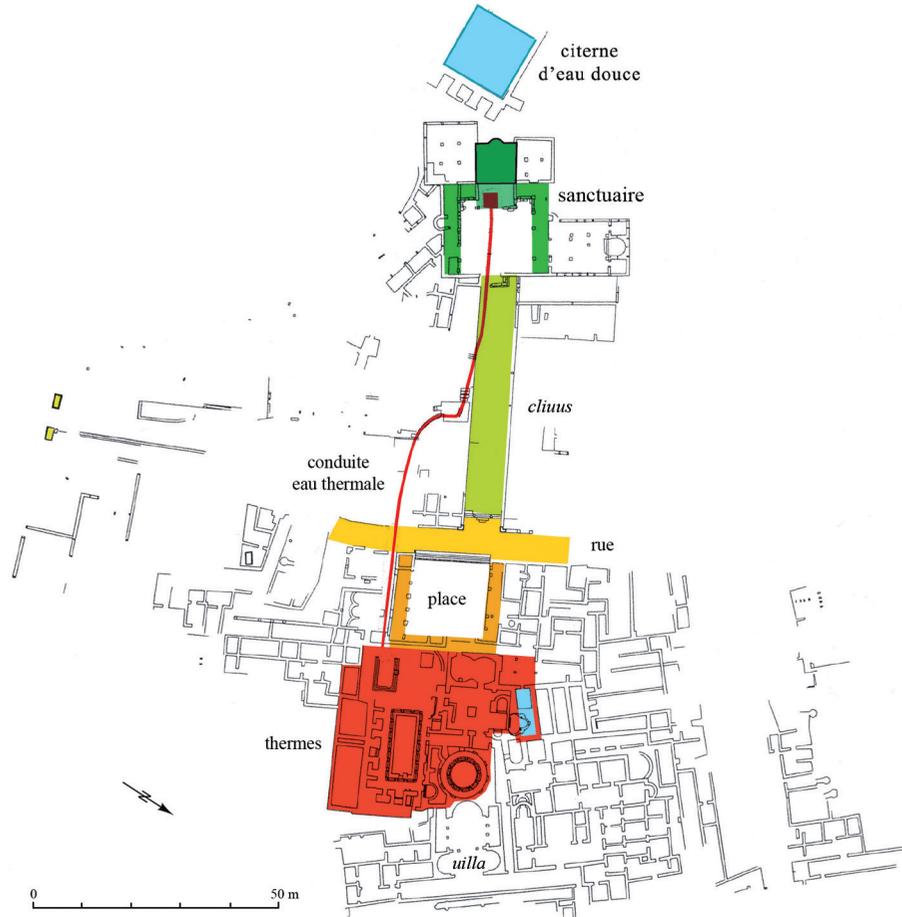


Fig. 1. Plan du site de Jebel Oust. Le temple tel qu'il est représenté, précédé d'une cour à portique, correspond au réaménagement du sanctuaire originel dans le courant du II<sup>e</sup> siècle p.C. (mission Jebel Oust).

d'alimenter un édifice thermal. Cinq grandes phases de fonctionnement ont pu être individualisées, dont les quatre premières correspondent à des agrandissements successifs lors de sa fréquentation en tant qu'édifice public lié au sanctuaire païen, et une phase de transformation puis de régression progressive liée à son utilisation en tant que bain privé, à la suite probablement des constitutions de Gratien et Théodose autorisant le démantèlement des biens religieux publics.

## LE SECTEUR CULTUEL : UNE EAU CAPTÉE

Les analyses géoarchéologiques et stratigraphiques du secteur du temple ont permis de repérer deux niveaux de sortie de l'eau thermique, qu'il est possible de relier topographiquement et chronologiquement aux deux états de construction du sanctuaire romain<sup>11</sup>.

11. Cette étude reprend les résultats publiés dans Curie *et al.* 2015.

## Le captage supérieur du 1<sup>er</sup> siècle p.C. : état 1

La *cella* du temple lors de son état 1 a été positionnée exactement à l'aplomb de l'évent thermal, bien que la géométrie de son exutoire ne puisse pas être reconstituée parfaitement du fait des aménagements postérieurs. Quelques observations de terrain permettent cependant d'appréhender correctement ce premier niveau d'émergence de l'eau chaude.

Ce niveau de base hydrostatique contemporain du premier état du sanctuaire se situe à l'altitude moyenne de 129,81 m. Trois profils topographiques, d'orientation grossièrement nord-sud, ont pu être relevés dans l'espace réduit qui subsiste de ce premier captage (fig. 2, profils 8, 9 et 10), immédiatement à l'ouest de la *cella* 1.

Le petit réseau de conduites (profil 9), repéré en arrière du mur de la *cella* 1 et immédiatement à l'est de la cuve baptismale, a été creusé dans le substrat géologique (brèche hydrothermale et travertins naturels de versant), probablement afin de faciliter l'écoulement des eaux. Ces conduites, relativement peu profondes, étaient certainement souterraines afin notamment d'éviter toute pollution extérieure de l'eau. Un dispositif de couverture de cette échancrure reste cependant hypothétique. Seul un vestige de maçonnerie subsiste au centre de la structure (profil 10), sous la forme d'un bloc constituant un plot de 20 cm de hauteur, ainsi qu'un petit muret situé dans l'angle nord-ouest de ce premier puits de captage. La fonction de ces vestiges nous reste inconnue. Représentent-ils les uniques vestiges d'une ancienne canalisation ? Le plot en pierre formait-il l'appui d'un pilier ? Cette base servait-elle de point d'appui pour faciliter l'accès au puits pour un entretien des structures hydrauliques ? Considérant sa position, au sein même du captage et des structures centrales d'écoulement de l'eau thermale, nous favorisons ici cette dernière hypothèse.

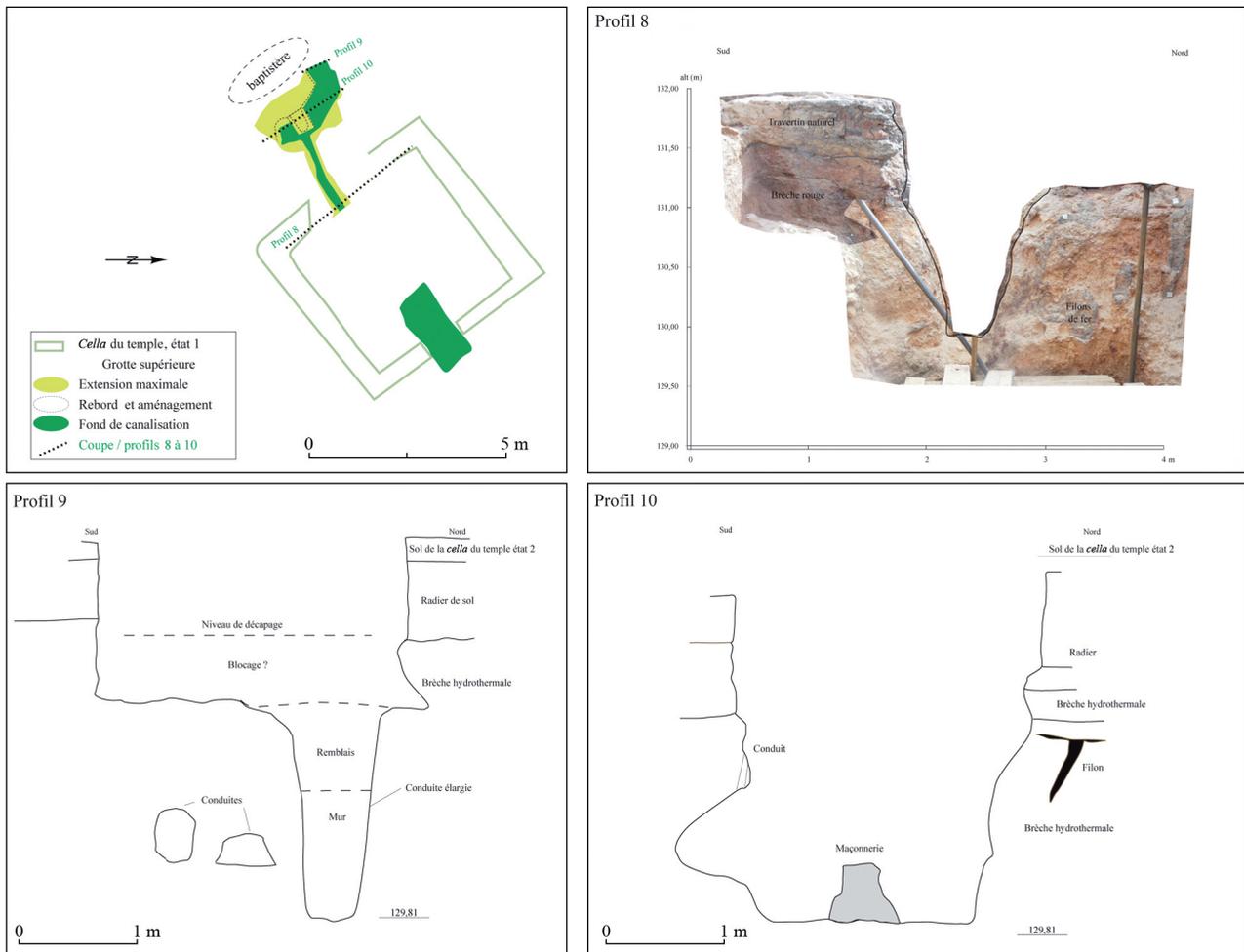


Fig. 2. Le captage supérieur de la source chaude (1<sup>er</sup> siècle p.C.) et profils topographiques associés (mission Jebel Oust, J. Curie).

La partie la plus en aval de ce premier captage présente une large échancrure en V (profil 8), creusée dans le substrat (brèche et travertin naturel déposé avant l'occupation humaine), à la même altitude que les petits canaux situés plus en amont. D'une largeur voisine de 30 cm à sa base, cette ouverture mesure 1,21 m à son sommet, au niveau de l'arasement du substrat géologique sur la paroi nord du premier puits. C'est à travers celle-ci que devait certainement s'écouler l'eau chaude lors de ce premier captage, pour être acheminée vers des structures situées en aval par le biais d'une canalisation, dont le tracé, la morphologie et la nature nous restent inconnus du fait des aménagements antiques postérieurs.

## Le captage inférieur de la seconde moitié du II<sup>e</sup> siècle : état 2

Le réaménagement du lieu de culte daté de la seconde moitié du II<sup>e</sup> siècle a consisté en un creusement d'un deuxième "puits" de captage de l'eau, plus profond et situé immédiatement à l'est du premier (fig. 3). Ce "puits", creusé au centre de la *cella* du temple de l'état 1, donne accès à un réseau de galeries qui se développe en amont vers l'ouest sur près de 10 m de long à une cote voisine de 124 m, soit près de 9 m sous le sol de la *cella* du temple de l'état 2.

### *En amont, un réseau digité*

Le réseau souterrain est digité en plusieurs galeries qui ont fait l'objet de relevés lors de l'exploration archéologique de la cavité hydrothermale. La réalisation de profils topographiques permet de rendre compte de sa morphologie particulière. Les deux plus longues galeries, la galerie sud (profils 3 et 4) et la galerie ouest (profil 5), atteignent 5 m de longueur avant de converger au niveau d'une salle plus large (profils 1 et 2) située immédiatement en amont du "puits d'accès". La morphologie de chacune des galeries est irrégulière, globalement ovale ou en dôme, et à plafond majoritairement plat. Le diamètre de ces conduites est très irrégulier, variant de près de 2 m dans les parties les plus en aval (profil 2) à un diamètre inférieur à 1 m dans la partie amont de la grotte (profils 3, 4 et 5).

Sur ses parois, ainsi qu'au plafond, croissent des croûtes de minéralisation, essentiellement ferrugineuses (oxydes de fer rougeâtres), et quelques stalactites carbonatées et ferrugineuses. Son colmatage partiel montre clairement des films de précipitations de sels intercalés au sein d'une masse d'argile rouge. Son plancher, situé à une cote moyenne de 124 m, correspond à un interbanc repéré dans la masse de brèche hydrothermale constituant le substrat géologique. Cette cote représente très probablement un des niveaux naturels de sortie de l'aquifère profond (thermal) du système géothermal régional, qui permet l'émergence de la source chaude de Jebel Oust à cet endroit.

Le plancher naturel est entaillé par un réseau convergeant vers la sortie (vers l'aval) de petits canaux clairement creusés au pic drainant les eaux souterraines qui sourdaient en plusieurs endroits. Les canaux présentent une section en U d'une largeur moyenne de 20 cm et d'une profondeur variable de 20 à 30 cm, avec une pente quasi-nulle. Ces structures romaines permettaient certainement le maintien d'un niveau d'eau relativement constant à une cote voisine de 124 m, et un écoulement continu des eaux lors des périodes d'étiage. Elles sont en tout point semblables aux canaux creusés dans la grotte d'où surgit la source actuelle et témoignent d'une certaine virtuosité des ingénieurs romains dans la gestion de la source et d'une connaissance de son fonctionnement, tout du moins de façon empirique par l'observation des variations hydrostatiques de l'aquifère thermal dans la cavité. De manière plus générale, l'ingénierie hydrogéologique perçue à Jebel Oust est à rapprocher de celle qui a pu être mise en évidence sur le sanctuaire gallo-romain de Villards d'Héria (Jura, France)<sup>12</sup>.

### *En aval, une salle élargie et le départ de l'aqueduc*

Le secteur aval de la grotte, à l'aplomb du "puits d'accès", a été fouillé afin de pouvoir observer les lambeaux du remplissage sédimentaire épargné par les travaux de M. Fendri. L'étude a permis la mise au jour du fond de la canalisation à cet endroit, situé à la cote 124,20 m, aménagée dans le substrat géologique (qui se présente ici sous la forme d'oxydes ferreux massifs et lités). Cette rigole en forme de U est dans la continuité des canaux observés dans le secteur amont. Là, le fond et les parois de

12. Nouvel 2011 ; Vurpillot & Nouvel 2015.

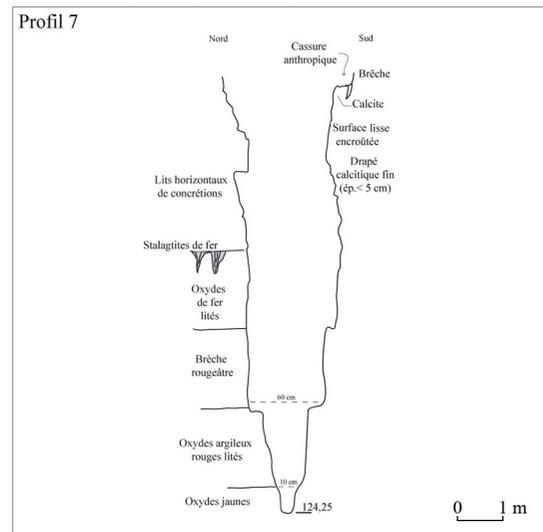
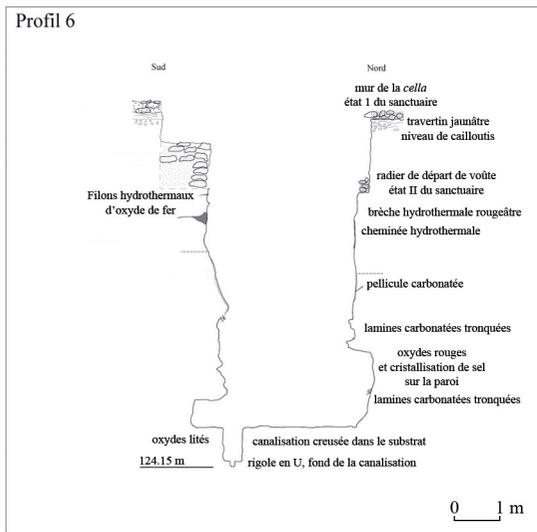
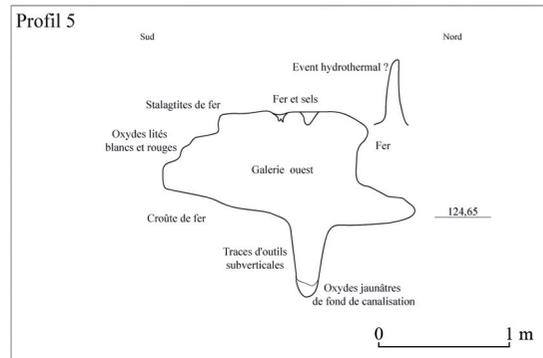
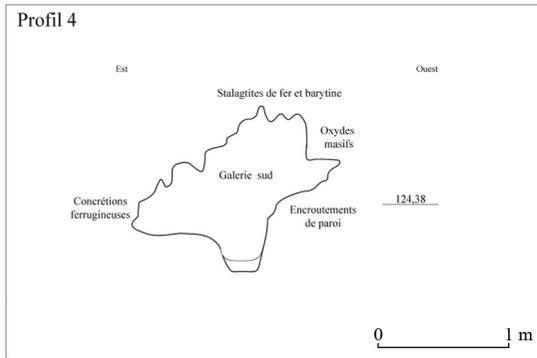
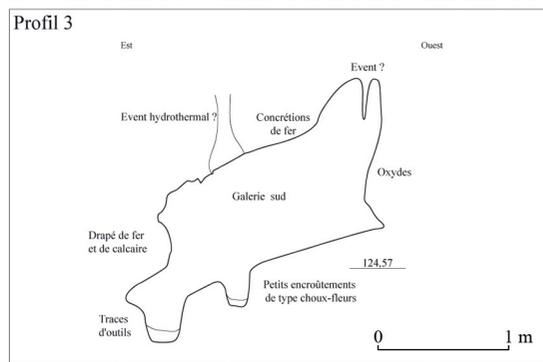
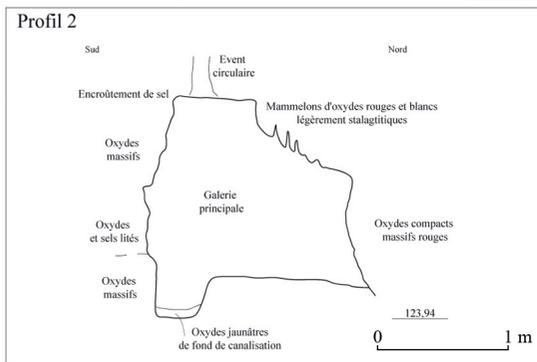
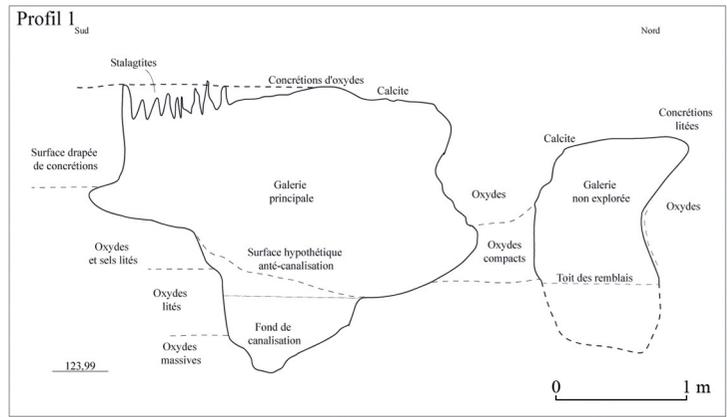
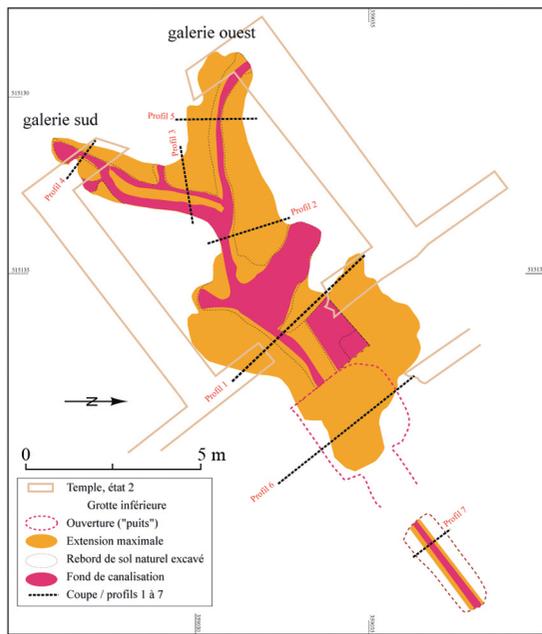


Fig. 3. Le captage inférieur de la source chaude (seconde moitié du II<sup>e</sup> siècle p.C.) et profils topographiques associés (mission Jebel Oust, J. Curie).

cette rigole en U sont revêtus, par une feuille de plomb de quelques millimètres d'épaisseur<sup>13</sup>. C'est de cette salle que part le profond aqueduc creusé dans la roche naturelle afin d'alimenter les structures situées en aval.

### *Le colmatage sédimentaire de l'aqueduc thermal*

En aval de la cavité hydrothermale (état 2 du captage antique), prend naissance le profond aqueduc qui alimente en eau chaude les thermes distants de 90 m et situés en contrebas. Malgré le colmatage sédimentaire postérieur à sa construction, l'entaille consécutive à son creusement dans le substrat géologique se distingue nettement à la base et sur la paroi sud.

Deux coupes verticales au sein du colmatage sédimentaire de cet aqueduc, l'une située au départ immédiat de la canalisation (C1) depuis la grotte, la seconde située environ 5 m en aval (C2), ont pu être relevées (fig. 4). La stratigraphie du remplissage présente des variations de la nature des dépôts ; quatre unités sont distinguées.

La base du remplissage est constituée d'un dépôt d'argiles et d'oxydes de fer mêlés, de couleur jaunâtre (1, goethite ?) et rougeâtre (2, hématite ?), sur quelques dizaines de centimètres de puissance, et qui correspond à un dépôt de fond de canalisation lors du fonctionnement de la source chaude.

Au-dessus de ces premiers dépôts, une série de précipitations ferrugineuses (3) s'est mise en place, sur une puissance voisine de 1 m. Les lamines, relativement grossières et sub-horizontales au centre de la canalisation, remontent légèrement sur les parois de la canalisation. Ces dépôts, exclusivement ferrugineux, sont semblables à ceux des grottes thermale antique et actuelle. Ils se mettent en place dans un environnement fermé et confiné, sans apport d'air extérieur dans le milieu de sédimentation, au sein duquel précipite alors exclusivement le fer présent sous forme dissoute dans l'eau.

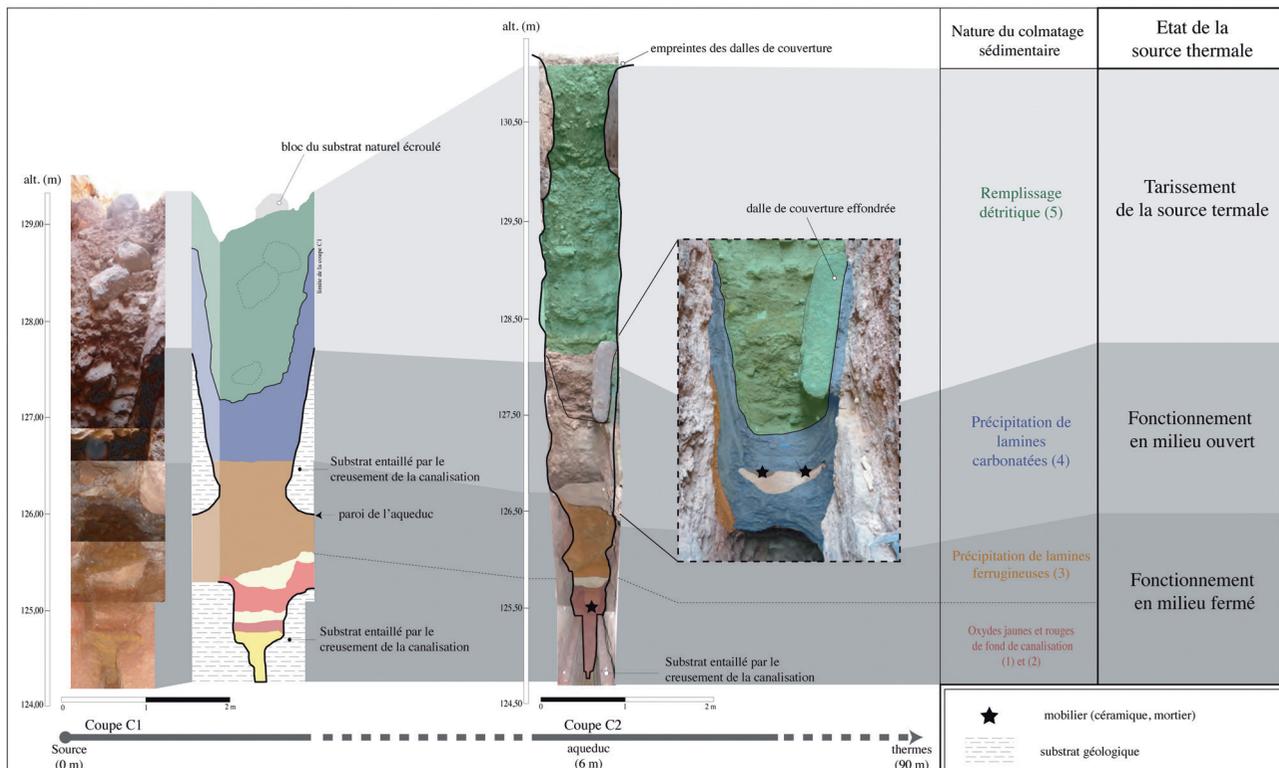


Fig. 4. Le colmatage sédimentaire de l'aqueduc thermal au niveau des coupes C1 et C2 (mission Jebel Oust, J. Curie).

13. La présence de plomb au sein d'un réseau hydraulique n'est pas surprenante. Son absence dans les canaux du secteur amont de la grotte pourrait s'expliquer par sa récupération lors de l'abandon du site.

Succédant à cette précipitation ferrugineuse, une épaisse couche de travertin carbonatée est repérée (4). On distingue des lamines horizontales dans la partie centrale de la canalisation qui atteint 60 cm de puissance dans la coupe C1, s'épaississant dans la coupe C2 pour atteindre alors 1 m d'épaisseur, et qui forme des épaulements relativement hauts sur ses parois, composés de lamines sub-verticales à verticales. Nous sommes ici en présence d'un véritable dépôt de travertins carbonatés, bénéficiant d'un dégazage (perte en CO<sub>2</sub>) suffisant et nécessaire pour leur précipitation au sein de l'aqueduc, comme c'est le cas aujourd'hui dans la galerie donnant accès au captage actuel.

Enfin, le dépôt scellant le colmatage de l'aqueduc présente un faciès exclusivement détritique (5), constitué de sédiments sablo-graveleux et de quelques blocs dont certains sont clairement identifiés comme des dalles de couverture de l'aqueduc romain, effondrées dans la canalisation. Ces dépôts correspondent à une accumulation sédimentaire, de 2 m de puissance dans la coupe C1 et de 2,50 m dans la coupe C2, qui est venue combler la canalisation alors que la source chaude était tarie<sup>14</sup>.

La succession stratigraphique visible sur les coupes C1 et C2 permet de reconnaître trois grands épisodes de sédimentation, correspondant chacun à trois milieux de dépôt différents. Un premier épisode sédimentaire où se dépose le fer présent sous forme dissoute dans l'eau de la source traduit un environnement fermé et confiné. Un second, caractérisé par la précipitation d'un travertin carbonaté, traduit un milieu de dépôt ouvert permettant un certain dégazage de l'eau. Enfin, un troisième et ultime, où s'accumulent des matériaux détritiques issus du versant du Jebel Oust, reflète un tarissement de la source chaude.

## Évolution chronologique de la zone cultuelle

La relation entre le sanctuaire et la source chaude associée définissant ce que nous appelons le complexe cultuel de Jebel Oust présente une histoire complexe qu'illustre une reconstitution géoarchéologique des deux niveaux de captage antiques définie au sein d'une synthèse chronologique globale (fig. 5). Aucune structure construite antérieure à l'époque romaine n'a été identifiée autour de la source. On peut donc considérer que celle-ci sortait naturellement sur le versant, dans une vasque d'eau chaude. Un premier sanctuaire romain, construit autour de l'évent de la source se situe à un niveau topographique relativement haut (cote 129,80 m). Il ne reste que peu de vestiges des structures annexes, en particulier des structures hydrauliques, correspondant à ce premier complexe cultuel. Un petit aqueduc qui acheminait l'eau chaude vers des structures potentielles situées en aval, a entièrement été effacé par les aménagements postérieurs. Il ne subsiste que le petit captage visible en arrière, i.e. à l'ouest, de la *cella* du premier temple (état 1 du captage).

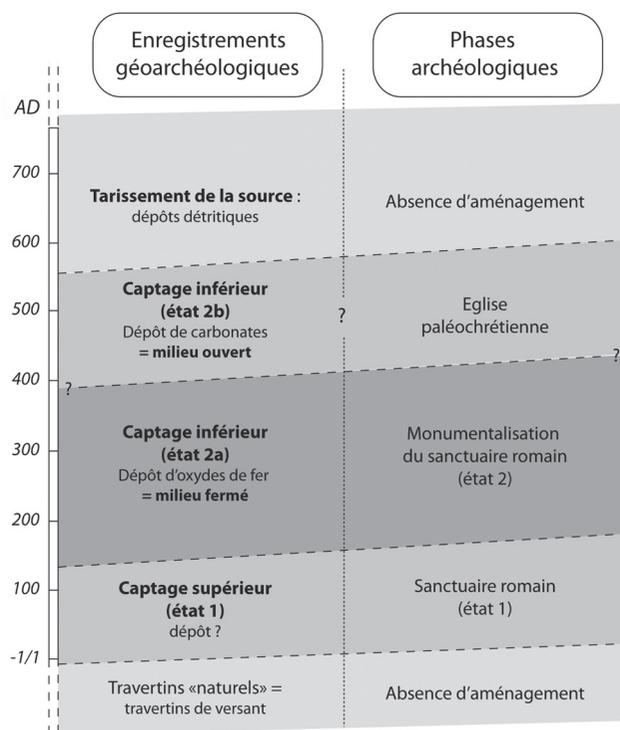


Fig. 5. Proposition de synthèse chronologique de l'exploitation de la source antique de Jebel Oust (mission Jebel Oust).

14. Le bloc de brèche hydrothermale (substrat géologique) repéré en haut de la séquence de la coupe C1 correspond à un élément rocheux effondré depuis la paroi du "puits" d'accès postérieurement au colmatage détritique de la conduite.

La monumentalisation du sanctuaire, au cours de la seconde moitié du II<sup>e</sup> siècle, s'accompagne de l'aménagement d'un large et profond "puits" donnant accès à un vaste espace hydrothermal et par le creusement d'un profond aqueduc servant à alimenter en eau chaude l'édifice thermal localisé en contrebas. Le niveau topographique de l'évent (cote 124,20 m) est abaissé de plus de 5 m, et l'eau est captée au sein d'une grotte naturelle profonde. Celle-ci fut l'objet de creusement de petits canaux qui convergent en aval vers le départ de l'aqueduc pour pallier les variations de niveau de l'eau expliquées par celles des précipitations dans la région. Ce second état du sanctuaire romain présente des aménagements architecturaux construits autour du "puits" d'accès à l'ensemble profond, second état du captage de la source chaude. La *cella* du temple est alors reculée vers l'ouest, en arrière du "puits", par rapport à la *cella* du temple 1. Le "puits" de captage est recouvert par l'escalier et le *pronaos* du temple, soutenus par une voûte qui surplombe la cavité. Les vestiges de départ de cette voûte demeurent visibles dans la partie supérieure du "puits", sur les parois nord et sud (fig. 3, profil 6). C'est à ce second état du sanctuaire romain que doit être associée la première phase de dépôt repérée à la base de la séquence de colmatage de l'aqueduc, et caractérisé par des sédiments exclusivement ferrugineux, qui reflètent un environnement de dépôt fermé avec peu ou pas d'échange avec l'air extérieur (état 2a du captage).

La transformation du sanctuaire romain en lieu de culte paléochrétien engendre des modifications tant au niveau des aménagements architecturaux qu'au niveau des conditions de captage de la source chaude. La *cella* du temple païen est transformée en baptistère, et une cuve cruciforme est installée en son sein, tandis qu'une église est construite sur le côté nord de la cour, en arrière du portique. L'ouverture à l'air extérieur de l'évent, provoquant une modification radicale de l'environnement de dépôt (état 2b du captage) comme le montre la mise en place de véritable travertins carbonatés au sein du captage et dans l'aqueduc et qui s'explique certainement par l'effondrement des structures surplombantes, serait-elle la principale contrainte à l'installation de l'église non pas à l'intérieur de la cour du sanctuaire romain mais à proximité ? C'est une hypothèse que nous ne pouvons, dans l'état actuel de nos recherches, ni appuyer ni écarter.

Enfin, les dépôts de nature détritique qui scellent la séquence de colmatage de l'aqueduc témoignent du tarissement de la source chaude, sans doute dès la fin de l'Antiquité, et qui entraîne logiquement l'abandon des pratiques balnéaires sur le site.

## L'ÉDIFICE THERMAL : UNE EAU GÉRÉE

La caractérisation à l'aide d'analyses pétrographiques, minéralogiques et géochimiques des travertins préservés dans les thermes a permis la mise en évidence de plusieurs faciès sédimentaires<sup>15</sup>. Ces faciès de travertin traduisent des environnements de dépôt différents, qui dessinent alors un cheminement particulier et permettent d'apporter des éléments nouveaux quant au fonctionnement de l'édifice thermal et à sa gestion hydraulique. Pour la localisation des salles dans lesquelles les différents faciès (A, B et C) ont été repérés, on se reportera au plan de la phase III des thermes (fig. 6), qui correspond à sa phase d'expansion maximale.

### Les travertins de faciès A des piscines couvertes (salles T<sub>1</sub> et T<sub>9</sub>)

Le premier type de faciès identifié au sein des grandes salles thermales est un faciès présentant à l'échelle macroscopique une succession de fines lamines inframillimétriques et régulières (fig. 7). Il est repéré dans les travertins déposés et préservés au sein des pièces T<sub>1</sub>, rectangulaire, et T<sub>9</sub>, circulaire, aussi bien que dans le bassin central de chacune de ces deux salles que sur le sol de l'espace de circulation périphérique. Ce type de travertin moule ainsi les marches d'accès à leurs bassins, les bases des colonnes de la salle T<sub>9</sub> par un dépôt d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur, et forme également un bourrelet d'une dizaine de centimètres d'épaisseur à la base de leurs murs.

Il est caractérisé par une succession visible à l'œil nu (échelle macroscopique, fig. 7a) de lamines alternativement claires et sombres. L'observation en lame mince permet de retrouver à l'échelle microscopique cette succession de lamines alternativement claires et sombres (fig. 7b) qui se répète sous la forme de lamines à précipitation microsparitique à sparitique

15. Broise & Curie 2014 ; Curie & Petit 2014 ; Curie & Petit à paraître.

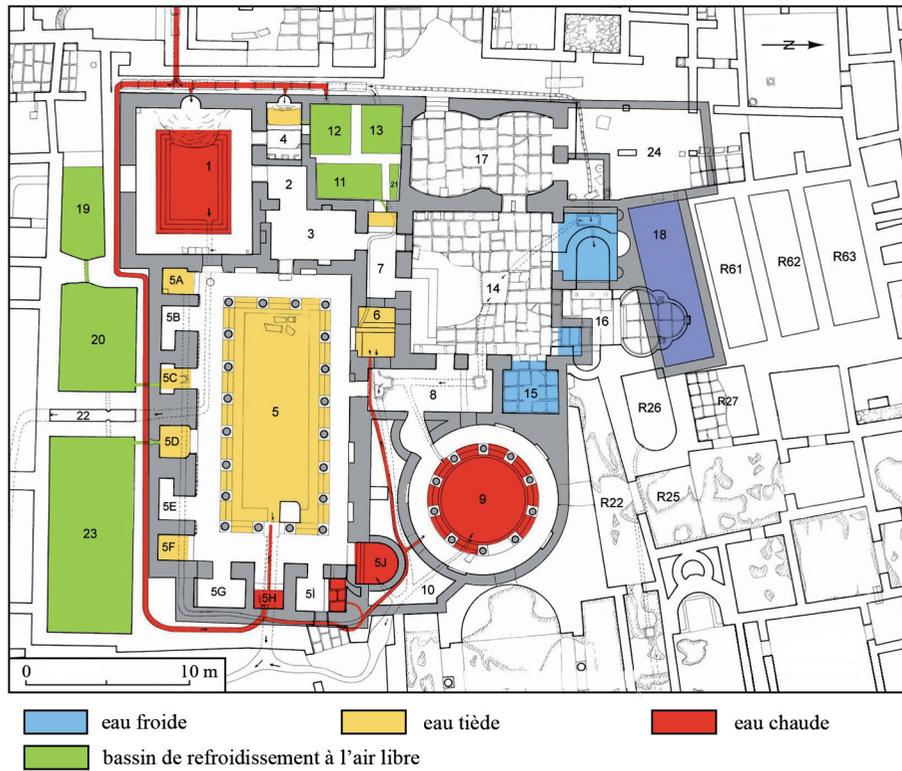


Fig. 6. Plan des thermes dans la phase III au début du IV<sup>e</sup> siècle (mission Jebel Oust).

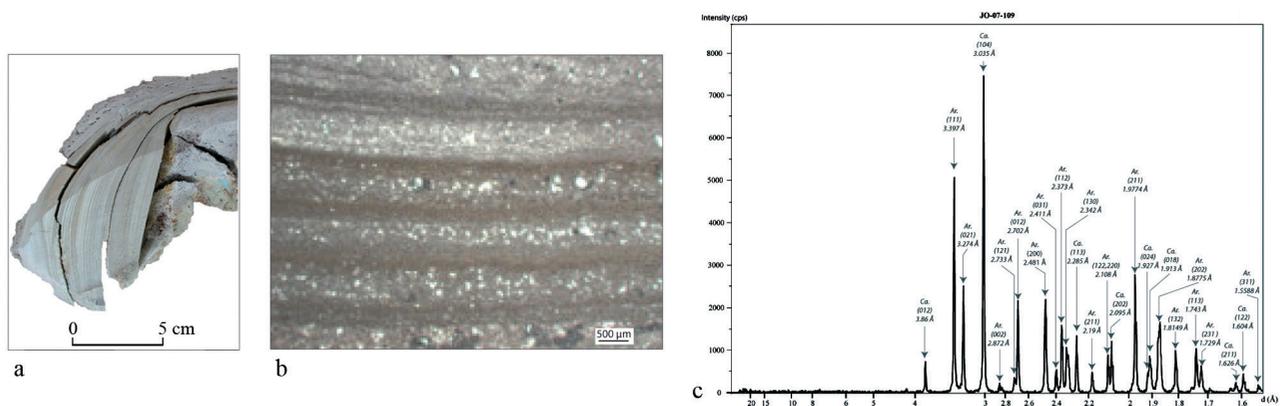


Fig. 7. Le faciès A des travertins des thermes de Jebel Oust (mission Jebel Oust, J. Curie).  
 a. Observation à l'échelle macroscopique ;  
 b. Lecture microscopique ;  
 c. Diffractogramme de résultat de l'analyse DRX (Ca. = calcite ; Ar. = aragonite).

(lamines claires) et de lamines à précipitation micritique (lamines sombres), et l'analyse par diffraction des rayons X (DRX) démontre la présence des deux formes principales de carbonate de calcium, la calcite et l'aragonite (fig. 7c).

L'ensemble des caractéristiques pétrographiques et minéralogiques du faciès A répond à une précipitation homogène et régulière du travertin responsable de la succession du dépôt de lamines. La lamination est alternée entre des lamines micritiques et des lamines microspartiques à sparitiques, ce qui montre une certaine variation dans la précipitation carbonatée. L'absence de micro-organismes biologiques (bactéries, végétaux) dans les dépôts, susceptibles de participer et d'influencer la précipitation du carbonate, permet de reconnaître une précipitation exclusivement physico-chimique du travertin. Le doublet de lamines alternativement sombres (micritiques) et claires (sparitiques) serait le reflet des variations hydrologiques annuelles de la source chaude avec un fort débit durant la saison humide et une saison sèche où le débit est plus faible. Le faciès A définit un travertin qui se développe dans des piscines couvertes, en l'occurrence par des voûtes, caractérisées par une alimentation régulière en eau chaude de la source thermale : c'est le cas de la salle rectangulaire T1 et de la rotonde T9.

### Les travertins de faciès B d'une piscine à ciel ouvert (salle T5)



**Fig. 8. Le faciès B des travertins des thermes de Jebel Oust (mission Jebel Oust, J. Curie).**  
**a. Observation à l'échelle macroscopique ;**  
**b. Lecture microscopique.**

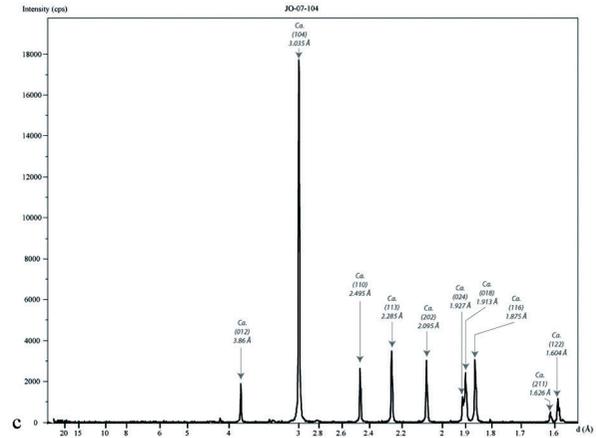
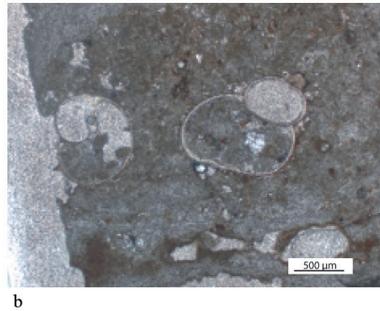
Le faciès B, identifié au sein de l'édifice thermal antique, est un faciès laminé blanchâtre qui présente à l'oeil nu une succession de lamines alternativement denses et poreuses, de taille millimétrique. Il est repéré dans le travertin de la salle rectangulaire T5 (fig. 8a), drapant d'un dépôt d'une vingtaine de centimètres de puissance les marches d'accès au bassin central, le fond de celui-ci, ainsi que les bases de colonnes de la pièce et le piédestal situé sur la bordure orientale du bassin. Ce travertin est également identifié sur le sol de l'espace de circulation périphérique et forme un bourrelet d'une dizaine de centimètres d'épaisseur à la base des murs de la salle.

L'analyse microscopique révèle la présence de structures sub-circulaires ou sous forme de fines baguettes (fig. 8b), correspondant à des micro-organismes biologiques calcitisés (manchons d'algues, cyanobactéries). Ces organismes induisent la précipitation du carbonate par leur activité biologique qui nécessite une certaine quantité de lumière naturelle, notamment pour les organismes algaires. Une double influence, biologique et physique, est donc à l'origine de la précipitation du carbonate de calcium, qui s'effectue alors dans la piscine à ciel ouvert caractérisée par une alimentation régulière en eau chaude de la source et qui reste exposée à la lumière.

### Les travertins de faciès C des réservoirs (salles T11, T12, T13 et T19, T20, T23)

Le faciès C identifié dans les travertins préservés dans l'édifice thermal ne présente pas de caractère laminé particulier (fig. 9), contrairement aux faciès précédents A et B. Il est repéré dans les grands réservoirs situés le long de la façade sud des thermes (T19, T20 et T23) et dans ceux, plus petits, construits du côté ouest (T11, T12 et T13). Au sein de ces salles, le travertin s'est développé sur les parois verticales d'une vingtaine de centimètres de puissance, et recouvre leur sol d'un dépôt quelques centimètres. À l'échelle macroscopique (fig. 9a), il montre une structure spongieuse très poreuse, sans lamination particulièrement marquée ou qui apparaît extrêmement diffuse. L'observation en lame mince a révélé l'existence d'organismes biologiques, tels les nombreux gastéropodes dont la coquille a été calcitisée (fig. 9b), ainsi que des restes de fragments de végétaux sous la forme de structures sub-circulaires et de très fines baguettes. L'analyse DRX démontre l'existence d'une seule forme principale de carbonate de calcium, la calcite (fig. 9c).

Le faciès C possède une structure spongieuse verticale développée sur les parois des réservoirs due à la colonisation par des organismes microbiens des surfaces verticales. La lamination diffuse qui le caractérise s'explique par la présence de films microbiens participant à la précipitation calcitique, à laquelle participent également les organismes végétaux et cyanobactériens. Le fond des bassins est recouvert d'un travertin très finement laminé engendré par le dépôt successif de films

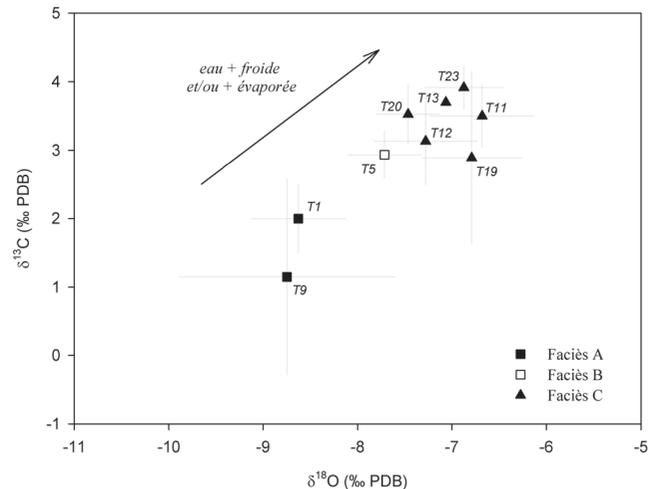


**Fig. 9. Le faciès C des travertins des thermes de Jebel Oust (mission Jebel Oust, J. Curie).**  
 a. Observation à l'échelle macroscopique ; b. Lecture microscopique ; c. Diffractogramme de résultat de l'analyse DRX (Ca. = calcite).

microbiens développés à la surface de l'eau. L'ensemble des caractéristiques pétrographiques et minéralogiques du faciès C traduit une précipitation du travertin sous une influence majoritairement biologique, générant une croûte spongieuse. Ce faciès définit un travertin qui se développe dans des bassins où l'eau chaude de la source stagnait à ciel ouvert et qui servaient de réservoirs de refroidissement.

### Une différenciation des eaux par la signature géochimique des dépôts

L'analyse de la composition en isotopes stables de l'oxygène ( $\delta^{18}\text{O}$ ) et du carbone ( $\delta^{13}\text{C}$ ) nous permet d'obtenir une signature géochimique des dépôts, et indirectement des eaux responsables de leur précipitation (fig. 10). Ces analyses géochimiques complètent la caractérisation pétrographique des trois faciès de travertins définis dans ces thermes. Reportées dans un graphique  $\delta^{18}\text{O}/\delta^{13}\text{C}$  (‰ PDB), les valeurs des faciès A, B et C dessinent une différenciation des eaux alimentant les différents secteurs thermaux. Avec des valeurs moyennes comprises entre -8,75 et -8,63 ‰ PDB et pour le  $\delta^{18}\text{O}$  et entre 1,44 et 2,00 ‰ PDB pour le  $\delta^{13}\text{C}$ , les travertins du faciès A des salles T1 et T9 sont dans une gamme classique d'eau chaude issue de la source chaude, caractérisant ainsi pleinement les salles chaudes du circuit thermal. Les travertins de faciès B de la salle T5 présentent des valeurs isotopiques plus élevées, atteignant -7,71 ‰ en  $\delta^{18}\text{O}$  et 2,93 ‰ en  $\delta^{13}\text{C}$ , reflétant des eaux chaudes ayant subi un phénomène d'évaporation (perte en  $\text{CO}_2$ ) et/ou de refroidissement, caractéristique d'une piscine tiède à ciel ouvert. Ce phénomène est davantage identifié pour les travertins de faciès C, issus des salles situées au centre de l'édifice (T11, T12 et T13) et au niveau de la façade sud (T19, T20 et T23), avec une gamme de valeurs comprise entre -7,46 et -6,6 ‰ pour le  $\delta^{18}\text{O}$  et entre 2,89 et 3,70 ‰ pour le  $\delta^{13}\text{C}$ . Ces valeurs plus élevées de  $\delta^{18}\text{O}$  et de  $\delta^{13}\text{C}$  reflètent des eaux stagnantes, refroidissant à l'air libre, dans des réservoirs de refroidissement de l'eau chaude de la source.



**Fig. 10. Diagramme  $\delta^{18}\text{O}/\delta^{13}\text{C}$  (‰ PDB) des faciès de travertin des thermes de Jebel Oust (mission Jebel Oust, J. Curie).**

## UNE EAU CAPTÉE POUR UN CULTE DE SOURCE, UNE EAU GÉRÉE POUR DES PRATIQUES BALNÉAIRES À L'ÉPOQUE ROMAINE

La mise en œuvre d'une approche géoarchéologique sur le site de Jebel Oust répond à la volonté de confronter des arguments issus des Géosciences et des Sciences Humaines pour comprendre et caractériser l'exploitation d'une source chaude à l'époque antique. Fruit d'un dialogue permanent à l'interface des différentes disciplines, cette étude a permis d'apporter des arguments inédits à l'exploitation d'une source chaude et des données nouvelles sur la gestion de l'eau par les Romains, en intégrant l'analyse des dépôts carbonatés précipités par la source et particulièrement bien préservés dans les structures archéologiques.

Au niveau de l'aire culturelle, nous avons pu mettre en évidence le déroulement d'un véritable culte de source à l'époque romaine, avec une eau chaude captée et entièrement sacralisée, rendue inaccessible, avant l'ouverture du milieu (et du captage) aux époques ultérieures, puis le tarissement de la source dès la fin de l'Antiquité tardive. Dans la partie thermale, l'analyse architecturale et la lecture des travertins ont mis en évidence une gestion de l'eau chaude nettement plus complexe, avec la caractérisation d'un circuit associant des piscines chaudes, une piscine tiède et des bassins de refroidissement. Cette dualité entre une eau "simplement" captée en amont et une eau entièrement gérée en aval révèle une vision sociétale de l'eau, entre un bien sacré et une ressource qui devient profane lors de son cheminement vers l'aval, moment à partir duquel l'Homme peut l'utiliser.

À la lumière de cette étude interdisciplinaire menée sur le site de Jebel Oust, il nous paraît indispensable d'intégrer, lorsque cela est possible, les dépôts carbonatés aux recherches menées autour de l'eau en archéologie, ceux-ci offrant un énorme potentiel en tant que mémoire de l'exploitation et de la gestion d'une eau par les sociétés humaines.

## Références bibliographiques

### Abréviations

CMGR = *Colloque international de la mosaïque gréco-romaine*.

CMGR 1 (1965) = Picard, G.-C. et H. Stern, dir. (1965), *La mosaïque gréco-romaine 1, Actes du colloque international pour l'étude de la mosaïque antique, Paris, 29 août-3 septembre 1963*, CNRS Éditions, Paris.

### Ouvrages et articles

Baratte F., V. Brouquier-Reddé et E. Rocca, éd. (2018) : *Du culte aux sanctuaires, l'architecture religieuse dans l'Afrique romaine et byzantine*, Orient & Méditerranée 25, Paris.

Ben Abed, A. et J. Scheid (2003) : "Sanctuaire des eaux, sanctuaire de sources, une catégorie ambiguë : l'exemple de Jebel Oust (Tunisie)", in : Cazanove et Scheid, éd. 2003, 7-14.

— (2005) : "Nouvelles recherches archéologiques à Jebel Oust (Tunisie)", *CRAI*, 321-349.

Ben Abed-Ben Khader, A., J. Scheid, H. Broise et C. Balmelle (2011) : "Le sanctuaire de source de Jebel Oust (Tunisie)", *Les Nouvelles de l'archéologie*, 124, 10-24.

Ben Abed-Ben Khader, A., H. Broise et J. Scheid (2017) : "Le sanctuaire de Jebel Oust", in : Baratte *et al.*, éd. 2017, 187-194.

Bobée, C., S. Huon, J.-L. Guendon, J. Salomon, C. Gébara, J.-M. Michel et M. Regert (2010) : "High-resolution (PIXE) Analyses of Carbonate Deposits in a Roman Aqueduct (Fréjus, SE France): Palaeohydrological Variability and Water Resources Management in Southern Gaul during the Roman Period", *Archaeometry*, 53, 241-260.

Boussac, M.-F., S. Denoix et T. Fournet, éd. (2014) : *25<sup>e</sup> siècles de bain collectif en Orient : Proche-Orient, Egypte et péninsule Arabique : balaneia, thermae, hammāmāt, Balnéorient 3, actes du colloque international, Damas, Syrie, 2-6 novembre 2009, Le Caire, Études urbaine 9, IFAPO 282 ; IFAO 1087, Damas-Le Caire.*

Broise, H. et J. Curie (2014) : "L'étude de travertins carbonatés du sanctuaire de Jebel Oust (Tunisie) : une contribution à

- l'analyse diachronique, fonctionnelle et architecturale des thermes", in : Boussac *et al.*, éd. 2014, 3, 573-583.
- Carlut, J., G. Chazot, H. Dessales et É. Letellier (2009) : "Trace Element Variations in an Archaeological Carbonate Deposit from the Antique City of Ostia: Environmental and Archaeological Implications", *CR Geoscience* 341, Geochemistry (Isotopic Geochemistry), 10-20.
- Carton, L. (1907) : "Procès-verbal du Comité d'Études du 28 juin 1907 [Découvertes dans le Djebel Oust]", *Bulletin de la Société Archéologique de Sousse*, 5<sup>e</sup> année, 9, 22-23, fig. 1-2.
- Cazanove, O. de et J. Scheid, éd. (2003) : *Sanctuaires et sources, Les sources documentaires et leurs limites dans la description de lieux de culte*, Centre Jean Bérard 22, Naples.
- Curie, J. (2013) : *Les travertins anthropiques, entre histoire, archéologie et environnement : étude géoarchéologique du site antique de Jebel Oust, Tunisie*, thèse de doctorat, université de Bourgogne.
- Curie, J. et C. Petit (2014) : "Geoarchaeology of "anthropogenic" travertine : a story of water and life etched in stone", *European Geologist*, 38, 21-24.
- Curie, J. et C. Petit, éd. (à paraître) : *Les dépôts carbonatés en contexte archéologique, une mémoire de la gestion de l'eau*, Arche@. [[https://hal.archives-ouvertes.fr/ARSCAN\\_ARCHEO\\_ENV](https://hal.archives-ouvertes.fr/ARSCAN_ARCHEO_ENV)].
- Curie, J., C. Petit, A. Ben Abed et J. Scheid (2015) : "Étude géoarchéologique d'un lieu de culte romain implanté sur une source thermale : le sanctuaire de Jebel Oust, Tunisie", in : Dechezleprêtre *et al.*, éd. 2015, 275-289.
- Dechezleprêtre, T., K. Gruel et M. Joly, éd. (2015) : *Agglomérations et sanctuaires. Réflexions à partir de l'exemple de Grand, Actes du colloque de Grand 20-23 octobre 2011*, Grand-Archéologie et territoire 2, Conseil départemental des Vosges, Épinal.
- Fendri, M. (1965) : "Évolution chronologique et stylistique d'un ensemble de mosaïques dans une station thermale à Djebel Oust (Tunisie)", in : *CMGR* 1, 1965, 1, 157-173, fig. 1-19.
- Guendon, J.-L. et P. Leveau (2005) : "Dépôts carbonatés et fonctionnement des aqueducs romains : le bassin amont du vallon des Arcs sur l'aqueduc d'Arles (Bouches-du-Rhône)", *Gallia*, 62, 87-96.
- Guendon, J.-L. et J. Vaudour (2000) : "Concrétions de l'aqueduc de Nîmes, Observations et hypothèses", *Méditerranée*, 1-2, 140-151.
- Nouvel, P. (2011) : "Les sanctuaires des Villards-d'Héria (Jura). Apports des travaux anciens et récents", in : Reddé *et al.*, éd. 2011, 2, 619-628.
- Pentecost, A. (2005) : *Travertine*, Dordrecht.
- Reddé, M., P. Barral, F. Favory, J.-P. Guillaumet, M. Joly, J.-Y. Marc, P. Nouvel, L. Nuninger et C. Petit, éd. (2011) : *Aspects de la romanisation dans l'Est de la Gaule*, Bibracte 21, Bibracte.
- Sürmelihindi, G., C. W. Passchier, C. Spötl, P. Kessener, M. Bestmann, D. E. Jacob et O. N. Baykan (2013) : "Laminated Carbonate Deposits in Roman Aqueducts : Origin, Processes and Implications", *Sedimentology*, 60/4, 961-982.
- Vurpillot D. et P. Nouvel (2015) : "La gestion de l'eau sur les sanctuaires des Villards-d'Héria", in : Dechezleprêtre *et al.*, éd. 2015, 239-252.

---

\* Julien Curie, Inrap, ArScAn UMR 7041  
 Christophe Petit, ArScAn, UMR 7041, Université Panthéon-Sorbonne - CNRS  
 Aïcha Ben Abed, Institut National du Patrimoine, Tunis  
 Henri Broise, Institut de Recherche sur l'Architecture Antique, USR 3155, CNRS - Aix-Marseille université  
 John Scheid, Collège de France