

# L'approvisionnement en eau de *Zama*. Étude archéologique et historique

*Ahmed Ferjaoui, Jean-Marie Paillet, Christian Darles,  
Éric Philippe, Jean-Marc Fabre, Mohamed Ben Nejma, Monia Adili\**

Une étude sur le thème de l'adduction d'eau s'imposait à *Zama* et dans ses environs pour deux raisons<sup>1</sup>. D'abord parce que la "grande histoire", celle de la bataille de 202 a.C., nous montre Hannibal et Scipion en quête de la meilleure position pour l'alimentation de leurs troupes en eau (cf. Polybe, 15.5-6 ; Tite-Live, 30.29.9-10 ; Appien, *Libyca*, 40). En second lieu, parce que l'exploration de terrain, reprenant celle réalisée dans les années 1900, n'a cessé de confirmer l'importance de la ville antique et de ses "monuments des eaux". Grâce à une coopération, jusqu'à ce jour exemplaire, entre archéologues tunisiens de l'Institut National du Patrimoine et français de Toulouse (université, CNRS, École Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse, Institut Universitaire de France), conforme aux accords-cadres de 2002 associant l'INP et les organismes français, une réelle capacité collective s'est développée, permettant de faire face à un travail qui s'est révélé aussi considérable que passionnant<sup>2</sup>. Celui-ci s'inscrit dans une tendance récente de la recherche en terre d'Afrique, qui a vu, un siècle après les explorations pionnières de P. Gauckler<sup>3</sup>, et dans le même temps que de brèves synthèses<sup>4</sup>, s'esquisser tout un courant de nouvelles recherches de terrain : celles conduites par N. Ferchiou au sanctuaire des eaux de Zaghouan<sup>5</sup>, par J.-L. Paillet sur l'aqueduc d'Utique<sup>6</sup>, par H. Ben Hassen et L. Maurin à Oudhna<sup>7</sup>, celles de M. De Vos<sup>8</sup> et d'étudiants<sup>9</sup> dirigés par M. Khanoussi et J. France à Dougga ou à *Vchi Maius*<sup>10</sup>, la synthèse préliminaire sur le Nord tunisien de A. Chouchane<sup>11</sup>, les restaurations récentes et en cours de l'aqueduc de Carthage... Une mention toute particulière doit être apportée à l'important article de H. Baklouti sur l'eau à Dougga<sup>12</sup>.

On ne saurait enfin oublier que la recherche sur l'usage de l'eau dans l'Antiquité rejoint, pour cette région, des préoccupations plus contemporaines<sup>13</sup>. Lors d'une conférence (avril 2003) exposant nos travaux au gouvernorat de Siliana, devant un auditoire d'ingénieurs et spécialistes en hydraulique, nous avons mesuré l'intérêt rencontré dans la région par cette jonction de l'antique et de l'actuel.

Comment les habitants d'une cité aussi importante que *Zama* ont-ils réussi à répondre à tant de besoins malgré une situation naturelle peu favorable sur l'extrême avancée de la chaîne du jebel Massouge (fig. 1) ? Quelle maîtrise du territoire,

1. Ce travail n'aurait pu être réalisé sans le concours de toute la population bienveillante de Jama, que nous remercions vivement.
2. Avec la collaboration de Alain Vernhet (TRACES), Jean Carvaillo (EAT), Julien Mahoudeau (UTAH), Mounir Torchani (INP), Chokri Touihri (INP), étudiants et doctorants, ainsi que de Redha Selmi, photographe de l'INP.
3. Gauckler, dir. 1897-1912.
4. Par exemple Slim *et al.* 2003, 236-244.
5. Voir dans ce volume la contribution de N. Ferchiou supra 287-309.
6. Communication personnelle.
7. Barraud *et al.* 1998, 189-204 ; Chouchane *et al.* 2004.
8. De Vos Raaijmakers *et al.*, dir. 2013.
9. Voir dans ce volume la contribution de S. Garat, infra 369-383.
10. Cf. Khanoussi & Mastino, dir. 1997, 31-34.
11. Chouchane 1997.
12. Baklouti 2013.
13. Cf. par exemple Lacoste & Lacoste-Dujardin, éd., 1991, *passim*.

de ses ressources, de son relief et de son climat une telle entreprise supposait-elle de leur part ? Quelles relations établir entre l'évolution du système d'adduction d'eau et l'histoire générale de la ville et de son territoire ?

C'est en nous posant ces questions que nous avons été amenés à étudier dans son ensemble le problème de l'alimentation en eau de la ville. Avant le commencement de notre travail, on savait seulement que le site actuel de Jama abritait, dans sa partie haute, trois très grandes citernes allongées et parallèles. Celles-ci étaient alimentées, semblait-il, par deux aqueducs, l'un provenant d'aïn Slimane, l'autre d'aïn Djebour. Les traces matérielles de ce réseau ont frappé depuis longtemps l'imagination des habitants de Jama, puisqu'en se fondant sur ces traces, ils ont pu imaginer une légende expliquant le nom de la ville<sup>14</sup>. Pour ces habitants, le nom de Ja-ma est constitué de deux éléments : *ja (geb)*, apporter, -*ma*, l'eau. Qui a apporté l'eau à *Zama* ? Deux prétendants, qui voulaient épouser la plus belle fille du village. Elle a promis sa main à celui qui arriverait le premier. Le premier arrivé vient d'aïn Djebour, mais il meurt d'épuisement (ou par suite d'une trahison...), tellement la route était longue et difficile : "*Djemet geb el mê oue met*" [il apporte l'eau et sa propre mort]... L'autre, venu d'aïn Slimane, arrive second. Il a perdu la course, mais c'est lui qui épouse la belle fille de Jama.

La ville est située dans un environnement karstique de collines calcaires avec de nombreuses cultures dans les dépressions et dans la plaine de Siliiana. Le massif calcaire est riche en sources, parfois de type vauclusien<sup>15</sup>, certaines captées sous forme de puits. Il existe également une source thermale. La pluviométrie annuelle oscille entre 200 et 500 mm, avec une moyenne pour Jama de 400 mm. Un système de captage et d'approvisionnement de certaines zones par aqueduc a été installé en 1903. Actuellement, les sources sont contrôlées et plusieurs barrages collinaires ont été édifiés<sup>16</sup>. Six cents à sept cents kilomètres de conduites ont été réalisés dans la région, accompagnés de stations de pompage et de traitement des eaux<sup>17</sup>. La source de Jama (*intra muros*) est pérenne ; certainement très ancienne dans son utilisation, elle prend actuellement la forme d'un puits utilisé quotidiennement par les habitants du village.

À partir de l'époque de *Zama Regia*, capitale royale des Numides, et surtout de la ville romaine, les systèmes d'alimentation en eau d'une agglomération de plus en plus importante et peuplée se sont fondés sur les constats et les expériences des époques précédentes. En un mot, on est alors allé chercher l'eau là où l'on savait la trouver en abondance, pour alimenter les besoins de la cité. Nos recherches de ces dernières années permettent de présenter ces itinéraires de l'eau, envisagés dans la longue durée, une vision totalement renouvelée de part et d'autre du *jebel Massouge*.

## CARTOGRAPHIE COMMENTÉE DES ITINÉRAIRES

L'importance des découvertes faites depuis plus de trois ans se mesure au simple examen comparé de l'état des connaissances avant le début de nos recherches et de l'idée que nous pouvons nous faire aujourd'hui de cette même question (cf. fig. 1 et 2). Il y a encore quelques années n'étaient matériellement connus à *Zama* que les grandes citernes proches de la maison de fouille, dans la ville haute, le superbe pont-aqueduc sur l'oued Krafès ainsi que, par bribes, quelques tronçons visibles de deux aqueducs ; on situait approximativement le point de départ respectif de ces derniers, grâce aux légendes locales dont il vient d'être question<sup>18</sup>.

Au terme de nos campagnes de prospections et de sondages, nous en savons incomparablement plus (fig. 3). Ce ne sont pas moins de cinq, voire six aqueducs qui ont été clairement repérés sur le terrain et, en plusieurs points, entièrement mis au jour et fouillés ; le pont-aqueduc sur l'oued Krafès a donné lieu à une première étude détaillée. En amont, des aménagements de captage aussi spectaculaires que variés ont été identifiés, cartographiés, et ont fait l'objet d'un début d'étude approfondie. Le barrage d'aïn Djebour<sup>19</sup>, notamment, dont l'état de conservation est exceptionnel, ne connaît qu'un très petit nombre de

14. Plusieurs habitants du village (Malika, Mohamed, Nour), que nous remercions, nous ont confié des variantes mineures de ce récit, dont des parallèles sont attestés ailleurs au Maghreb.

15. Voir la toponymie de la carte au 1/40 000<sup>e</sup> dressée en 1922 par le Service Géographique de l'Armée (cf. fig. 1).

16. Vingt-six barrages sur trente-cinq ont déjà été réalisés.

17. On peut voir un état de la situation il y a plus d'un demi-siècle chez Joseph Tixeront (1953).

18. Pailler *et al.* 2005.

19. Voir la récente étude détaillée : Ferjaoui *et al.* 2014.



Fig. 1. Localisation de Jama (extrait de la carte du jebel Massouge au 1/40 000° dressée en 1922 par le Service Géographique de l'armée). R.R. indique la présence de ruines romaines.

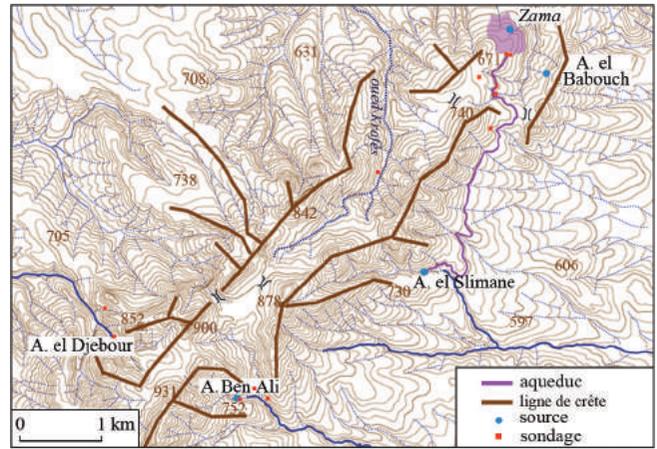


Fig. 2. Les lignes de crêtes du jebel Massouge, l'emplacement de la ville de Zama et les quatre sources qui l'approvisionnent.

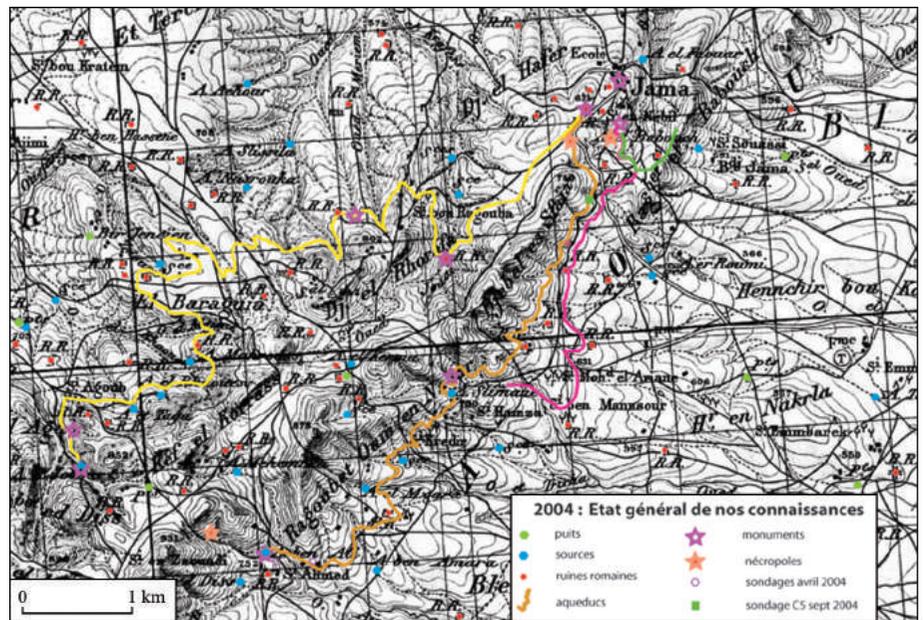


Fig. 3. Cartographie de l'état des connaissances en 2004.

parallèles dans le monde romain (*Glanum*<sup>20</sup>, de rares exemples en Espagne<sup>21</sup>...). En aval, nos investigations nous ont conduits à l'entrée de la ville antique, zone encore très mal connue dont cette recherche contribue à définir les contours. Deux des aqueducs, on le sait aujourd'hui (celui d'aïn Djebour [C4, sans doute dédoublé en C6 en fin de parcours] et celui d'aïn Ben Ali [C5]), aboutissaient aux grandes citernes à l'entrée de la ville haute, qui ont fait l'objet d'un examen architectural préliminaire. Au moins deux autres conduits (C1 et C2, en provenance d'aïn Slimane) semblent avoir débouché sur des structures de distribution situées à mi-pente. Un cinquième, de provenance encore inconnue, mais probablement issu de l'aïn el-Babouch, légèrement à l'est (C3), peut avoir alimenté la ville basse.

20. Agusta-Boularot & Paillet 1998.

21. Gorges & Rico 1999.

Ces résultats spectaculaires sont le fruit d'une quadruple démarche d'enquête orale (laquelle pourrait bien laisser présager la découverte à venir d'au moins un nouvel aqueduc), de prospection systématique de terrain (on notera que le ravinement et le creusement d'oueds depuis l'époque antique ont livré plusieurs fois des coupes révélatrices), de fouilles localisées et de topographie générale des secteurs concernés. Les tracés, là où ils sont connus, sont désormais positionnés par rapport aux courbes de niveau. Vu leur faible pente, et comme on pouvait s'y attendre, ils respectent l'allure générale de ces courbes. Là où ce n'est pas le cas, deux explications peuvent se présenter : rupture de pente délibérée de la conduite (par exemple avec la chute d'eau du conduit à l'entrée du pont sur l'oued Krafès), modification des reliefs sous l'action de l'homme et de la nature depuis l'Antiquité.

### Captages et itinéraires : vue d'ensemble

D'où provenaient ces aqueducs ? Plusieurs prospections sur le terrain ont permis de repérer certains éléments de leur tracé (fig. 4). On est ainsi conduit à remonter jusque vers la source principale d'aïn Slimane, à cinq kilomètres à vol d'oiseau au sud-ouest de *Zama*, sur le versant sud du jebel Massouge, où ont été repérés des éléments de rigoles de captage creusées dans le rocher. Ces rigoles paraissent avoir abouti à un grand bassin de décantation et de distribution occulté par des installations modernes. De là, un aqueduc doublé dans un second temps (C1-C2) partait en direction d'une zone relativement basse de la ville antique. Sur le même versant, un autre aqueduc (C5) avait sa source à aïn Ben Ali, à neuf kilomètres de *Zama*, et passait au-dessus d'aïn Slimane. Nous en avons trouvé plusieurs traces, éléments de canalisation et ponts sur deux oueds, qui n'ont pas encore été étudiés. Cette canalisation supérieure C5 aboutissait sans nul doute aux grandes citernes de Jama.

Ces citernes, nous le savons par la légende comme par la prospection de terrain, étaient également alimentées à partir d'aïn Djebour, à dix kilomètres à vol d'oiseau de *Zama*, au sud-ouest, sur le versant nord du jebel Massouge. À mi-chemin, l'élément spectaculaire connu depuis longtemps est le franchissement de l'oued Krafès. En amont comme en aval de ce pont, des éléments du tracé de l'aqueduc ont pu être reconnus : dalles de canalisation, tronçons de tunnel, passage de l'aqueduc sur au moins un autre pont dont il reste plusieurs piles.

Cet aqueduc (C4) a son point de départ à aïn Djebour, nom d'un ensemble de sources situées en contrebas du nord du massif. C'est là que le captage romain a recueilli, stocké, décanté (avec un dispositif de trop-plein) et expédié les eaux en direction de la ville. Le premier tronçon de l'aqueduc partant du barrage est construit sur le versant en forte pente de la partie

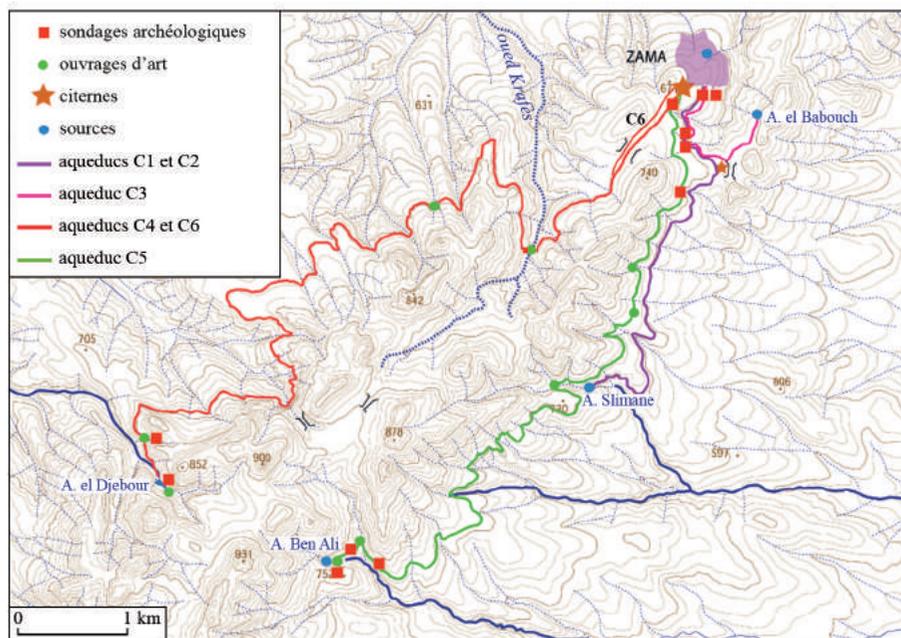


Fig. 4. Tracés des six aqueducs, localisation des ouvrages d'art reconnus et des sondages réalisés.

basse de la vallée et se poursuit par un passage sur les piles d'un pont construit dans un surplomb impressionnant. Un barrage a été édifié au captage d'aïn Djebour. Il rassemblait plusieurs sources vauclusiennes et différentes eaux de ruissellement. Placé en travers d'une petite vallée, il contrôlait les eaux du torrent et celles d'un puits résurgent situé en amont.

## LE BARRAGE D'AÏN DJEBOUR

Repéré comme "Ruine Romaine" (RR) sur la carte topographique de 1922, ce barrage monumental n'avait fait l'objet d'aucune étude. Long de plus de trente mètres, il est large à sa base de plus de sept mètres et haut de près de six mètres (fig. 5). Outre un relevé architectural en plan et en coupe, on a topographié l'ensemble du vallon, ainsi modélisé en parallèle avec l'étude constructive de l'édifice.



Fig. 5. Le barrage d'aïn Djebour et le site de captage.

### L'implantation

Orienté exactement ouest-est, le barrage est situé en travers d'une petite vallée descendant d'un plateau que traverse la route Siliana - Sidi Bourouis. Ce thalweg récupère sources et eaux de ruissellement. Les eaux de la rive gauche se déversent dans le ruisseau qui recueille aussi, en aval, un affluent venu de l'ouest.

### Le bâti conservé et son état

Le barrage est constitué près de la rive gauche d'un mur linéaire en grand appareil de 3 m de haut, conservé sur une longueur de quinze mètres environ. Ensuite une "cavea" comprenant quinze assises forme un arc de cercle d'un diamètre de 21 m en partie haute et de 13 m en partie basse. La paroi courbe du barrage est conservée sur une hauteur de 5,50 m. Elle a été arrachée dans sa partie orientale par le torrent. On peut restituer l'ensemble bâti qui rejoignait les strates de calcaire de la rive droite, en s'y imbriquant parfaitement. Après l'abandon de l'aqueduc, ou pendant, les sédiments ont petit à petit comblé la retenue du barrage en créant une plate-forme de plus de 35 m de long. En entaillant par la suite celle-ci jusqu'au substrat rocheux, le cours d'eau a déterminé une coupe parfaite et précieuse pour la compréhension de la structure interne du mur comme pour la composition et la mise en œuvre de son parement. Le sommet du barrage est lui-même composé par la maçonnerie de la conduite de l'aqueduc, tranchée actuellement par le torrent. Le processus de colluvionnement est ici particulièrement lisible (fig. 7a). Au sud, de grandes dalles taillées parsèment le fond du thalweg. Elles proviennent de carrières situées à quelques centaines de mètres en amont, au bord du torrent, sur les deux rives. De nombreuses traces d'emboîtures indiquent la présence de fronts de taille où la roche est généralement débitée en dalles dont l'épaisseur suit celle des strates de calcaire.

## Un édifice fonctionnel

Par comparaison avec les vestiges du barrage de *Glanum*, on a pu qualifier celui d'aïn Djebour de "premier barrage-voûte conservé de l'histoire des techniques"<sup>22</sup>. L'emplacement était idéal pour recueillir le maximum d'eaux de provenances diverses : puits, sources et ruissellement. Il est encore utilisé et sommairement aménagé par les paysans d'aujourd'hui. Le bassin de retenue joue un rôle important de décantation, mais aussi de stockage et d'alimentation de l'aqueduc. Celui-ci, on l'a vu, est dissymétrique. Sur la rive droite, la voûte de l'édifice semble avoir été ancrée dans la roche ; sur la rive gauche, la partie voûtée se raccorde non au substrat mais à un mur rectiligne en grand appareil qui barre partiellement la petite vallée de ce côté. Le plus vraisemblable paraît être de restituer pour cet ensemble deux états successifs. Le mur droit serait le vestige d'un premier barrage effondré, et consolidé ultérieurement par un ouvrage en arc de cercle (fig. 6).

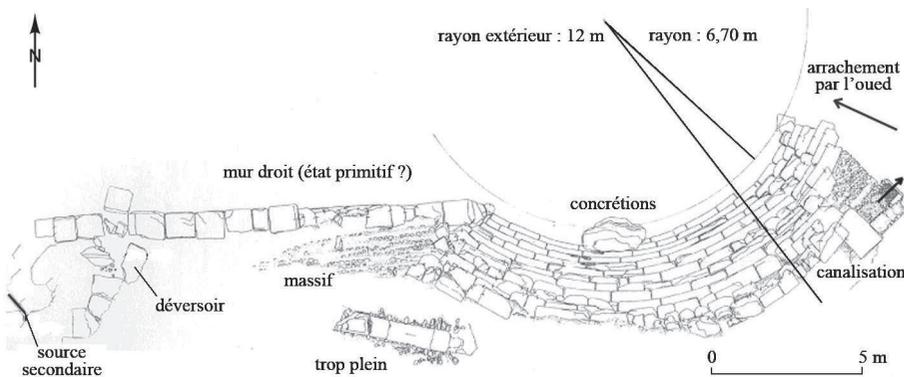


Fig. 6. Plan du barrage d'aïn Djebour.

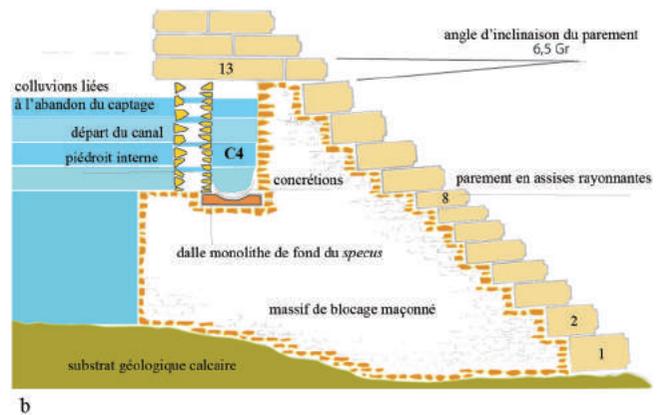


Fig. 7. L'ouvrage d'aïn Djebour avec le départ de l'aqueduc C4. a. Coupe arrachée ; b. Coupe de principe sur le barrage.

Au total, la longueur de l'édifice restitué ne devait guère dépasser quarante-cinq mètres. À l'arrière du barrage, la maçonnerie du canal de l'aqueduc en constitue la partie supérieure (fig. 7b). Le fond du canal est bâti avec des dalles de 2,25 m par 0,75 m pour une épaisseur de 0,35 m. Une cunette longitudinale est creusée dans son axe. Les extrémités sont taillées de manière à s'emboîter. Ces dalles sont posées sur un massif maçonné. Le piedroit arrière de la canalisation a été construit dans un deuxième temps. Les percements réalisés en divers endroits servaient sans doute à équilibrer en permanence les niveaux

22. Par allusion au titre du bel article de S. Agusta-Boulot et J.-L. Paillet (Agusta-Boulot & Paillet 1998). Ce dernier barrage ne subsiste en effet, selon les auteurs, qu'à travers des relevés anciens et sous la forme de maigres "traces de vestiges" (*Eid.*, 128), essentiellement d'ancrages dans les parois rocheuses. L'étude date ce barrage de l'époque augustéenne. Le barrage d'aïn Djebour, quant à lui, semble être en tout cas le premier "barrage à gradins" connu.

des eaux de la retenue et celui de la canalisation. L'assise 13 du parement du barrage-voûte continue en profondeur pour constituer la dalle de couverture du canal. La dalle du fond du canal est à la même altitude que le sommet de la septième assise. Le parement du barrage, qui revêt l'aspect d'une *cauea*, est constitué de grandes dalles de longueur variable, parfois plus de 2 m, et de 0,75 à 0,85 m de profondeur pour une hauteur d'assise de 0,30 m environ. Ces dalles sont très légèrement inclinées vers l'arrière, se mettant ainsi en situation autobloquante.

### L'AQUEDUC C4 EN PROVENANCE D'AÏN DJEBOUR, VERSANT NORD DU JEBEL MASSOUGE

Le tracé repéré du conduit C4 se résume à quelques tronçons et ouvrages d'art. Le plus impressionnant, avant le grand pont sur l'oued Krafès, se situe à seulement 150 m du barrage. Ce premier pont franchit un petit torrent qui coule dans un thalweg en forte pente. La grande pile 6 (fig. 8), partiellement détruite, est visible de la piste qui passe en contrebas. Située sur la rive gauche, elle possède un arrière-bec. De nombreux blocs taillés et des ensembles maçonnés jonchent le fond du ravin. Trois autres vestiges de piles – 7, 8 et 9 –, conservées sur quelques assises, sont fortement inclinés. L'ouvrage, large de 1,80 m (6 pieds romains), devait comporter une dizaine d'arches, pour une hauteur totale de onze mètres et une longueur de quarante. Quatre piles sont conservées partiellement. Le fond du canal est constitué de dalles de pierre de 2,20 m de long, 0,75 m de large et 0,35 m d'épaisseur, avec une cunette longitudinale. Elles sont semblables à toutes celles qui se rencontrent d'un bout à l'autre du tracé.

La particularité de cet ensemble (fig. 9) consiste dans la présence d'un arrière-bec qui protégeait la pile de la rive gauche contre la dégradation liée aux tourbillons de l'eau de ruissellement. La pile 7 de la rive opposée ne comporterait pas, en attente de nettoyages et de dégagements à venir, le même dispositif de protection. Faut-il voir là une des causes de la destruction ? Nos recherches ont permis, avec la découverte des extrémités de ce pont-aqueduc, d'en proposer une restitution qui démontre que cet ouvrage comportait dix piles et un seul étage de onze arches (fig. 10).



Fig. 8. Le pont-aqueduc en aval d'aïn Djebour, la pile de la rive gauche.



Fig. 9. Le pont-aqueduc en aval d'aïn Djebour, la pile effondrée de la rive droite et l'arrière-bec de la pile de la rive gauche.

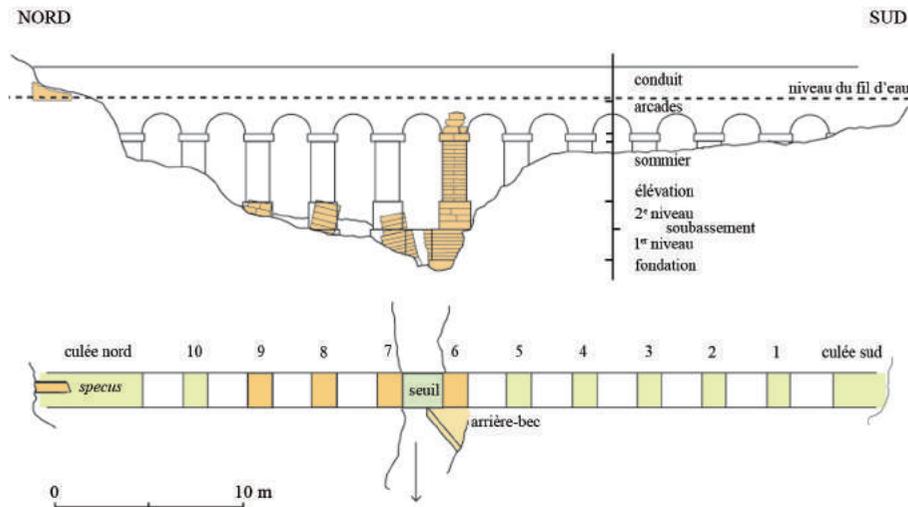


Fig. 10. Hypothèse de restitution du pont en aval du barrage d'aïn Djebour.

## Le franchissement de l'oued Krafès : “le Pont de Krafès”

Grâce à P. Gauckler<sup>23</sup> et à J. Poinssot, on connaît l'état du vestige à la charnière du XIX<sup>e</sup> et du XX<sup>e</sup> siècle (fig. 11a). Cet état est aujourd'hui sérieusement dégradé (fig. 11b). Ce pont, orienté ouest-est, franchit l'oued en provenance du sud (fig. 11c-d). La roche, calcaire avec alternance de couches de marne, se présente en minces strates inclinées vers l'ouest (fig. 12a). Un réseau de lithoclastes perpendiculaires accentue les fractures, leur donnant l'allure d'un dallage carrelé (fig. 12b). Le régime torrentiel de l'oued met en réel danger cet ouvrage imposant.

En tenant présent à l'esprit un double contexte (problème posé par de tels franchissements en de tels milieux naturels, question spécifique de l'approvisionnement en eau de la ville antique), quatre objectifs ont été retenus : dessiner un relevé graphique de l'édifice, étudier les techniques de construction, replacer ce pont dans l'ensemble des structures et autres aménagements hydrauliques de *Zama*, enfin proposer des scénarios de restauration et de mise en valeur. Un dessin de l'ouvrage aboutit à restituer 23 arches, avec un bâti conservé sur une hauteur dépassant 18,50 m (fig. 13). L'oued passe entre les piles 7 et 8. L'état de dégradation de ces piles est variable, en fonction du terrain. Les piles 9 et 10 sont les plus majestueuses ; elles s'élèvent respectivement sur 13,50 m et 13,25 m. Leur hauteur par rapport à la base du pont (niveau du ruisseau) est de 15,60 m et 18,50 m. Cet ensemble homogène ne semble pas avoir connu de réfection importante. Aujourd'hui détruite, la chute du *specus*, immédiatement en amont, de l'ordre de 0,95 m, doit faire partie des dispositifs de contrôle d'écoulement de l'eau, dispositifs assez souvent attestés en amont d'autres ponts-aqueducs (fig. 14).

La composition et la conception de l'édifice répondent à des “cartons”. L'unité de mesure est le pied romain de 0,296 m ; les proportions entre les espacements et les hauteurs reposent sur des rapports simples : les piles mesurent 6 pieds sur 8 et l'espacement entre deux piles est de 7 pieds. La hauteur de l'arche la plus haute (entre les piles 7 et 8) correspond à 47 pieds. Les blocs sont directement issus des bancs d'extraction et ont gardé les traces d'emboîtures, paradoxalement disposées vers le bas (fig. 15).

La structure, de bas en haut, se décompose comme suit : un soubassement général de calage avec, ultérieurement, une implantation intermédiaire de plates-formes de raidissement, cinq à sept assises de réglage, un corps de pile de 18 à 19 assises, une assise de réglage en léger débord qui fait sommier, huit assises d'un appareil plus sophistiqué percées par les arches

23. Gauckler, dir. 1902-1912, 2.2, 372-373, pl. XXVII.

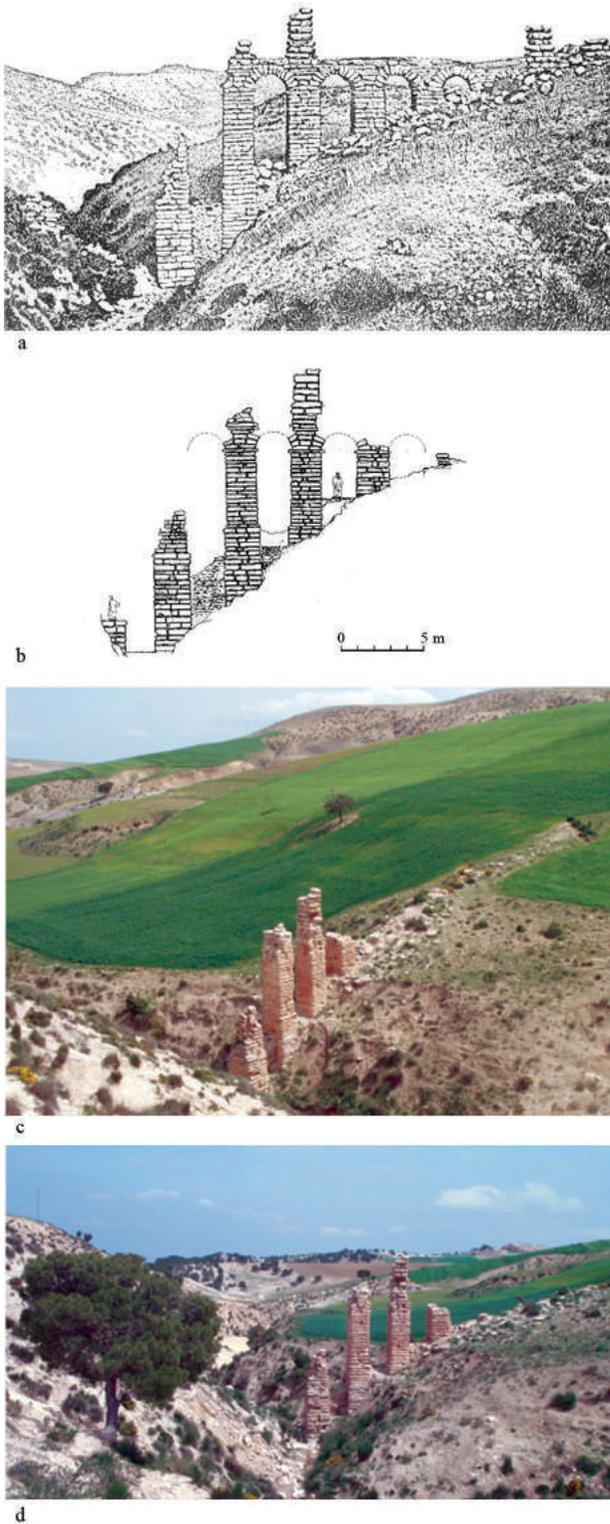


Fig. 11. Le franchissement de l'oued Krafès.  
 a. À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle (Gauckler, dir. 1902-1912, 2.2, 372-373, pl. xxvii) ; b. État actuel (C. Darles) ; c. Vue générale depuis la rive gauche ; d. Vue depuis le sud.



Fig. 12. Le substrat. a. Les strates de calcaire ; b. Les diaclases des strates.

basses, deux assises de grand appareil, plusieurs autres dont cinq conservées correspondant aux piles de l'arche supérieure. À cela devaient se superposer : une assise de nivellement, le sommier pour l'arc supérieur, les assises et les claveaux de l'arche supérieure, deux (?) assises sommitales portant le conduit de l'aqueduc avec son *specus*, ses piédroits et sa couverture (fig. 16). Pour l'explicitation détaillée des techniques de construction et le fonctionnement d'un chantier très probablement installé sur la rive droite, nous renvoyons à notre article récent<sup>24</sup>. En aval de l'aqueduc, quelques sections de canalisations ont été identifiées. L'ouvrage semble se diviser en deux branches au niveau d'un petit col qui surplombe au sud la ville antique. L'une de ces branches paraît passer sous le village actuel, alors que l'autre prendrait la direction des grandes citernes toutes proches.

24. Ferjaoui *et al.* 2014, 155, fig. 23.

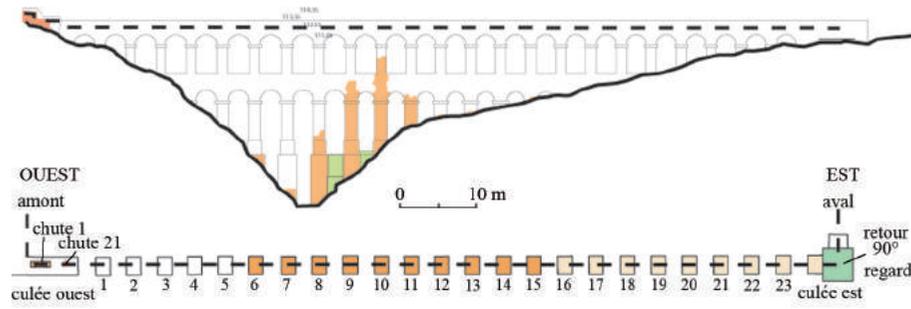


Fig. 13. Restitution du pont-aqueduc C4 sur l'oued Krafès.



Fig. 14. La chute en amont du pont-aqueduc et le départ de la canalisation C4.



Fig. 15. Le pont sur l'oued Krafès, le bossage d'économie conserve les traces d'extraction en carrière.

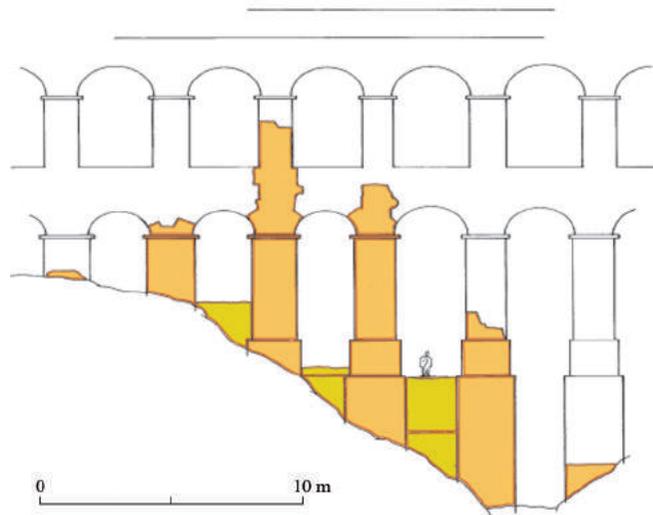


Fig. 16. État des lieux avec les piles et les massifs de contreventements intermédiaires du pont de l'oued Krafès.



a



b

Fig. 17. L'aqueduc C4 vers Ouerfella.  
a. Arrachement par un oued moderne ; b. La conduite arrachée.

### Reconnaissance du nouveau tracé

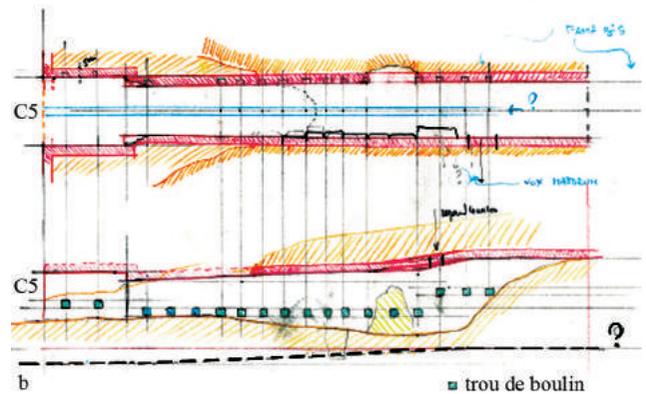
L'étude de la carte topographique de 1930 a autorisé un contrôle précis du tracé de l'aqueduc, d'un captage à 750 m d'altitude à une arrivée aux alentours de 665 m. La prospection et l'enquête orale ont confirmé l'hypothèse de l'arrivée du canal depuis le nord. Le canal de l'aqueduc C4 a été identifié, grâce aux habitants, à l'ouest du village de Ouerfella, où la formation d'un profond oued moderne en révèle la coupe (fig. 17a et b), et son parcours assuré et garanti jusqu'au pont.

### LA SOURCE D'AÏN BEN ALI AU DÉPART DE C5

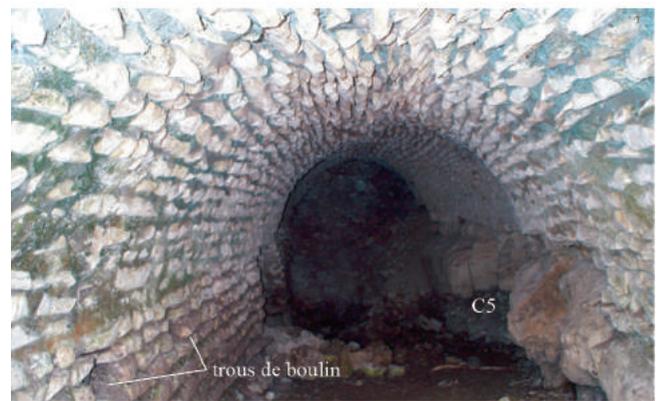
Aïn Ben Ali est située dans un thalweg encaissé au pied du jebel al-Thaleb. La source se trouve sur le versant sud du jebel Massouge. Une galerie souterraine de captage a été découverte non loin de la fontaine actuelle d'aïn Ben Ali, qui possède encore aujourd'hui un fort débit. Conservée sur une longueur de 18 m, dont 10 m en souterrain, la zone de captage antique se présente



a



b



c

Fig. 18. La galerie de captage d'aïn Ben Ali et le départ de l'aqueduc C5.  
a. Vue générale ; b. Plan et coupe ; c. Les trous de boulin et l'effondrement.



a



b

Fig. 19. Les rigoles de drainage au-dessus de la source Ben Ali.  
a. Vue générale ; b. Détail.



a



b

Fig. 20. Aïn Ben Ali, le petit édifice près de la source.  
a. Vue générale ; b. Détail.

sous la forme d'un tunnel voûté d'une hauteur de près de 4 m pour une largeur de 2,10 m à 2,50 m (fig. 18). Les extrémités de cet ouvrage, entaillé dans le rocher, ne sont pas identifiées : l'entrée est détruite et le fond totalement obstrué par l'effondrement de la voûte. Les parois conservent plusieurs niveaux de trous de boulin destinés à l'exécution de la voûte ; celle-ci était munie, dans son dernier tiers, d'un regard de puisage carré de 0,40 m de côté. Cette galerie drainante semble récupérer des eaux de ruissellement par de nombreuses rigoles, au demeurant difficiles à dater, aménagées dans les grandes dalles calcaires de la colline de Sigoun (fig. 19). Celles-ci sont en moyenne larges et hautes d'une dizaine de centimètres.

En étroite liaison avec l'alimentation en eau de *Zama*, cet aménagement des environs du captage des eaux d'aïn Ben Ali a concerné différents types d'installation. Un site d'importance, dans les environs immédiats, était implanté au-dessus de la source. Il faut lui adjoindre une nécropole, ainsi que des aménagements des pentes rocheuses. Aux alentours même du captage, un édifice en relation avec l'adduction d'eau semble correspondre à des thermes (fig. 20). La conduite de l'aqueduc lui-même, comme nous l'avons vu, prenait naissance à la sortie d'une galerie souterraine profonde, voûtée, de plusieurs dizaines de mètres de longueur, obstruée par un éboulement.

## L'organisation de la mission

### *L'enquête orale*

Les ouvriers embauchés pour aider la mission dans ses travaux de déblaiement comme les habitants des environs, utilisateurs de la source actuelle, gardent la mémoire des travaux exécutés dans les années 1960 et parfois se souviennent de l'état des aménagements antérieurs.

### *Les prospections*

Les prospections conduites aux alentours de la source ont fourni, à la suite des témoignages recueillis, un certain nombre de données. Le site supérieur est depuis longtemps connu (et repéré sur la carte du service topographique de l'armée française en 1928) ; sur la colline, en face, des installations mégalithiques regroupant des tombes et de l'habitat semblent correspondre à une époque plus ancienne.

### *Les sondages*

Quatre chantiers ont été ouverts : deux sondages ont concerné le canal même de l'aqueduc ; l'un d'eux a mis au jour un regard (fig. 21). Le fond du *specus* est connu, donnant ainsi l'altimétrie parfaite ainsi que la pente dans ses premiers hectomètres. Un chantier a concerné le nettoyage et le dégagement de la galerie souterraine, un autre, l'édifice peut-être à vocation thermique situé près de la galerie sur la rive droite de l'oued.

## Le site supérieur

### *L'implantation, les blocs d'architecture et le puits*

Le sommet plat d'une colline située au-dessus du captage a été occupé à une période précoce, au plus tard dans les premières années de l'ère, comme le prouve la présence de céramique arétine et, à quelque distance, de traces d'une nécropole de la même époque. Des blocs importants de grand appareil (plusieurs seuils et des fragments de colonnes en brèche rouge) en témoignent. Au centre du dispositif, un puits (antique selon les témoignages d'aujourd'hui) donnait aux habitants la possibilité de s'alimenter en eau de manière minimale.

### *Les rigoles de surface*

Quant au dispositif complexe de rigoles évoqué ci-dessus, il est à rapprocher du "dallage" de l'oued qui coule à côté de la galerie couverte, où une rigole semblable est également aménagée.

## Le captage

La galerie repérée durant la mission précédente a été raccordée il y a près de quarante ans à une nouvelle fontaine située à une trentaine de mètres en aval. Ces travaux d'adduction et de canalisation ont considérablement transformé le site, dont il est difficile d'imaginer l'état primitif. Une étude des archives, peut-être conservées dans les services de l'aménagement hydraulique installés à Siliana et précédemment à El Kef, pourrait enrichir notre connaissance de l'environnement du captage.

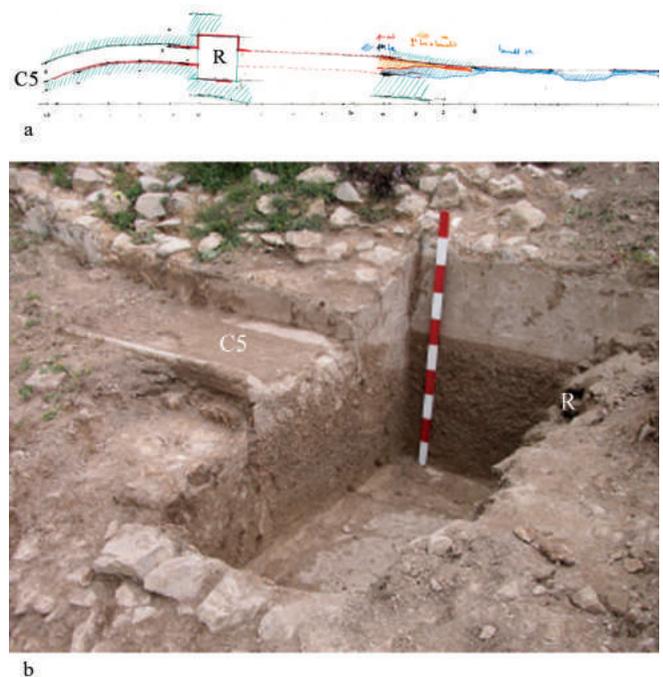


Fig. 21. Aïn Ben Ali, le regard en aval de la source.  
a. Plan ; b. Le regard et le canal C5.

Un premier travail de reconnaissance sur l'ensemble de la zone environnante a mis en évidence la richesse et l'ancienneté du contexte archéologique. Le captage est situé dans une zone d'habitat antique dense comportant plusieurs édifices monumentaux. Le mobilier repéré en surface, notamment la céramique campanienne à vernis noir, indique une présence remontant au moins au II<sup>e</sup> siècle a.C. et se poursuivant jusqu'à l'Antiquité tardive.

Une prospection plus fine des aménagements hydrauliques sur environ 500 m en aval du captage a déterminé l'emplacement de quatre sondages :

- sondage 1 (S1) : à proximité de la galerie, sur le versant de l'oued où était visible en surface un sol de béton de tuileau ;
- sondage 2 (S2) : dans la galerie du captage ;
- sondage 3 (S3) : 30 m en aval de la source actuelle, sur le tracé du canal qui prenait sa source à la sortie de la galerie ;
- sondage 4 (S4) : à environ 400 m de la source, également sur le tracé du canal, à l'emplacement d'un petit bassin, probablement un regard.

Le travail effectué dans ces deux derniers secteurs s'est limité à un nettoyage suivi du relevé des structures en coupe et en plan.

### *La galerie du captage*

Les limons superficiels ont été dégagés sur l'ensemble de la partie accessible, jusqu'à l'effondrement de la galerie. On peut distinguer deux parties dans l'édifice actuellement visible : la galerie proprement dite, large de 2 à 2,30 m environ, dont la voûte est conservée sur plus de 10 m vers l'amont, et une salle, ou du moins un élargissement de la galerie, vers l'aval. Dans cette deuxième partie, les côtés est et sud ainsi que la couverture ne sont pas conservés. Un sondage pratiqué à l'extrémité sud du mur ouest montre clairement que les travaux modernes d'aménagement du captage ont détruit les vestiges antiques vers l'est. D'après la rupture stratigraphique constatée, on peut supposer qu'à cet endroit, un mur venait clore ce deuxième ensemble, amorçant un virage prononcé du captage vers l'est.

En amont, dans la partie voûtée, un sondage de plus de 2 m de profondeur, soit 3,85 m sous la voûte, donne le profil antique de la galerie. La maçonnerie repose directement sur le rocher qui a été entaillé, à cet endroit, sur plus d'un mètre de profondeur. L'emplacement des trous de boulin liés à la construction de la voûte est visible (cf. fig. 18). Le mobilier hétéroclite du remplissage se rapporte à différentes époques dont la dernière, dans la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle, est liée à l'aménagement du captage actuel. Au fond, une dalle de béton protège les canalisations.

### *Le dallage de l'oued*

L'oued est parfaitement aménagé au-dessus de la source. Ce ruisseau qui coule par intermittence récupère les eaux d'un important bassin-versant. Il semble cependant qu'un karst existe et que les eaux de ruissellement s'infiltrent assez tôt pour surgir dans la source pérenne qui possède un débit très important (plus important que la source actuelle de Jama).

Une remarque s'impose : à aïn Ben Ali comme à aïn Djebour et à aïn Slimane, ceux qui ont aménagé des captages bien différents d'allure et de structure ont d'abord cherché – et réussi – à domestiquer et à canaliser les possibilités offertes par les éléments naturels. Ainsi de nombreuses petites canalisations de récupération des eaux de ruissellement ont été incisées dans les grandes dalles du substrat calcaire qui domine la source. Ce complément d'eau a donc paru nécessaire aux constructeurs (cf. fig. 19).

## Les canalisations

### *Le repérage*

Le canal de l'aqueduc a été repéré sur plus de 1000 m à partir du captage. Quatre zones ont été identifiées. Le sondage S3 correspond à un tronçon du *specus*, dégagé sur près de 3 m de long, relevé et topographié. Le franchissement du premier thalweg est connu par la présence d'un massif en *opus caementicium* correspondant aux restes de la culée amont du canal de l'aqueduc ; un deuxième tronçon, repéré sur plus de vingt mètres de long, comporte un regard de 1,25 m par 1,30 m (sondage S4) ; enfin, à quelques centaines de mètres, le fond du canal a été repéré sur et aux abords du chemin qui relie aïn Ben Ali à aïn Slimane.

## Le petit édifice proche de l'exutoire de la galerie

Le sondage 1 est situé à une vingtaine de mètres en aval du débouché de la galerie, sur le versant ouest (rive droite) de l'oued qui sourd près de la fontaine d'aïn Ben Ali (cf. fig. 20). La pente abrupte a protégé les vestiges bâtis qui sont dans un bon état de conservation quand on s'éloigne de l'oued, vers le sud-ouest, mais le volume important des sédiments protecteurs a freiné l'avancement des travaux de dégagement et seul le tiers nord-est du sondage a pu être totalement exploré. Une pièce de 2,80 x 1,90 m appartient à un ensemble partiellement détruit par l'oued, mais probablement bien conservé vers le sud-ouest et qui reste difficile à identifier pour l'instant. On peut simplement constater la proximité du captage et la présence d'un sol de béton hydraulique qui mettent en évidence une liaison étroite entre le bâtiment et l'eau de l'aqueduc. Les murs sont constitués d'un parement de moellons de calcaire et d'un blocage au mortier de chaux ; le sol, mis au jour dans l'angle nord-est, est un dallage de calcaire de facture peu soignée. Un bloc est disposé sur le dallage, contre le mur nord-est. Lui faisant face, de l'autre côté du mur, une canalisation de terre cuite qui semble traverser la paroi débouche sur le sol de béton de tuileau d'une autre pièce en grande partie emportée par l'érosion de l'oued. Dans l'angle sud-est, deux portes assuraient la liaison avec le reste du bâtiment. À cet endroit, l'architecture est particulièrement bien conservée et les deux linteaux sont en place. Les dimensions de ces portes sont relativement modestes, 0,55 m de large pour 1,40 m de hauteur, dans l'hypothèse où le niveau du sol est le même que dans l'angle nord-est de la pièce.

Le mobilier recueilli dans l'ensemble du remplissage ne semble pas suffisamment cohérent pour proposer une date d'abandon du bâtiment. Le ravinement a mêlé aux vestiges de l'occupation et de la destruction des témoins beaucoup plus anciens provenant de la partie supérieure du site.

Actuellement, il n'est pas possible d'identifier avec certitude l'édifice auquel appartient cette pièce (thermes ?) ; cependant, les dimensions réduites de la pièce et l'absence de décor indiquent très probablement une salle de service.

## L'AQUEDUC C<sub>5</sub> D'AÏN BEN ALI À ZAMA PAR AÏN SLIMANE

Ce conduit avait été précédemment repéré en trois endroits :

- au départ d'aïn Ben Ali sur quelques centaines de mètres, avec notamment la présence d'un regard qui a pu être relevé et étudié (sondages 3 et 4, fig. 21) ;
- à hauteur du captage moderne d'aïn Slimane, puis, en aval, au niveau du franchissement de l'oued d'aïn Slimane, où ont été retrouvés les restes d'un ouvrage d'art (fig. 22) ;
- à peu près à mi-chemin d'aïn Slimane et de Jama, sur la gauche de la piste, les vestiges d'un autre ouvrage de franchissement d'oued (fig. 23).

Les découvertes de 2004 ont permis de préciser le tracé de C<sub>5</sub> en aval des tronçons déjà connus, jusqu'à proximité du village de Jama. Trois de ces éléments ont pu être étudiés en détail. Leur caractéristique commune est d'avoir été maçonnés dans le rocher régulièrement entaillé, ce qui a assuré la bonne conservation de la partie inférieure du conduit. C'est l'élément le plus remarquable (fig. 24). À cet endroit, la canalisation, large de 0,45 m, est conservée jusqu'à la voûte haute de 1,18 m, dont la disposition dissymétrique traduit la volonté d'épouser la forme du versant. La vision en coupe donne à voir les modalités probables de la construction. La roche a été entaillée en tranchée ouverte sur une largeur et une profondeur nettement supérieures aux besoins apparents. Cette tranchée a été remplie par la maçonnerie et le conduit de l'aqueduc (cf. fig. 24). C'est au moment où a été posée la maçonnerie qu'ont été effectués les réglages de fond et de direction. La hauteur des concrétions visibles sur les parois indique le niveau le plus fréquent de remplissage au moment où l'eau circulait dans le conduit.

La suite de cette canalisation a été fortement sinon totalement détériorée par le ravinement et les travaux des champs. Les quelques bribes repérables en surface sous la forme de fragments d'enduits pariétaux et d'éléments de fond ont néanmoins ouvert la possibilité d'en suivre le tracé jusqu'aux abords du village moderne. Les prélèvements effectués ont apporté la preuve que le fond du canal avait fait l'objet d'une recharge rehaussant le niveau, sur cette portion, de 1,8 à 4,5 cm environ. Le concassage systématique des morceaux récoltés a livré une douzaine de tessons de céramique datables, présents dans l'enduit d'origine. Aucun n'est postérieur au III<sup>e</sup> siècle p.C., puisque tous, à l'exception de deux fragments du I<sup>er</sup> siècle, appartiennent à la sigillée claire africaine C. La recharge ne recelait aucun tesson identifiable.



Fig. 22. Le franchissement du canal C5 au-dessus d'aïn Slimane.



Fig. 23. Les vestiges d'un ouvrage d'art de C5 entre aïn Slimane et Jama.



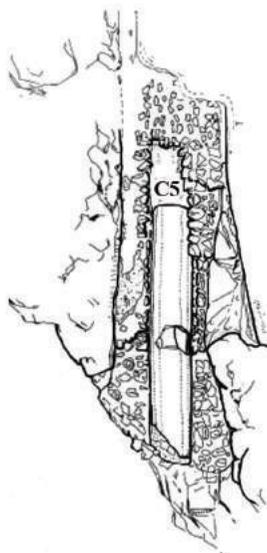
a



b



c



d

Fig. 24. Le canal C5.  
 a. La construction en tranchée ;  
 b. Coupe ; c. Le specus ;  
 d. Vue en plan.

Le dernier tronçon repéré en aval se situe, tout près de l'entrée du village moderne, à une altitude et dans une orientation qui autorisent à conclure que le conduit C5 alimentait, conjointement avec C4-C6 provenant d'aïn Djebour, l'ensemble des grandes citernes situées en partie haute de la ville. La datation obtenue pour C5 (III<sup>e</sup> siècle) coïncide avec celles de C4 et des citernes, que suggéraient des indices analogues.

À l'entrée de *Zama*, on peut distinguer les vestiges de trois citernes de 85 m sur 10,50 m. Leur contenance totale pourrait dépasser les 20 000 m<sup>3</sup>, ce qui est important par rapport à la contenance moyenne d'autres citernes du même type, mais correspond à relativement peu de journées de consommation courante d'une ville comme *Zama*. Il est possible qu'il en existe d'autres : R. Cagnat et H. Saladin, dans le *Voyage en Tunisie*, en 1886, mentionnent "deux fois quatre citernes". Dans la ville antique, en dessous et à proximité du grand temple, une source pérenne est connue et toujours en service. Anciennement captée, elle devait fournir l'eau potable à une partie de la ville, mais se trouvait située en contrebas des thermes<sup>25</sup>.

### L'arrivée de C4 et C5 à *Zama*

L'étude préliminaire des citernes s'est déroulée sur le terrain durant les deux missions d'avril et septembre 2003 (fig. 25). Cet ensemble monumental qui occupe plus d'un tiers d'hectare est connu depuis longtemps (fig. 26). Quatre grands murs définissent trois parcelles en légère déclivité généralement cultivées. L'ensemble est situé à une des arrivées du système d'approvisionnement en eau de *Zama*, à l'entrée de la ville antique. Quatre objectifs ont été fixés : établir un relevé graphique préliminaire de l'édifice en vue de son étude archéologique, étudier les techniques de construction et les dispositifs architecturaux mis en œuvre, restituer la position de ce bâtiment dans la topographie générale à l'échelle du site et à celle du réseau hydraulique, proposer des scénarios de conservation et de mise en valeur. Après un relevé planimétrique (fig. 27a) et altimétrique (fig. 27b) des vestiges visibles de l'ouvrage, l'étude des techniques de construction employées dans cet édifice suggère quelques hypothèses sur les techniques constructives, sur les stratégies de chantier ainsi que sur l'élaboration du projet architectural. L'analyse des vestiges a conduit également à proposer, dans un premier temps, deux options de couverture. Les dernières recherches ont permis de mieux affiner la coupe des départs de voûte et ainsi de confirmer que chaque citerne était couverte en deux files.

### L'implantation

L'ensemble des trois citernes visibles de *Zama* est situé à l'entrée de la ville antique à proximité de la maison de fouille. La superficie totale occupée est de 3 200 m<sup>2</sup> environ, pour une longueur de 86 m et une largeur totale de 42 m. Les paysans du village cultivent actuellement les trois "parcelles" définies par

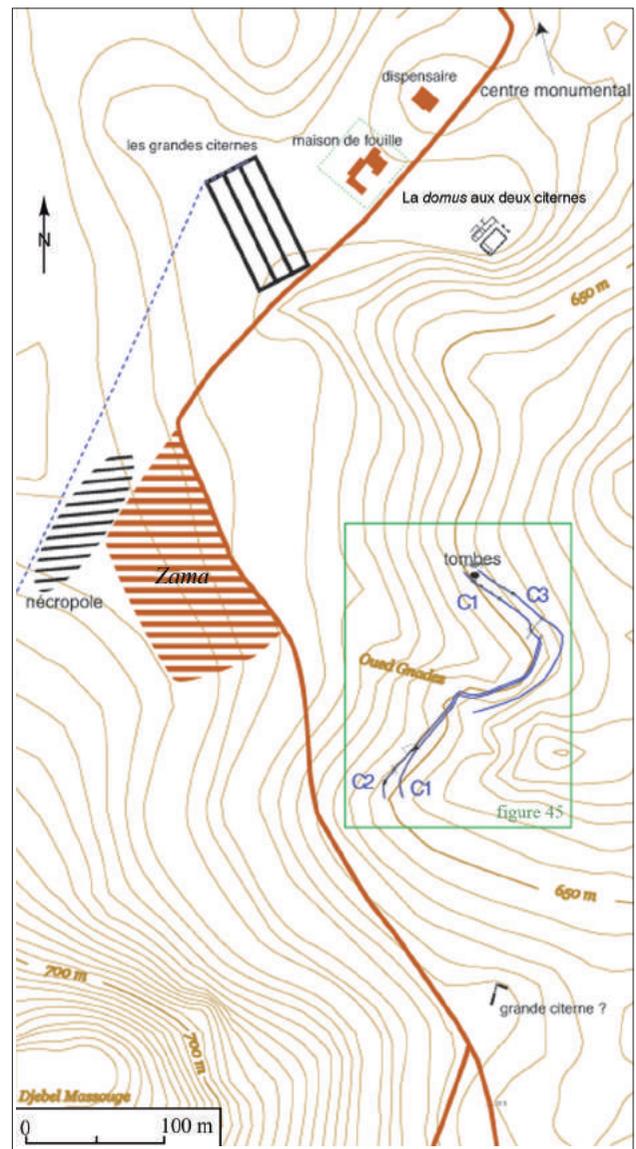


Fig. 25. Localisation des vestiges dans la partie sud de la ville antique de *Zama*.

25. Étudiés par une équipe tuniso-italienne (Bartoloni & Ferjaoui 2002).



Fig. 26. Les grandes citernes de Zama.  
a. Les citernes 1 et 2 vues depuis leur pignon nord-ouest ;  
b. La citerne 3 et ses vingt citernes transversales.

les quatre grands murs qui constituent les longs pans visibles des citernes. L'édifice est orienté dans le sens de la longueur dans la direction du nord magnétique avec un angle de 370 grades.

### Le bâti conservé et son état

Les deux murs longitudinaux internes sont parfaitement visibles et conservés sur une hauteur visible de quatre mètres environ, c'est-à-dire moins de la moitié de leur hauteur vraisemblable d'origine. Les murs 3 et 4 présentent des départs de voûte perpendiculaires significatifs. Les murs extérieurs 1 et 4, ne sont connus que par leurs faces internes, excepté localement pour le mur oriental. Entre les murs 1 et 2, un massif maçonné transversal témoigne de la présence du "mur pignon" méridional. Deux sondages effectués en septembre 2003 ont situé précisément l'emplacement du mur pignon nord-ouest.

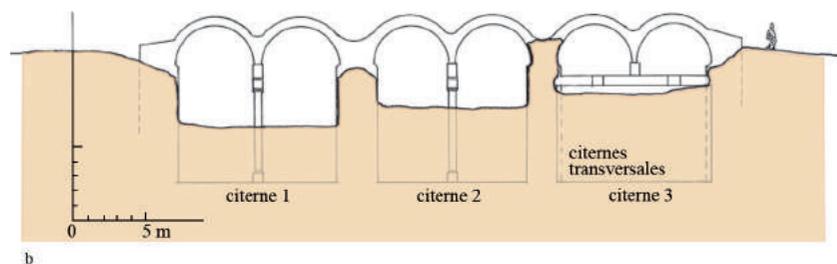
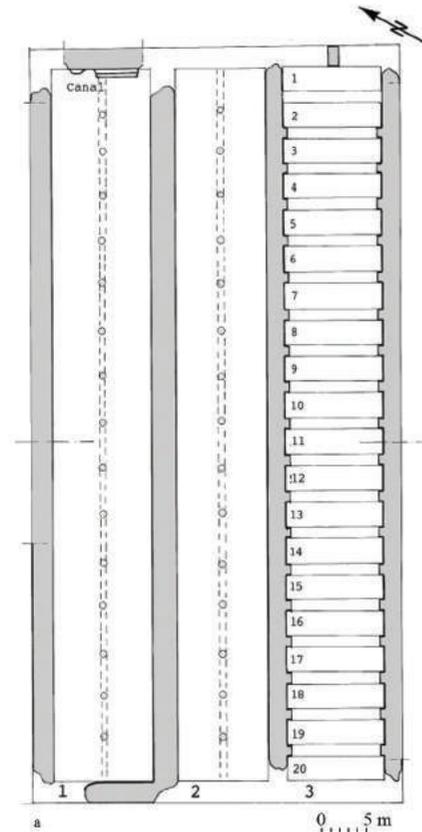


Fig. 27. Les grandes citernes de Zama.  
a. Plan et hypothèse de restitution ;  
b. Coupe et restitution.

Ils ont également permis la découverte d'un canal d'alimentation appuyé, dans la citerne 1, contre ce mur pignon à hauteur de la naissance des voûtes de couverture.

### *Morphologie de l'ensemble*

Il s'agit de trois grandes citernes accolées, définies par quatre murs, en *opus caementicium* parementé en petit appareil, parfaitement recouverts par un enduit étanche en *opus signinum*. La restitution de l'ensemble, avec l'étude de la courbure des voûtes, incite à proposer une couverture voûtée et une file de points d'appui intermédiaires pour la mise en œuvre d'une architrave transversale<sup>26</sup>. La citerne 3 (cf. fig. 26b) est différente avec la présence dans les murs 3 et 4 d'arcs, de tympan et de départs de voûte, rendus étanches par la mise en œuvre de mortier de tuileau (fig. 28). Ces éléments indiquent l'existence de citernes transversales juxtaposées, au nombre de vingt. Situées à un étage inférieur, ces citernes devaient être en communication par leur sommet avec le grand volume longitudinal et avoir une fonction de décantation. La citerne 3 semble donc avoir un double rôle de stockage et de régulation pour l'approvisionnement en eau de la ville. Nous proposons également (hypothèse à vérifier par des fouilles archéologiques) de considérer que ces citernes étaient en communication par un système d'échelonnement altimétrique qui contribuait à la décantation.

### *Remarques sur leur fonctionnement*

La citerne 3, située à l'arrivée des aqueducs, semble donc bien avoir eu un rôle de décantation. L'*intradós* des citernes transversales comporte une deuxième couche de mortier étanche, ce qui indique qu'elles étaient noyées et qu'elles communiquaient avec la grande citerne longitudinale coupée en deux dans le sens de la longueur pour faciliter le traitement de purification des eaux. Les citernes transversales devaient correspondre entre elles de manière à répartir l'eau afin d'annuler les effets de surpression. La citerne 2 comme les deux autres était couverte par un système de doubles voûtes posées sur un mur longitudinal percé de manière à équilibrer les pressions de l'eau. Bâtie comme la citerne 2, la citerne 1 comporte sur son pignon nord-ouest un conduit, situé en partie haute, au niveau du départ des voûtes parallèles. Il doit s'agir de l'alimentation commune, en partie haute, de l'ensemble des trois citernes. Les exemples des citernes de Dougga et de Carthage sont représentatifs de ce mode de fonctionnement. L'angle sud-est (qui correspond au point le plus bas du substrat rocheux) pourrait avoir conservé la prise d'eau pour l'alimentation de la cité ainsi que la vidange de l'ensemble, située sensiblement plus bas.

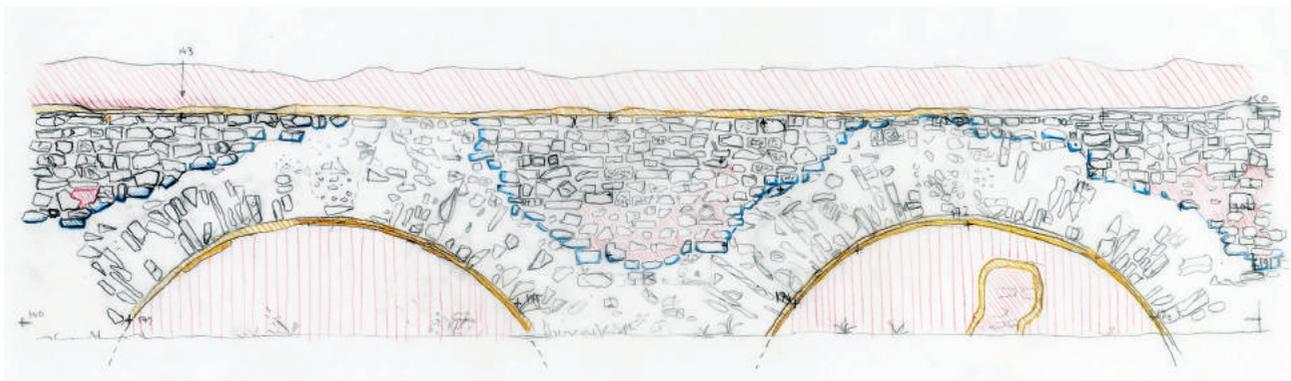


Fig. 28. Les citernes transversales 4 et 5 de la grande citerne 3.

26. L'existence de citernes à piliers est attestée autant à Alexandrie (citerne tardive d'El Nabih, citerne de Yeretaban Sarayi avec ses 336 colonnes), ou dans les citernes de Bararus-Rougga (Mahjoubi *et al.* 2003), que dans la "piscina Mirabilis" de Misène (48 piliers) qui offrait la particularité de posséder un vaisseau plus profond afin de pouvoir vidanger l'ensemble.

## ORIGINES ET PARCOURS DES AUTRES AQUEDUCS ENTRE AÏN SLIMANE ET ZAMA

### La source d'aïn Slimane

Le site a été considérablement transformé par des travaux de captage modernes et de distribution des eaux de cette source encore nécessaire pour la population locale. À ce jour, quelques rapides prospections ont conduit à évaluer les questions posées par ce site. Il semble que plusieurs aqueducs en soient issus. Ce site est bordé par un oued profond et abrupt débouchant au sud-est sur une vallée qui s'ouvre vers la plaine de Siliana. D'un point de vue général, les conduits provenant de ces sources suivent les courbes de niveau qui délimitent la pente du versant sud-est du jebel Massouge.

Trois canalisations antiques passaient à aïn Slimane. Ces canaux sont implantés sur trois niveaux largement différents. Il est clair qu'un, voire deux de ces aqueducs, les plus élevés, proviennent d'aïn Ben Ali. Cette caractéristique n'exclut cependant pas d'éliminer un captage secondaire des eaux d'aïn Slimane par ces conduits. L'aqueduc C<sub>5</sub> en provenance d'aïn Ben Ali passe quelques mètres au-dessus de ce captage où il a été bien identifié. D'aïn Ben Ali à aïn Slimane, le tracé de cet aqueduc a été repéré de manière régulière et fiable. Cette canalisation arrive environ à mi-pente au niveau d'aïn Slimane, légèrement en contrebas du château d'eau actuel. Elle correspond à la canalisation qui franchit l'oued, à une centaine de mètres en aval de la source, sur un pont à une ou deux arches : ouvrage monumental en *opus caementicium* avec un parement de grand appareil.

Au niveau d'aïn Slimane, à proximité du sommet, un tronçon de canal maçonné présentant toutes les caractéristiques des conduits alimentant Zama a été identifié. L'un ou l'autre de ces canaux doit être mis en relation avec des vestiges repérés plus loin, à mi-chemin d'aïn Slimane et de Zama. Il s'agit là encore de restes d'un ouvrage modeste de franchissement d'un petit thalweg (sans doute un ouvrage à une arche).

En contrebas d'aïn Slimane, sur le versant oriental de l'oued, nous avons déjà mentionné un canal qui semble avoir cette source pour départ. Cet aqueduc n'a pas pu être suivi au-delà de quelques centaines de mètres. Les prospections futures devront raccorder cette canalisation aux sections identifiées plus loin vers la ville antique. Parmi celles-ci, il convient de mentionner l'observation récurrente d'un puits et de deux canaux accolés, situés à des altimétries cohérentes le long du versant sud du jebel Massouge. Le creusement depuis l'époque romaine de nombreux petits oueds sur ce versant a en effet entaillé les conduits perpendiculairement, les faisant apparaître en coupe à plusieurs reprises le long du tracé. Les deux canaux accolés identifiés, établis à un niveau légèrement différent (0,88 m), ne peuvent être que les conduits C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> étudiés à proximité de l'arrivée des aqueducs dans la ville.

L'oued Gnadez est un thalweg relativement profond, bien marqué dans la topographie, situé en contrebas du village actuel de Jama, au sud du centre urbain antique. L'érosion particulièrement active dans la zone depuis l'Antiquité a bouleversé la topographie. Ainsi, certains vestiges, dont ceux d'aqueducs, ont été mis au jour et partiellement détruits. Certes, le creusement des oueds au long des deux mille ans marque l'aspect le plus visible de ces modifications, mais les recherches effectuées aux abords de la ville ont montré qu'à cette érosion active il fallait ajouter des glissements de terrain et un colluvionnement intense. Ce changement de la topographie depuis l'époque romaine entraîne certaines difficultés dans le repérage des canaux. En outre, les conduits portent les traces de ces transformations du paysage, puisqu'ils présentent à certains endroits les stigmates de déformations qu'il nous faut mesurer et corriger tout au long de nos observations : versements des piédroits, affaissements, glissements, fractures, irrégularités de pente.... Une analyse fine de ces déformations devra aussi appréhender, à travers l'étude de l'alimentation en eau de Zama, les changements qui se sont opérés dans le paysage et donc de proposer une restitution de la topographie antique, en tentant la comparaison avec l'état actuel du terrain traduit par les courbes de niveau.

### Les canaux C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> et C<sub>3</sub> et les regards R<sub>1</sub> et R<sub>2</sub>

En ce point proche de la ville antique, trois aqueducs ont été repérés sur une centaine de mètres de longueur (fig. 29). Les deux premiers, C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub>, sont contigus (fig. 30), et le troisième se trouve à une dizaine de mètres vers le sud, et 2,50 m plus bas. L'origine des eaux transportées par les deux premiers canaux ne laisse aucun doute : leur situation, face au jebel Massouge, l'orientation des portions de tracé repérées et leur altitude, relativement basse par rapport à celle de la ville antique, indiquent les sources d'aïn Slimane. Du fait de la position de C<sub>3</sub> (fig. 31) en contrebas des deux autres et de son repérage sur une moins

longue distance vers l'amont, un doute subsiste sur la ou les sources alimentant ce canal ; une provenance tout à fait différente peut être proposée : aïn el-Babouch.

Dans l'oued proprement dit, le ravinement a totalement détruit les trois aqueducs et nous n'avons donc pas d'indices relatifs à son éventuel franchissement, dans l'hypothèse où cet oued aurait existé dans l'Antiquité. Sur la rive droite, vers le sud, les coupes des trois canaux visibles dans le talus ont pu être relevées et des sondages à quelques mètres en amont des canalisations ont précisé le tracé des canaux C1 et C2. Sur l'autre rive, vers le nord, on peut suivre les trois canaux à flanc de colline, mais souvent ils sont arasés juste au-dessus du fond de canal, et certains tronçons, notamment de C3, ont été emportés par l'érosion.

La coupe des canaux accolés C1 et C2 (fig. 30b) nous renseigne à la fois sur les techniques de construction et sur leur chronologie relative. Le canal C1 est le mieux conservé : seule la partie supérieure de la voûte est effondrée. Il est haut de près d'un mètre sous voûte et large de 48 cm. Les parois sont construites en petits moellons disposés de façon régulière et enduites à l'intérieur d'un cuvelage de mortier de chaux mêlé d'éclats de tuiles et de briques : ce mortier de tuileau lissé, renforcé à la base des parois par un solin en quart-de-rond, assurait naturellement l'étanchéité des conduits et des bassins tout en garantissant

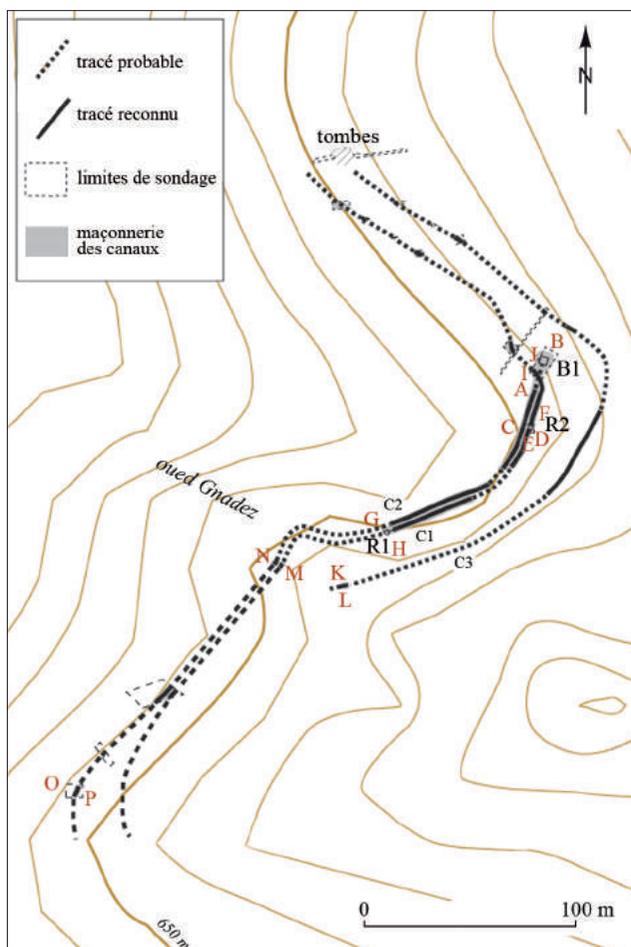


Fig. 29. L'entrée des aqueducs C1, C2 et C3 au sud de Zama, avec localisation des sondages.

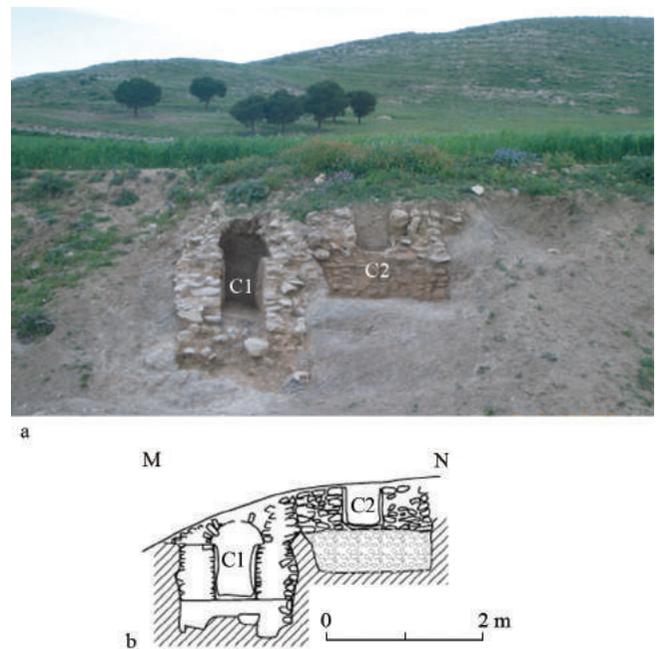


Fig. 30. Oued Gnadez, les canaux accolés C1 et C2. a. Vue ; b. Coupe MN.



Fig. 31. Le canal C3 et les concrétions.

un frottement minimal entre le fluide transporté et les parois de la canalisation. Sur cet enduit, les concrétions calcaires laissées par le passage ininterrompu de l'eau sont bien visibles. Il est intéressant de noter qu'elles n'ont rien de commun avec celles observées sur les autres conduits, puisqu'il s'agit ici seulement d'une fine pellicule de calcite à l'aspect lisse, déposée et incrustée dans l'enduit.

Du second canal (C2), construit de façon similaire, il ne reste en ce point que le fond de la conduite ; en effet, situé à un niveau supérieur, il a été à cet endroit arasé par l'érosion et les travaux agricoles. Les concepteurs de C2 se sont servis du canal C1 comme référence pour le tracé et la topographie et comme ancrage pour la construction de leur canalisation. C2 est installé sur une fondation composée de mortier de chaux de couleur rosée, comprenant des lits de pierres en calcaire équarries. Comme ceux du conduit C1, ses murs ont été implantés à l'intérieur d'une tranchée pleine et parementés sur la face interne du conduit. Le cuvelage de mortier de tuileau est ici également très fin, mais plus fortement concrétionné. On notera que sur la rive gauche, au niveau de l'arrachement dû à l'érosion liée au creusement de l'oued, une recharge a été observée dans le mortier du fond du canal, recharge qui reprend entièrement la forme primitive, y compris celle des solins d'angle. Ce constat nous indique que des réglages du niveau du fond ont été effectués sur cette canalisation, témoignant probablement de dysfonctionnements ou au moins d'erreurs de conception.

Ces deux aqueducs (C2, on l'a démontré, étant postérieur à C1) pourraient dater, en première approximation, du I<sup>er</sup> ou du II<sup>e</sup> siècle (voir ci-dessous). Pour le troisième, mal conservé, un *terminus post quem* du III<sup>e</sup> siècle est suggéré par des fragments de céramique de cette époque (sigillée africaine C) trouvés noyés dans la maçonnerie. Mais aucune conclusion sûre ne peut encore être proposée.

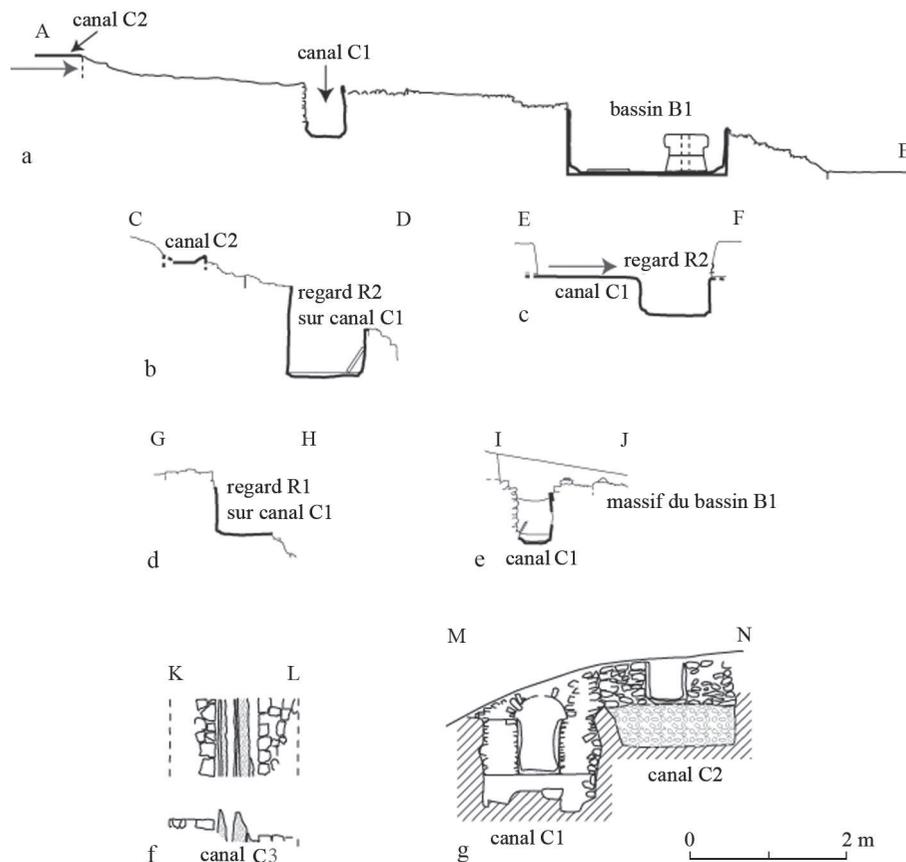


Fig. 32. Coupes sur les aqueducs C1, C2 et C3, les regards et le bassin.

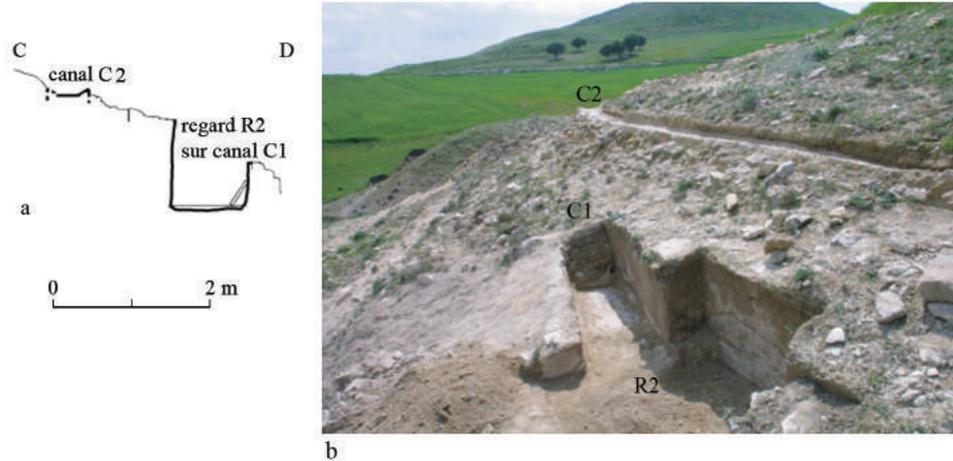


Fig. 33. Oued Gnadez, regard R2 sur C1 et canal 2. a. Coupe CD ; b. Vu du sud.

Les deux regards R1 et R2 repérés et fouillés durant cette campagne sont situés sur le canal C<sub>1</sub>, à 44 m (150 pieds romains) de distance l'un de l'autre (fig. 32, coupes CD, EF et GH). Le mur sud de R1 est effondré, et le regard est conservé sur une largeur maximale de 0,70 m. Aux abords du regard, le canal C<sub>1</sub> a été détruit par l'érosion ; on ne peut donc restituer précisément la profondeur de R1. Le regard R2, en revanche, a été bien préservé (fig. 33). De forme approximativement carrée (0,86 x 0,95 m), il est conservé sur une hauteur de 1,50 m. Le fond du regard est situé à 48 cm au-dessous du fond du canal (fig. 32, coupe CD). Ce dénivelé piégeait les particules les plus grossières en suspension dans l'eau, mais ce regard donnait avant tout accès à l'intérieur du canal voûté pour assurer son entretien. Une *tegula* découverte au fond du petit bassin avait peut-être servi à sa couverture.

### Le bassin B<sub>1</sub>

Le bassin B<sub>1</sub> est une structure maçonnée, en creux, de forme carrée (1,94 m de côté) ; il est conservé sur une hauteur maximale de 0,90 m (fig. 34). Les parois intérieures sont enduites d'une fine couche de 3 à 6 mm de béton hydraulique (mortier de chaux et brique pilée) ; un bourrelet assure l'étanchéité entre les parois et le sol. Bien que de dimensions modestes (4 m<sup>3</sup>, pour 1 m de hauteur conservée, soit un volume visible de 4 m<sup>3</sup>), la maçonnerie est relativement imposante. Pour asseoir la structure et résister à la poussée de l'eau, le rocher a été entaillé et un blocage de plus de 1,20 m de large assurait une parfaite stabilité. Un simple parement de moellons de calcaire grossièrement ébauchés a servi de lit de pose à l'enduit interne. L'ensemble des parois est fortement concrétionné, indiquant que l'eau qui remplissait totalement le bassin était continuellement renouvelée.

Dans la partie nord du bassin, un élément architectural de forme cylindrique (hauteur de 0,66 m ; diamètre supérieur de 0,62 m), composé de deux blocs de calcaire superposés, repose sur la couche de limon recouvrant le sol. Les deux blocs sont percés en leur centre, sur toute la hauteur, d'un percement de section carrée (12,5 cm de côté). Les faces extérieures sont concrétionnées, excepté la surface supérieure qui devait être recouverte et l'intérieur de la cavité centrale qui, elle non plus, ne devait pas entrer en contact avec l'eau. Il s'agit là d'un dispositif volontaire, mais dont la fonction nous échappe pour le moment : support de pompe ou de levage de l'eau ? Sa position stratigraphique donne en tout cas l'impression qu'il n'a été mis en place que dans une phase tardive d'utilisation du bassin.

La fine couche de limon déposée sur le sol du bassin atteste sa fonction de décantation. C'est le canal C<sub>2</sub> qui alimentait en eau le bassin. Bien qu'il soit interrompu à 6,20 m de ce dernier, on peut distinguer son soubassement qui aboutit au centre de la paroi sud. Une dalle de calcaire (62,5 x 61 cm conservés, pour une épaisseur de 13 cm), découverte dans le bassin, (visible sur la coupe A-B, fig. 32), provient peut-être de la couverture du canal ; mais, posée à plat sur le fond, elle a pu aussi renforcer le sol et protéger le joint d'étanchéité à l'aplomb de la petite chute d'eau provenant de C<sub>2</sub>. Pour desservir le bassin, C<sub>2</sub> devait passer par-dessus le canal C<sub>1</sub>, plus ancien, qui effectue un virage assez prononcé vers le nord-ouest, à 2,80 m du réservoir.

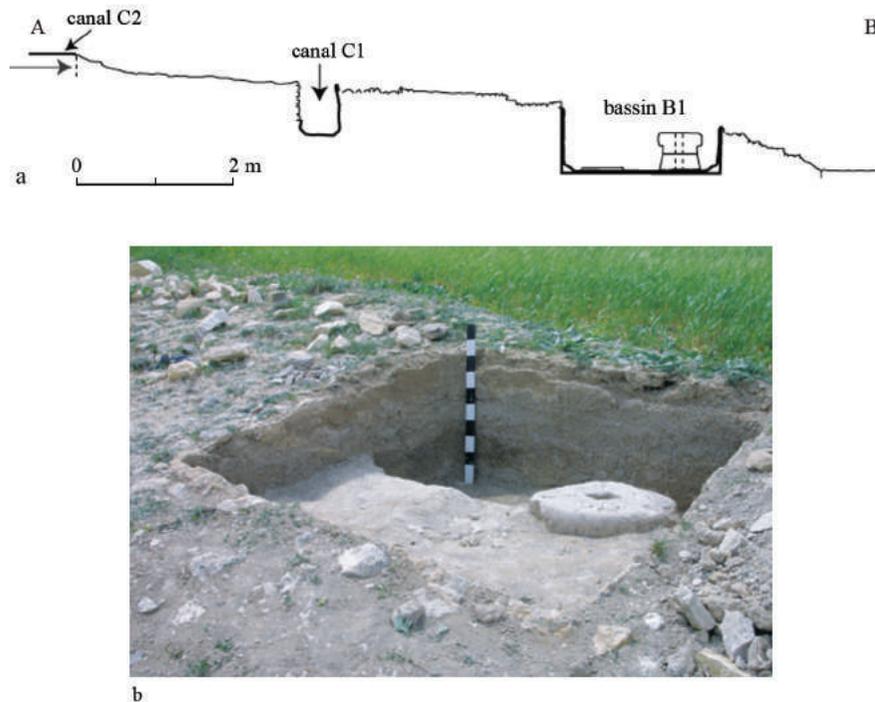


Fig. 34. Le bassin B<sub>1</sub> sur le tracé de l'aqueduc C<sub>2</sub>. a. Coupe AB ; b. Vue.

Vers l'aval, aucun indice ne donne la possibilité de restituer un dispositif d'évacuation de l'eau. Les sondages menés autour du bassin et sur le tracé des aqueducs C<sub>1</sub> et C<sub>3</sub> n'ont en effet livré aucune trace d'implantation du canal C<sub>2</sub> en aval du bassin. Des interrogations sur la fonction de ce bassin se posent donc. La décantation a été mise en évidence, mais elle ne justifie pas a priori la construction d'un bassin aussi important, puisque de simples regards peuvent jouer ce rôle, au moins pour les sédiments en suspension les plus grossiers : B<sub>1</sub> était-il donc destiné à la décantation des sables fins et des poussières ? Le bassin B<sub>1</sub> pourrait aussi constituer le point d'aboutissement du canal C<sub>2</sub>, jouant le rôle de transition entre l'aqueduc et le réseau de distribution dans la ville. Du bassin de distribution partirait une conduite forcée (tuyau en plomb) démarré par un système de trop-plein sous l'élément architectural cylindrique. On peut également imaginer que le conduit se poursuivait en aval par un ouvrage d'art franchissant la dépression située au nord du bassin, interprétable alors comme un élément de régulation du débit et de la vitesse de l'eau transportée (les traces d'un tel ouvrage de franchissement n'ont pour le moment pas été mises au jour). Enfin, un tel aménagement peut être envisagé comme un bassin-relais pour puiser de l'eau au moyen d'une pompe, ou peut-être d'une fontaine (dont l'élément architectural cylindrique pourrait constituer une partie de la base).

### Quelques remarques sur le canal C<sub>3</sub>

On a déjà dit que cet aqueduc, dont le tracé, sur les tronçons dégagés, est grossièrement parallèle à celui de C<sub>1</sub>, a été aménagé, sans doute postérieurement, en contrebas des deux autres. Sa provenance pourrait être différente, puisqu'aucune trace n'en a été, pour l'instant, découverte le long de l'itinéraire conduisant les canaux accolés C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> – repérés, eux, en plusieurs endroits – de la zone de captage d'aïn Slimane à l'oued Gnadez et à la ville antique. Au nord de l'oued Gnadez, C<sub>3</sub> présente un aspect fortement détérioré. Les parois internes du canal sont à ce point concrétionnées (fig. 35-36) que l'enduit de tuileau et les concrétions, de chaque côté, se sont détachés des murs bordant le conduit. L'eau a ainsi continué à couler assez longtemps pour former des concrétions à l'extérieur même du canal primitif (cf. fig. 32, plan et coupe KL).

Parmi les hypothèses pouvant expliquer l'aménagement de C<sub>3</sub> et son fonctionnement prolongé au-delà même des conditions normales d'utilisation, on peut songer à un besoin d'alimentation en eau de quartiers bas de la ville, où de nouvelles

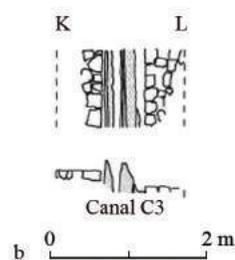
activités (textiles... etc.) auraient pris place dans l'Antiquité tardive. Mais de telles hypothèses, qui ne peuvent encore prendre appui que sur un seul texte issu de la controverse donatiste, au tout début du IV<sup>e</sup> siècle<sup>27</sup>, restent naturellement à vérifier.

À proximité de l'oued Gnadez, là où les conduits C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> et C<sub>3</sub> approchent de la zone urbaine, il a été possible de dégager de premiers éléments offrant des perspectives de recherche prometteuses. Les tracés respectifs des trois canaux présents montrent que, comme dans la plupart des cas, les concepteurs ont préféré implanter les aqueducs en suivant les courbes de niveau de l'époque. Ce cheminement en pente douce, la plus constante possible, a cependant subi de nombreuses déformations depuis l'Antiquité, reportant la possibilité d'élaborer une réflexion sur les pentes et altimétries précises des canaux. Pour s'en convaincre, il suffit de se reporter au tronçon du canal C<sub>2</sub>, retrouvé au sud de l'oued Gnadez, qui présente des traces de lourdes déformations. Il semble que le parcours de l'aqueduc C<sub>1</sub> a servi de référence pour l'implantation des deux autres : dans le cas du conduit C<sub>2</sub>, qui prend appui sur C<sub>1</sub>, c'est évident ; pour le canal C<sub>3</sub>, même si aucun élément de chronologie n'autorise à l'affirmer avec certitude pour l'instant, l'impression sur le terrain laisse plutôt croire qu'il suit C<sub>1</sub> en parallèle. Les canaux sillonnaient donc l'environnement proche de la ville, s'adaptant à la topographie.

L'étude de ces conduits à leur entrée dans l'environnement urbain nous a permis de localiser un site probable de nécropole, nous informant sur les limites de l'agglomération. Il est certain que les deux canalisations présentes dans cette zone ne devaient pas se poursuivre sur une longue distance vers la ville. En effet, il est difficile d'imaginer des aqueducs traversant des quartiers entiers, impliquant de nombreuses difficultés d'entretien et d'utilisation, même si le cas de Volubilis (Maurétanie



a



b

Fig. 35. Le canal C<sub>3</sub> et le rétrécissement du *specus* par les concrétions.  
a. Vue ; b. Coupe KL.



Fig. 36. Le décollement du mortier étanche et les concrétions calcaires.

27. Cf. les *Acta purgationis Felicis*, 203-204 : Felix, magistrat et artisan d'*Abthuni*, au début du IV<sup>e</sup> siècle, vient à Zama *ad lineas comparandas*, pour s'y procurer du fil [ou des filets] (Ziwsa éd.).

tingitane) indique bien que cette éventualité existait<sup>28</sup>. Dans la plupart des exemples, l'acheminement de l'eau se termine dans les quartiers suburbains pour laisser la place aux équipements de distribution en conduites forcées.

L'approche de cette portion particulière du tracé des aqueducs, indispensable pour comprendre le fonctionnement du système d'alimentation hydraulique de la ville dans son ensemble, livrera à coup sûr de précieux éléments de chronologie. Effectivement, les canaux, dans leurs rapports avec leur environnement proche susceptible de fournir des indices de datation fiables (nécropole, mais aussi certainement habitats, ateliers, etc.), pourront être replacés au sein d'une chronologie absolue, et non plus seulement relative.

Les observations précises faites sur les tronçons étudiés n'ont pas seulement conduit à proposer de premières hypothèses de datation relative. Il a été remarqué que le phénomène de concrétionnement, visible sur les parois des canalisations, a pris des formes différentes selon les conduits. Dans le canal C<sub>1</sub>, le calcaire paraît s'être incrusté dans l'enduit de cuvelage et se présente à l'épiderme sous la forme d'une fine pellicule. Dans le conduit C<sub>2</sub>, les concrétions sont clairement localisées en partie basse du canal (sur une hauteur d'environ 19 cm), indiquant la section mouillée la plus fréquente, et ont pris une forme particulière se détachant des parois, s'apparentant à une efflorescence. Cette forme spécifique de concrétions se retrouve également sur les parois du bassin B<sub>1</sub>. Dans le conduit C<sub>3</sub>, le concrétionnement des parois a entraîné un important rétrécissement de la largeur du canal, aboutissant à certains endroits à un affaissement de l'enduit qui recouvrait les piédroits. Ces concrétions paraissent stratifiées et ont formé un "ventre" en partie basse des parois. Les différences observées dans les concrétions des canaux peuvent avoir plusieurs origines : des propriétés distinctes des eaux transportées indiquant des sources différentes pour chacun des aqueducs, des débits et vitesses de transport différents pour chaque canal dans cette partie du tracé, une durée d'utilisation variable selon les conduits, une qualité et une fréquence d'entretien et de curage différentes. Pour discriminer ces différents éléments de compréhension, des analyses biochimiques sont nécessaires<sup>29</sup>.

### Un nouveau regard (R<sub>3</sub>) sur C<sub>1</sub> près de l'entrée de la ville antique

La fouille des années précédentes avait suivi la progression de C<sub>1</sub> vers la ville jusqu'à un point où l'élargissement de la maçonnerie faisait penser à la présence d'un regard, le troisième découvert sur cet aqueduc. Cette lecture a été confirmée, et le regard R<sub>3</sub> exploré en détail, ainsi que le cheminement aval de l'aqueduc. Les résultats sont particulièrement remarquables.

#### *Forme et dimensions*

Le regard R<sub>3</sub> présente en plan (fig. 37) une forme approximativement carrée (largeur intérieure dans l'axe du canal : 1,06 m ; largeur dans l'axe perpendiculaire : 1,08 m). Les murs qui le bordent sont larges de 0,50 à 0,58 m. Il est conservé sur une hauteur maximum de 2,06 m. Le revêtement pariétal d'enduit de tuileau, épais en moyenne de 0,02 m, s'élève du fond du regard jusqu'à 1,20 m. Le fond du canal C<sub>1</sub> se situe à 0,48 m au-dessus du fond de R<sub>3</sub>, dénivellation identique à celle observée en R<sub>2</sub>, ci-dessus. La hauteur de C<sub>1</sub> sous voûte est de 1,04 m. L'épaisseur visible de la voûte varie de 0,20 à 0,34 m. Le diamètre interne de l'arc est de 0,68 m. La largeur de C<sub>1</sub> entre les parois enduites est de 0,52 m. La largeur moyenne des solins situés au bas des parois est de 0,07 m ; ceux-ci s'amenuisent en fuseau à partir de 0,30 m de l'entrée du regard (fig. 38). La hauteur des ressauts latéraux mesurée à partir du fond du conduit est de 0,70 m. Leur largeur moyenne est de 0,08 m. La comparaison avec les mesures prises en R<sub>1</sub> et R<sub>2</sub> donne les résultats suivants : R<sub>3</sub> a la même profondeur sous le fond de C<sub>1</sub> que R<sub>1</sub> et R<sub>2</sub>. Les dimensions en plan de R<sub>3</sub> sont légèrement supérieures. Ces trois regards appartiennent bien à une série cohérente.

#### *État de conservation*

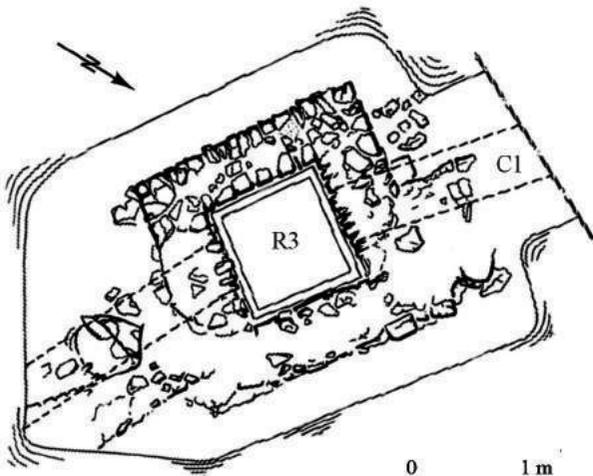
Le regard R<sub>3</sub> est conservé de manière très remarquable, constituant ainsi un observatoire privilégié. Tout juste peut-on signaler une ouverture dans l'enduit pariétal au bas de la face latérale nord-est, ouverture sans doute consécutive à la mise hors service du regard. Le fond de celui-ci présente une forme bombée non uniforme, sans doute due à un décollage de l'enduit. La

28. Voir dans ce volume la contribution de A. Akerraz *et al.*, infra 397-418.

29. Ces analyses ont envisagées dans le cadre d'un partenariat avec des spécialistes tunisiens, sous la responsabilité de Mme L. Bousalmi (CNRS, Tunis).

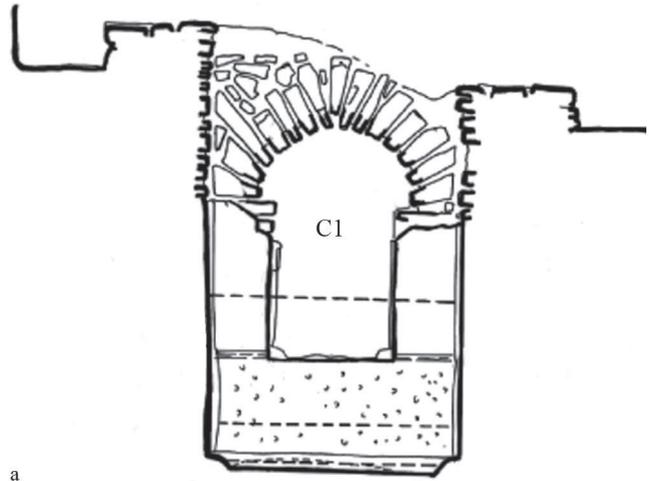


a

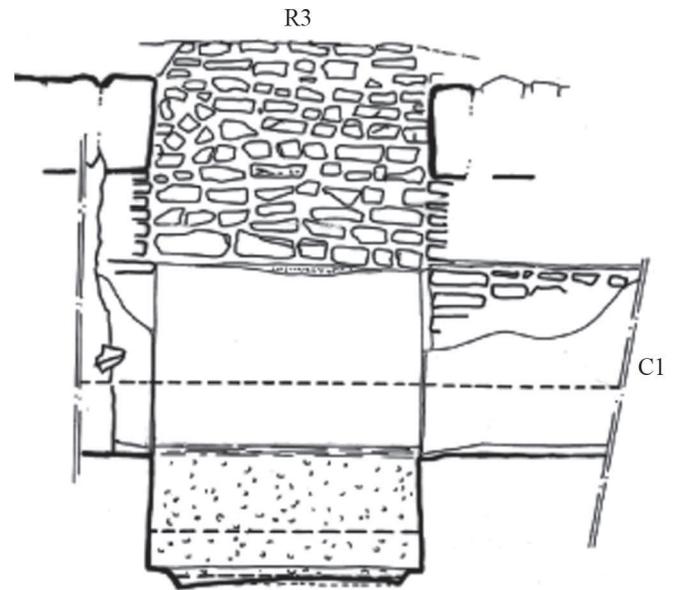


b

Fig. 37. Le regard R3 sur C1. a. Vue ; b. Plan.



a



b

Fig. 38. Le regard R3 sur C1.  
a. Coupe transversale sur R3 ; b. Coupe longitudinale sur R3 et C1.

portion aval de C1, dont l'exploration sera retracée ci-dessous, présente elle aussi un état de conservation exceptionnel, hormis les dommages causés par le comblement à proximité du regard.

### Concrétions

On distingue sur les parois internes du regard deux types de concrétion. L'une est comprise entre le sommet du solin situé au fond de R3 et le fond de C1 : c'est une concrétion de type "statique". L'autre, de type linéaire, située au-dessus de la précédente et haute de 0,05 à 0,06 m, correspond au flux d'eau ayant circulé dans le canal, apparemment jusqu'au niveau supérieur des solins. Au-dessus, aucune trace de concrétion n'a été repérable.



a



b

Fig. 39. L'intérieur du regard R3. a. Ses dépôts ; b. Après nettoyage.

## Comblement de R3 et de C1

La partie supérieure de R3 est comblée par un remplissage de terre meuble, sombre, mêlée de pierres, contenant un matériel peu abondant qui n'est jamais postérieur à l'Antiquité tardive. À partir de 0,77 m du fond de R3 se trouve une couche de comblement inférieure épaisse de 0,55 m environ ; plus claire, plus pierreuse et sableuse, cette unité stratigraphique pauvre en matériel caractéristique contient du mortier à l'état détritiqué, témoignage probable de l'effondrement de la partie haute du regard. Ces deux US se retrouvent à l'intérieur du canal C1, en amont comme en aval du regard, à proximité de celui-ci. Au-dessous et jusqu'à 0,02 m du fond de R3 règne un limon gris très riche en céramique dont plusieurs centaines de tessons ayant appartenu à au moins une vingtaine de vases (fig. 39).

Assez homogène, cette céramique se compose de fragments de cruches et de petites amphores à pâte en général très claire, à couverte tirant parfois sur le verdâtre. Les traces de tournassage sont abondantes tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, où elles ont souvent un effet décoratif. On note la présence d'une cruche presque entière (fig. 40a) haute de 16 cm ; le diamètre externe maximum de la panse est de 9,5 cm, celui du fond de 4,4 cm ; la lèvres, triangulaire, est haute de 1,2 cm. D'autre part, de patients recollages ont reconstitué la moitié supérieure d'une petite amphore (fig. 40b) à panse globulaire et à double anse torsadée, dont l'intérieur de la pâte est de couleur rose brique. La couverte, légèrement verdâtre, est rêche au toucher. La hauteur conservée est de 19,5 cm, le diamètre externe de 20,1 cm. Le diamètre interne du col est de 7,8 cm ; le diamètre externe de 9,5 cm ; la hauteur est de 9,3 cm. Le diamètre des anses est de 2 cm et l'épaisseur moyenne de la paroi de la panse mesure 0,5 cm.

Cet ensemble de vases paraît s'inscrire dans une série de productions locales que les contextes archéologiques datent au plus tard du milieu du II<sup>e</sup> siècle p.C.<sup>30</sup>. Cette chronologie semble fournir un *terminus ante quem* pour l'abandon du regard et du canal C1. Elle sera confirmée ci-dessous. Sur le fond du regard reposait une mince pellicule de limon très fin, compact (ép. max. 2 cm), de couleur jaune clair, contenant très peu de matériel. Il s'agit là vraisemblablement du limon qui s'est formé à l'époque où le canal était en fonction.

30. Ces renseignements ont été fournis par Slim Béchrifia que nous remercions.



Fig. 40. Le mobilier du regard R3. a. Cruche ; b. Vase à deux anses.

### Le canal C1 en amont et en aval de R3

Comme souvent, l'orientation du canal connaît une inflexion pour épouser les contours du terrain à sa jonction avec le regard. La partie amont, dont le tracé est connu depuis la précédente campagne, est en partie effondrée à peu de distance du regard. Elle n'a pu faire l'objet d'une exploration particulière. Les niveaux de remplissage en ce point, dans le regard et en aval sont homogènes à proximité immédiate de R3. En aval, le reste du comblement du regard, qui s'étendait jusqu'à 2,50 m environ à l'intérieur de C1, a été fouillé et dégagé. Audelà, le conduit n'était que partiellement obstrué par un dépôt de limon vraisemblablement postérieur à l'abandon. Son état de conservation en fait un cas exceptionnel dans le monde romain. Le revêtement enduit de la voûte n'avait disparu que sur 4,20 m. Ensuite, il est parfaitement intact (fig. 41), de même que celui des parois et, à un moindre degré, celui des ressauts.

Le tracé de C1 a pu être reconnu sur une distance totale de 35,94 m à partir de R3. Il est rectiligne jusqu'à 21,17 m, et oblique de dix degrés vers la droite à partir de ce point. Il a été retrouvé entièrement obstrué par un mur perpendiculaire épais de 0,50 m, à 27,62 m de R3 (fig. 42). Du côté du regard R3, ce mur n'était pas dressé et son aspect général indiquait clairement qu'il avait été bâti à partir de l'aval du conduit. Sa partie supérieure a été aisément démontée en vue de comprendre son mode de construction. Ce démontage a été facilité par la qualité très médiocre d'une maçonnerie bloquée à la terre et liée au mortier de chaux. L'autre face présentait un parement de moellons disposés en assises régulières. Au-delà, C1 est conservé jusqu'à 7,82 m du parement aval. En ce point, un effondrement de voûte l'a totalement bouché. Ce dernier tronçon exploré présente du côté gauche des coulées de calcite à partir de la voûte, ce qui témoigne d'infiltrations. À 25,98 m de R3, sur la gauche et à 0,16 m sous le ressaut, a été observé un orifice d'une section rectangulaire haut de 0,185 m, large de 0,165 m, profond de 0,65 m. Il traversait donc toute la maçonnerie pour atteindre le rocher contre lequel s'appuyait le mur bordant le conduit. La disposition des



Fig. 41. Vue du canal C1 vers l'aval.



Fig. 42. L'obstruction du canal C1.

moellons formant en ce point linteau et piédroits, ainsi que l'aspect de l'enduit aminci autour de l'orifice, indiquent sans ambiguïté que cet aménagement, dont la fonction n'a encore pu être déterminée, faisait partie du projet initial.

### *Principes constructifs de la voûte de C1*

L'état exceptionnel de conservation de la voûte de C1 a donné l'occasion d'observations très précises et significatives. L'enduit porte en effet, de manière régulière, les traces d'empreinte des planches des cintres de coffrage ayant servi à la construction (cf. fig. 41 et 42), planches larges de 10 à 12 cm. Ainsi ont pu être reconnus pour ce coffrage deux modules principaux de dimension : 1,96 x 0,63 à 0,65 m d'une part, 1,98 x 0,64 à 0,66 m d'autre part. Les différences de largeur constatées entre les deux extrémités de chacun des cintres indiquent donc un coffrage tronconique. Cette disposition avait pour objet de faciliter le déplacement des cintres de coffrage par glissement sur le sommet des piédroits du canal déjà construits, donnant ainsi naissance aux ressauts. Ainsi la construction de la voûte progressait-elle de 2 m en 2 m environ, toujours dans le même sens, du petit diamètre du cintre vers le grand. Cette séquence d'opérations induit dans le revêtement de la voûte, à chaque jonction, la trace d'un décalage de 2 cm environ, décalage égal à la différence de largeur d'une extrémité à l'autre du cintre. Or ce décalage régulier s'inverse dans le secteur de C1 correspondant à son changement de direction. Le constat de cette inversion signale qu'à partir de ce point, deux équipes de maçons sont parties en sens inverse, l'une vers l'amont, l'autre vers l'aval du conduit. Ce résultat est corroboré par le fait que les deux équipes ont utilisé les deux modules de coffrage légèrement différents décrits ci-dessus.

Rappelons que la distance entre les deux regards R1 et R2 sur C1 est de 44 m. Dès lors se présentait l'hypothèse selon laquelle l'inflexion de C1 à 21 m en aval de R3, étant donné les particularités de maçonnerie qu'elle a impliquées, est située approximativement à mi-distance de R3 et du regard suivant, qui reste à découvrir. Toutefois, une hypothèse différente est également à considérer, en relation avec deux autres observations. D'une part, la distance qui sépare le regard R3 de l'effondrement de la voûte dans la partie aval de C1 (35,94 m) représente un *actus* (120 pieds romains), soit la distance souvent observée entre un regard d'aqueduc et le suivant. Le comblement repéré peut ainsi correspondre à la mise hors service et au remplissage d'un regard R4. D'autre part, le mur construit pour obstruer C1 a peut-être un rapport avec l'aménagement d'une nécropole en surface, à peu près à l'aplomb du tronçon mis hors service (cf. ci-dessous). À partir de ces deux observations, on peut se demander si, lors de l'aménagement de la nécropole, le regard R4 et la dernière section de C1, en aval du mur (qu'il faut alors, répétons-le, supposer construit à cette occasion), n'ont pas été utilisés dans le cadre de celle-ci. Dans cette hypothèse, R4 aurait été comblé lorsque la nécropole fut abandonnée.

### Mise en relation avec les structures de surface et précieux indices de chronologie relative

À quelques dizaines de mètres en aval du regard R3, nous avons ouvert une longue tranchée dans le sens de la pente, dont la direction est approximativement est-ouest à cet endroit. Le but était de tenter de repérer le prolongement de C1 et de C3 vers l'aval. Si cet objectif n'a pu être atteint, cela est dû à la découverte, à proximité du tracé de C1 et au-dessus du niveau supérieur de la voûte, d'éléments qui se sont avérés d'une importance capitale (sondage S2, avec élargissements 3 et 4). Le plan

(fig. 43) fait apparaître, sous des constructions tardives fondées dans la terre proche du sol actuel, les vestiges (notamment un mur et un seuil) d'un bâtiment que la stratigraphie date de la deuxième moitié du IV<sup>e</sup> siècle. L'unité stratigraphique 3, couche de terre jaune homogène épaisse en moyenne de 5 cm, qui vient se plaquer contre le mur et le seuil juste au-dessus du niveau de sortie des fondations, correspond au sol de cet édifice. Le matériel céramique caractéristique se compose de cinq tessons de sigillée africaine claire C du III<sup>e</sup> siècle, sans forme identifiable, d'un tesson informe de sigillée africaine D et de deux tessons de sigillée claire africaine C tardive, dont un fond de plat avec départ de panse de forme Hayes 50B, datable de la période 350-400.

La confirmation de cette chronologie est fournie par la terre de remblai sur laquelle était posé le sol de terre jaune. Ce niveau de terre meuble, plus sombre, épais de 40 cm en moyenne, contenait trois tessons de sigillée claire africaine C du III<sup>e</sup> siècle et deux tessons informes de la même céramique remontant au IV<sup>e</sup> siècle. On peut donc dater de cette dernière époque la constitution du remblai. Celui-ci avait lui-même recouvert une partie d'une nécropole, déjà mentionnée, que les délais et les conditions ont empêché de fouiller complètement.

Le sondage 2 recelait à ce niveau deux sépultures : la première, située au nord du sondage et orientée vers l'est, se présente sous la forme d'un sarcophage à inhumation de calcaire incomplètement dégagé, long de plus d'1,50 m ; la seconde, du plus grand intérêt pour notre recherche, recèle une urne ossuaire de pierre entourée d'un dépôt votif constitué de trois pots conservés en entier ou presque, et de rares objets fragmentaires. L'urne de calcaire grossièrement taillée (fig. 44a) est haute de 24 cm ; sa longueur externe est de 35 cm ; sa largeur externe de 32 cm (L. interne 20 cm ; l. interne 18 cm) ; son couvercle est approximativement circulaire, d'un diamètre moyen de 26 cm. Plusieurs vases sont entiers. La grande cruche (fig. 44b,1) est haute de 41 cm ; diamètre de la panse : 21 cm ; diamètre externe du col : 13 cm, diamètre interne 11 cm ; anse large de 5 cm ; diamètre externe du pied : 9 cm ; hauteur du col : 10 cm ; largeur de la lèvre aplatie : 1,5 cm ; débord du bec verseur : 1 cm ; la pâte est fine, de couleur chamois ; la couverte interne et externe est lisse, sans engobe, de couleur beige très clair, et présente des traces de tournassage très visibles. La petite cruche (fig. 44b,2) est haute de 20 cm ; diamètre de la panse : 13 cm ; diamètre du col tronconique variant de 5 à 3 cm ; anse oblique large de 3 cm ; diamètre externe du pied : 6 cm ; hauteur du col : 7 cm ; hauteur de la lèvre évasée : 1 cm ; pâte et couverte, qui présentent des traces de tournassage, sont similaires à celles de la grande cruche, l'une et l'autre appartenant sans aucun doute au même type de production locale de qualité.

Ces éléments céramiques sont datables, selon la chronologie des objets de ce type retenue pour Zama par S. Béchrifia, de la première moitié ou du milieu du II<sup>e</sup> siècle p.C. La coupe de sigillée claire africaine A de forme Hayes 8A (h. 6 cm ; diamètre externe 18 cm ; diamètre externe du pied 8 cm ; h. de la lèvre 1,5 cm) s'inscrit dans la fourchette 75-160 (fig. 44b,3). L'ensemble de ce dépôt est donc datable de la même époque que les éléments du dépotoir du regard R3. Il n'y a pas à s'en étonner, dans la mesure où la nécropole n'a pu s'installer à proximité immédiate de l'aqueduc C1 que lorsque celui-ci eut cessé de fonctionner dans ce secteur. On aboutit ainsi à la reconstitution vraisemblable suivante :

- I<sup>er</sup> siècle ou, au plus tard, début du II<sup>e</sup> siècle p.C. : aménagement et mise en service de C1 ;
- vers le milieu du II<sup>e</sup> siècle au plus tard : mise hors service de C1 dans ce secteur ; le regard R3 sert de dépotoir, C1 est obstrué par un mur transversal ;
- à la même époque ou très peu de temps après : implantation de la nécropole à proximité immédiate du tracé de C1, une nécropole qui réutilise peut-être un regard R4 et le dernier tronçon de C1 précédant ce regard, à partir du mur ;
- dans la première moitié du IV<sup>e</sup> siècle au plus tôt, la nécropole, abandonnée, est recouverte d'un remblai de terre ; R4 aurait alors été comblé ;
- aussitôt après, ou en tout cas assez rapidement, installation d'un bâtiment au-dessus du niveau de remblai ;
- à une date impossible à préciser, mais qui n'est sans doute guère postérieure au V<sup>e</sup> siècle, dernier niveau d'occupation antique.

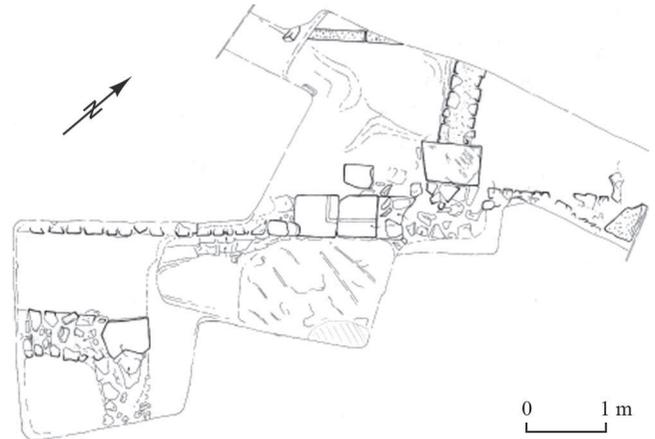


Fig. 43. Les structures bâties et la nécropole au sud de Zama.



Fig. 44. Le dépôt votif (I<sup>er</sup> s. p.C.). a. Urne funéraire et mobilier *in situ* ; b. 1-2. Cruches ; 3. Céramique sigillée africaine A ; 4. Bord de céramique africaine à pâte claire.

## HYPOTHÈSES ET PERSPECTIVES

Brièvement résumés, les apports des campagnes de trois années d'études, en dehors de la mise au jour de l'exceptionnel barrage d'aïn Djebour et de la spectaculaire galerie de captage d'aïn Ben Ali, ont surtout porté sur les tracés d'aqueducs et l'arrivée de l'un d'eux dans la ville antique. Les principales confirmations et découvertes sont les suivantes : les grandes citernes de *Zama* étaient à la fois alimentées, au nord, par l'aqueduc d'aïn Djebour (C4-C6) et par l'aqueduc "haut" (C5) en provenance d'aïn Ben Ali. Ce dernier, au moins en deux points, avait été construit en tranchée ouverte dans la roche naturelle. Le conduit C1 est, quant à lui, le premier en date de tous les aqueducs actuellement connus à *Zama* ; il est nettement antérieur au milieu du I<sup>er</sup> siècle, moment où son tronçon final est définitivement obturé. Si les grandes citernes et les aqueducs qui les alimentent sont bien aménagés, comme nous le proposons, au cours de la première moitié du III<sup>e</sup> siècle, cela laisse subsister un hiatus de plus d'un demi-siècle, hiatus dont la raison devra être expliquée par des études ultérieures. Le problème des circonstances de l'aménagement de C2 "doublant" C1 d'une manière très originale, ainsi que celui de son débouché (B1 ?), devra être reposé dans cette perspective. D'autre part, la dernière campagne de 2004 a été particulièrement riche de remarques sur les techniques constructives de ces aqueducs, en particulier du dernier tronçon de C1, à partir du regard R3, l'un et l'autre retrouvés dans un état de conservation exceptionnel.

Bien d'autres problèmes restent posés, sans même parler des grandes citernes, sur le déversoir desquelles des remarques visuelles ont été faites et des hypothèses de restitution architecturale formulées, qui appelleront confirmation. Quelques-unes de ces questions sont les suivantes : Quelle était la provenance, quel fut le devenir de C3 ? S'agit-il d'une canalisation tardive, en provenance d'un secteur non encore exploré, et destiné à alimenter des parties basses de la ville, où les activités artisanales semblent avoir occupé une place importante ? N'existait-il pas un septième aqueduc, encore non repéré, en provenance d'un autre secteur riche en sources ? Quelles sont les conséquences (fondamentales à ce stade préliminaire de l'exploration urbaine) de la chronologie relative des aqueducs étudiés pour la topographie et l'histoire d'une ville assurément très vaste, très peuplée, très active ?

Des recherches approfondies s'imposent sur le barrage d'aïn Djebour, pour lequel serait importante la participation de plusieurs spécialistes, campagne qui doit parvenir à une exégèse d'ensemble. Des questions sont également à poser, des hypothèses à vérifier en ce qui concerne la disposition, le fonctionnement, l'alimentation et le "déversoir" des grandes citernes de régulation situées à l'entrée de *Zama*, implantée au sein d'un territoire aussi riche que remarquablement maîtrisé par les populations de l'Antiquité.

## ANNEXES

### Annexe 1. Note de méthode pour l'étude du système d'alimentation en eau de la ville romaine de *Zama*

Les études récentes sur les adductions d'eau romaines menées au cours des trente dernières années ont mis en place les grands axes d'une méthodologie appliquée aux structures d'alimentation en eau des agglomérations antiques. Ces derniers constituent des orientations théoriques que les chercheurs doivent adapter aux réalités du terrain de recherche. Ils n'en restent pas moins des outils précieux, bases nécessaires à l'élaboration d'un programme de recherche sur ce type de sujet. Ce sont ces grands axes qui sont résumés ici, appliqués aux réalités de notre cadre de recherche : l'environnement de *Zama*. Ce rappel a le mérite de mettre en évidence l'importance considérable des études qui restent à mener sur ce sujet.

Toute étude d'un ou plusieurs aqueducs tend à répondre à un certain nombre de questions essentielles : d'où vient l'eau ? comment est-elle captée ? où aboutit-elle ? comment est-elle distribuée ? quel tracé suit l'aqueduc ? quelles contraintes physiques doit-il affronter ? de quelle manière les affronte-t-il ? comment est construit le conduit ? quelle est le dénivelé absolu ? quelle est la longueur du conduit ? quelle est sa pente moyenne et différentielle ? quel est le débit moyen et différentiel ? quelle est la vitesse de transport ? quelles sont les traces de correction ? quels sont les aménagements prévus pour la maintenance du conduit ? y a-t-il des marques de dysfonctionnement ? quelles sont les datations liées au canal ?... Pour répondre à ces questions, des orientations précises doivent constituer l'ossature du projet de recherche.

#### *Quelles sources, quels buts ?*

Dès le démarrage d'une recherche en hydraulique antique, il convient de reprendre les données de base dont disposait le concepteur du projet de construction. Pour ce faire, il est nécessaire de recenser toutes les sources d'approvisionnement en eau susceptibles d'alimenter convenablement la ville. Outre les impératifs topographiques (la source doit se trouver suffisamment en surplomb par rapport à la ville), les notions de qualité des eaux, mais surtout de débit et de pérennité des sources sont à prendre en compte. Dans le cas de *Zama*, il est indiscutable que les sources Ben Ali, Slimane et Djebour, connues et exploitées bien avant l'aménagement de l'époque impériale romaine et encore utilisées aujourd'hui, présentent tous les caractères propices à une captation.

Le concepteur d'un aqueduc devait également considérer ce que celui-ci devait desservir. Les besoins en eau d'une ville ou d'un quartier mêlant habitats modestes et ateliers de production ne sont pas les mêmes que ceux d'un quartier résidentiel cosu. De plus, la localisation de la ou des zones à desservir est un paramètre primordial. Dans le cas de *Zama*, il faut imaginer une alimentation différenciée entre les secteurs hauts de la ville, desservis par les adductions C4, C5 liées aux grandes citernes, et les parties basses par les canaux C1, C2, C3 retrouvés dans l'oued Gnadez : la différence altimétrique est de 15 m environ. Il apparaît également que si tous les aqueducs avaient fonctionné en même temps (ce qui reste encore à déterminer dans les détails, mais n'est, au maximum, que partiellement vrai), les besoins de la ville basse auraient pu être considérés comme supérieurs à ceux de la ville haute (au moins trois conduits contre deux qui alimentaient les grandes citernes). Les données complémentaires sur cette question viennent généralement en fin d'opération ou sont fournies par les apports des autres fouilles menées dans l'agglomération. En 2006, l'exploration du système d'adduction d'eau de *Zama* en est restée à ce stade provisoire. Au moins les vraies questions sont-elles désormais posées. Encore faudrait-il connaître le développement de la ville antique et ses multiples extensions.

#### *Quel tracé ?*

Une fois les points de départ et d'arrivée déterminés, le concepteur de l'aqueduc et l'archéologue qui reconstitue sa démarche se posent la même question : en prenant en compte les données géographiques du terrain, comment relier au mieux ces deux points ? Pour y parvenir, il faut également répondre aux exigences de l'acheminement de l'eau par gravité au moyen de canaux maçonnés. La pente doit donc être suffisamment douce pour éviter d'endommager le conduit, mais suffisamment forte pour empêcher la stagnation de l'eau. En prenant en compte ces données, les archéologues déterminent un tracé théorique qui suit les courbes de niveau et s'interrogent sur les possibilités d'amélioration des paramètres hydrauliques

du canal (possibilités de raccourcis en profondeur ou en élévation). Dans le cas de *Zama*, la détermination du tracé théorique pour les aqueducs venant d'ain Ben Ali et d'ain Slimane est plus aisée que dans le cas du conduit venant d'ain Djebour, lequel sillonne une topographie plus complexe. Des éléments ont d'ores et déjà été découverts, puisque plusieurs ouvrages de franchissement jalonnent les tracés. Le manque de données cartographiques précises récentes a imposé d'engager un travail de relevés topographiques systématiques des secteurs susceptibles d'accueillir les canaux.

À la suite de ces réflexions théoriques, l'essentiel des travaux concernant le tracé se résume à de très nombreuses prospections visant à valider et affiner les options de tracé choisies par le concepteur de la canalisation. Le contexte climatique et géomorphologique ainsi que la faible densité de population dans l'environnement actuel de Jama offrent des possibilités de recherche exceptionnelles. En outre, les modifications de la topographie depuis l'Antiquité donnent parfois l'opportunité de localiser facilement les conduits grâce aux oueds qui les ont sectionnés ; dans d'autres cas, elles compliquent les recherches du fait de l'érosion et du colluvionnement. Inversement, la redécouverte du tracé exact des aqueducs permet dans les mêmes cas de mesurer les évolutions du paysage depuis l'époque antique.

### *Quelles caractéristiques techniques ?*

Une fois le tracé, ou des portions de tracé, repérés de manière fiable, la problématique s'oriente vers l'étude technique du système hydraulique. Cette dernière passe par la multiplication des sondages visant à mettre au jour et à relever des tronçons de canalisations afin d'obtenir les informations nécessaires pour élaborer des profils en long, des calculs de pentes, débits et vitesses. Il s'agit en fait d'aboutir à la compréhension de la conception et du fonctionnement du système d'alimentation en eau. Là encore, l'environnement de Jama offre un cadre propice à la constitution d'un corpus de sections et tronçons nombreux ouvrant la voie à une analyse fine des caractéristiques techniques des aqueducs. L'état de conservation exceptionnel de bon nombre des tronçons découverts donne lieu de croire que des données très précises ressortiront d'un examen méthodique d'un maximum de portions de canalisation. En effet, nos recherches ont montré que le système d'adduction de *Zama* était dans un état de conservation très rarement observé ailleurs, et cela des sources aux aboutissements. Les trois sites de sources ont livré des vestiges d'aménagements clairement identifiables et relativement bien conservés, augurant des possibilités de compréhension des systèmes de captage qui ne se rencontrent presque jamais dans le monde romain. Le site de l'agglomération antique étant libre de toute occupation moderne et ayant fourni des vestiges dans un état de conservation des plus intéressants, il n'est pas irréaliste de proposer l'étude des châteaux d'eau et les équipements qui leur sont liés. Or, on le sait, ces structures ne sont que très rarement retrouvées, du moins dans un état autorisant une compréhension satisfaisante de leur fonctionnement.

### *Quelle histoire ?*

Étudier un système d'adduction d'eau fournit certes des informations sur des données purement techniques d'hydraulique. Ces données vont alimenter nos connaissances sur l'histoire des techniques dans l'Antiquité. Mais une problématique fondée sur l'alimentation en eau d'une cité dépasse largement ce cadre. En effet, les aqueducs nous livrent bien souvent leur "vécu" : les traces de réfections, d'anomalies, de phénomènes naturels exceptionnels, les témoignages du travail d'hommes qualifiés (concepteurs, bâtisseurs, personnel d'entretien, etc.). Et ils nous donnent également l'occasion d'appréhender l'histoire de la cité en général. Ils nous donnent des informations sur les transformations qui ont fait naître la nécessité d'une adduction, l'évolution des besoins, des habitudes, des productions et de la consommation d'une population, les agréments et désagréments qu'offre une infrastructure coûteuse et qui nécessitent une maintenance constante, la perception d'un environnement et les transformations de celui-ci, les mutations, extensions et régressions de l'urbanisme : autant d'éléments qui nous font entrer dans le quotidien de la population d'une cité. Ce sont ces réflexions qu'a tendu à mener l'équipe tuniso-française constituée autour de la question de l'alimentation en eau de *Zama*. De premières indications sont désormais disponibles, concernant la chronologie relative et parfois absolue des aqueducs, la complexité d'un système qui a dû fournir en eau des parties très différentes d'une ville elle-même en évolution constante, enfin l'étape majeure dans l'évolution tant de l'hydraulique que de l'urbanisme qu'a représentée selon toute vraisemblance, au début du III<sup>e</sup> siècle, l'aménagement des grandes citernes, avec leur système d'adduction et de régulation.

## Annexe 2. Problèmes de conservation, de valorisation et de formation

L'accord cadre qui a défini les conditions de la participation de la partie française à l'exploration archéologique de *Zama* prévoyait qu'une part substantielle de la tâche à effectuer portât sur les questions de conservation, de mise en valeur et d'appui à la formation d'archéologues tunisiens. Pour atteindre cet objectif, il est évident que nous ne pouvions nous contenter du travail minimum consistant à "reboucher" les sondages et à consolider les structures mises au jour, ce qui fut fait très régulièrement au terme de chaque campagne. C'est pour répondre à cette mission complexe que l'équipe s'est enrichie et diversifiée. À côté d'un spécialiste de la céramique comme A. Vernhet, à côté des compétences et de la pédagogie affirmées de J.-M. Fabre en matière de relevés topographiques, si utiles à la compréhension de l'ensemble du site dans son environnement, à côté de la maîtrise des problèmes hydrauliques affirmée par E. Philippe (cf. ci-dessus, annexe 1), deux autres partenaires se sont joints à nous. C. Darles, spécialiste d'architecture antique, ne s'est pas limité aux relevés et aux réflexions qu'on vient de lire sur les ouvrages d'art ; il a porté son attention sur les questions touchant à la préservation des vestiges et à leur mise en valeur. Pour l'essentiel, ce sont ses remarques et ses conseils qu'on lira ci-dessous. Enfin, J. Mahoudeau, aujourd'hui docteur en archéologie et sciences de la communication, a eu des échanges fructueux non seulement avec les fouilleurs, mais avec l'ensemble des partenaires, notamment dans le cadre du gouvernorat de Siliana, en ce qui concerne les possibilités offertes par les techniques de l'information numérique, plus particulièrement par la production de documents multimédia susceptibles de toucher des publics de formation et d'orientation très diverses. Une première réalisation a été proposée<sup>31</sup>. Nul doute que de tels documents se prêtent particulièrement à mieux poser les questions de préservation et de valorisation sur lesquelles on revient ci-dessous<sup>32</sup>. Nous commencerons par des remarques générales, où nous n'avons pas hésité à marquer par des italiques les suggestions qui nous ont paru les plus importantes : ce sont souvent *les plus urgentes*.

### *Remarques générales. Problèmes de préservation*

- sur les versants où sont implantés des tronçons d'aqueducs, lorsque la pente est forte, il faut *préserver les conduits antiques*. Un bon moyen est de *planter des rangées d'arbres* ou d'arbustes qui maintiennent le terrain en place (comme c'est aujourd'hui le cas des travaux au-dessus d'aïn Djebour) : la coopération avec les responsables territoriaux pourrait ici se révéler très précieuse pour tous ;
- que faire du barrage d'aïn Djebour lui-même ? Il y a, dans l'immédiat, grande *urgence à construire un mur longitudinal* pour empêcher l'oued de continuer à attaquer le barrage ; il paraît opportun également de dévier le cours du torrent en l'éloignant vers l'ouest des vestiges antiques et des alluvions retenues par la paroi ;
- il faut absolument *sauvegarder le barrage lui-même, le seul de ce type, à ce jour, à être bien conservé en Afrique et même dans l'ensemble du monde méditerranéen antique* ;
- à terme, il faudrait étudier la faisabilité d'un barrage moderne en amont qui, tout en laissant intact le patrimoine antique, offrirait aux populations vivant en aval l'opportunité de bénéficier des mêmes avantages que leurs ancêtres de l'Antiquité ;
- on dispose du tracé approximatif des *itinéraires* des principaux aqueducs, la question se pose maintenant de la conservation et de la présentation des tronçons les plus significatifs. Pourquoi ne pas aménager des *sentiers de randonnée* "à la découverte des sources et des aqueducs de Jama" ?
- l'utilisation des multimédia – tel que le document, encore dans un stade d'élaboration préliminaire, présenté en avril 2004, en cours de fouille, au gouvernorat de Siliana – doit, notamment dans le cadre du musée en préparation à Siliana, faire mieux comprendre l'intérêt d'un patrimoine qui, dans toute cette région, constitue un incontestable atout pour le développement : on pourra de plus en plus voir à *Zama* et dans sa région ce qu'on ne pourrait voir *nulle part ailleurs* ;
- enfin la réalisation de modèles réduits en maquette pour chaque ouvrage significatif donnerait au futur musée de Siliana l'occasion de se doter d'un fonds touristique-culturel et pédagogique exhaustif.

31. Voir les *Rapports sur les campagnes de fouille*, remis à l'INP, sous la forme de CDROM.

32. Nous nous sommes régulièrement reportés au mémoire sur *Zama* de Slim Béchrifia (2000). Ce travail pionnier a le mérite de donner à cet objectif un cadre très large. Nos observations, conformément à l'accord cadre, portent plus spécifiquement sur les monuments et aspects du site que nous avons été amenés à étudier. Nous remercions de ses remarques sur le terrain M. Caradant, enseignant à l'ENAT.

## *Observations et suggestions particulières*

### · À propos du pont de l'oued Krafès

Ce qui subsiste encore de cet ouvrage d'art est magnifique. Mais les *pathologies* du monument sont nombreuses et, hélas, significatives : altération de la pierre par l'érosion éolienne et par les intempéries, fractures dans la structure même, dues à des mouvements (oscillations ; tassements différentiels du fait de l'affouillement par le torrent), basculement de la pile 12 vers l'ouest et effet d'arrachement sur la face orientale ; fractures des blocs perpendiculaires aux lits de pose – en continuité des joints montants – ce qui tend à cisailer les piles verticalement. Les claveaux glissent, une fois les arcs disparus.

Le pont, dans son état actuel, manque d'homogénéité par suite de l'indépendance de fait des piles ; le poids de l'édifice ayant diminué, l'effet de masse n'existe plus ; la disparition des arcs enlève à l'édifice toute sa tenue aux effets du vent. Le "vécu" de l'édifice amplifie les détériorations : dégradation par vol des pierres, fréquentation par les troupeaux et les bergers, et circonstance désormais aggravante - la présence trépidante des tracteurs.

L'étude scientifique et technique de l'édifice doit contribuer à la définition de bien des restaurations-consolidations. Le relevé technique pierre à pierre du pont doit être exécuté en vue d'une restitution de l'édifice qui préfigurera sa reconstitution puis son sauvetage.

L'analyse de chaque pierre est nécessaire en vue de comprendre ses altérations et son remplacement éventuel. Pendant ce temps, il est également envisageable d'entreprendre l'étude archéologique de la taille, de la dimension et de la disposition des blocs. Il est aussi nécessaire de localiser les carrières antiques d'où proviennent ces blocs. L'étude physico-chimique des roches utilisées doit être menée afin de déterminer les meilleurs produits nécessaires à leur solidification.

Le choix de la restauration par remplacement de certains blocs paraît dès aujourd'hui le plus judicieux. Cependant, cela nécessite au préalable que tout bloc neuf soit signalé et marqué en tant que tel, que les pierres soient retaillées artisanalement, que les fixations, tirants et autres agrafes soient placés discrètement ou identifiés comme travaux de réfection dûment datés. Le démontage des parties hautes est nécessaire, alors que le rejointoiement des parties basses semble suffisant. Des reprises en sous-œuvre avec accrochage au substrat devront être ponctuellement envisagées.

### Problèmes à résoudre

L'organisation du chantier et sa planification doivent tenir compte des difficultés d'accès, du stockage des matériaux et du gardiennage du site. L'établissement du budget prévisionnel et du montage financier doit aller de pair avec l'établissement d'un cahier des charges qui précise l'installation du chantier, l'approvisionnement des matériaux, la mise en place des engins de levage pour les travaux ainsi que les échafaudages de chaque pile. L'installation d'un atelier de taille traditionnelle de la pierre doit se faire en même temps que la création d'un cycle de formation spécialisée dans la conservation et la sauvegarde des ruines archéologiques avec l'apport pédagogique d'artisans tunisiens qualifiés. Enfin nous pensons que la sauvegarde de cet édifice et sa protection doivent s'accompagner de procédures de protection pour les ouvriers durant le temps du chantier, ainsi que pour les visiteurs dans un avenir proche.

### Chronologie des travaux

Le démontage des parties hautes jusqu'à l'assise qui correspond au départ des arcs du bas doit être impérativement exécuté, d'où la nécessité d'échafaudages et de moyens de levage et de manutention importants. Le stockage des blocs après un plan de dépose autorisera la sélection et la conservation des blocs à remplacer. En sous-œuvre, il s'agit de renforcer le substrat, puis de consolider les assises basses avec mise en œuvre de résine, de mortier ou par remplacement éventuel de blocs. La consolidation des parties basses peut également se faire par des carottages avec insertion de fibres de carbone ou de verre scellées. Il convient de serrer les différentes pièces entre elles à des niveaux ciblés que seuls des calculs précis parviendront à définir. Le rejointoiement des parois avec de la chaux en bourrage assurera la cohésion des joints verticaux qui présentent aujourd'hui le plus de fragilité. Il faut éviter les vides en coulant du mortier liquide tout en gardant les joints en léger retrait. Des tirants et des crampons devront être installés à différents niveaux avant de procéder aux scellements des assises supérieures et des voussoirs.

## Entretien

Quoi qu'il en soit de la restitution de l'édifice, qui doit correspondre à des critères scientifiques autant que techniques, la mise en valeur du site nécessite un suivi de l'édifice au niveau de son comportement vis-à-vis des changements climatiques. Des travaux d'entretien permanents seront nécessaires.

### • Les grandes citernes

L'état des vestiges interdit l'évaluation du mode constructif de ces citernes. N'étant connus que dans leurs parties supérieures, les murs qui supportaient les voûtes de couverture imposantes et monumentales, et bien maintenus actuellement par les sols cultivés, ne pourront que présenter des pathologies délicates lorsque leur exhumation aura lieu. Durant le chantier de fouille (ou les sondages), il sera nécessaire de poser des butons (étais) pour maintenir la poussée des terres.

La position des vestiges à l'entrée du site leur confère une importance toute particulière. C'est le premier monument visible, sur une surface de près d'un demi-hectare, qui doit marquer l'esprit des visiteurs. Comme pour la totalité des édifices de *Zama*, les conditions de leur conservation passent par un contrôle et un aménagement précis de leurs abords, des parcours nécessaires pour leur compréhension et surtout de la végétation, atout coloré mais aussi risque de dégradation rapide.

Grâce aux documents de travail multimédia, il est possible de proposer des restitutions tridimensionnelles de cet ensemble monumental. Ces restitutions devront être validées par les sondages, mais peuvent également se présenter sous forme d'hypothèses analogiquement référées à des exemples locaux ou plus lointains au sein de l'Empire romain.

### • Le barrage d'aïn Djebour

L'essentiel a été dit plus haut, au chapitre des observations générales. En ce qui concerne les préoccupations d'entretien, l'ouvrage est en relativement bon état pour ce qui touche la partie conservée. Les pierres se desquament lentement, un renforcement de ces pierres donnerait une chance de sauver le parement et faire reculer la dégradation due au climat et à ses intempéries. Cet entretien permanent devrait contribuer à enrayer les phénomènes de dégradation.

## Multimédia

La mise en place d'un scénario qui explique le fonctionnement de l'ouvrage sur la base du captage, de la retenue puis de l'évacuation de l'eau par un trop-plein et par l'aqueduc, peut tout à fait se prêter à un montage informatique donnant la possibilité, par calques superposés, de faire évoluer virtuellement le bâtiment au fil du temps. Ce travail n'a été qu'amorcé.

## Restauration – consolidation

La sauvegarde du barrage proprement dit pourra également passer par un décaissement de 70 cm environ des alluvions, ce qui permettrait de voir l'édifice par l'arrière. Un talutage par plateaux vers le torrent dégagerait également le départ de l'aqueduc qui doit être consolidé par l'érection en sous-œuvre d'un blocage maçonné complémentaire. Il s'agit avant tout de renforcer la coupe "stratigraphique" afin qu'elle ne se détériore pas plus lors des crues de printemps. Cette entreprise de consolidation passe dans un premier temps par la protection de la base des couches de limon et d'alluvions déposées lors du comblement progressif de l'ouvrage une fois la conduite de l'aqueduc colmatée. Un mur bahut en maçonnerie de moyen appareil ou de simples gabions (leur poids, leur transport et leur mise en place posent cependant quelques problèmes) peuvent très bien convenir si le lit de l'oued est très légèrement détourné vers l'est de manière à éviter les étranglements et les remous. Il est nécessaire de remettre en place les blocs déplacés et d'éloigner tous ceux dont la position dans l'ouvrage est incertaine.

### • Le pont proche d'aïn Djebour

## Restauration – consolidation

L'ouvrage est difficile d'accès. De nombreux blocs peuvent être étudiés et replacés dans une anastylose de principe. Il s'agit avant tout de démonter certaines parties supérieures et de consolider l'arrière- bec et les fondations du soubassement de la pile de la rive droite. Des aménagements du terrain naturel sont nécessaires, après un dégagement des blocs issus de la destruction de l'ouvrage.

### Mise en valeur et entretien

Le pont est facilement visible depuis la piste et accessible avec de simples aménagements de la colline. On peut envisager la reconstruction de plusieurs piles en partie ou en totalité. La mise en sécurité des visiteurs (et des ouvriers) doit s'accompagner d'un effort d'entretien et de balisage du site et de son accès.

### PISTES FINALES DE RÉFLEXION

Là encore, l'usage des multimédia aide à poser les bonnes questions : ces outils peuvent en effet intéresser aussi bien les chercheurs (en contribuant à formaliser les hypothèses et les conclusions) que les décideurs (pour imaginer et gérer les projets), les touristes et les scolaires (pour faire comprendre et sensibiliser au patrimoine).

Le projet d'un musée régional à Siliana doit aller de pair avec l'aménagement du site de *Zama*. Les collections présentées en ce lieu font espérer un phénomène de va-et-vient entre le site et les objets<sup>33</sup>. Ce musée a pour vocation d'inciter les visiteurs, par la présentation de plans, de modèles réduits, de documents audio-visuels, et par la mise en évidence de circuits balisés, à venir découvrir les sites majeurs de la ville de *Zama* et des alentours. Les collections accompagneront, dans le futur bâtiment, les réserves du mobilier archéologique et des blocs architecturaux, ainsi que des locaux destinés à l'étude et à la recherche. Des logements temporaires pour les archéologues pourraient être prévus. Il semble enfin nécessaire de rattacher toute cette présentation du passé antique local à la richesse de l'artisanat régional présent, à ses productions et à ses savoir-faire.

Peut-on concevoir un circuit touristique fondé sur les sites antiques (*Dougga*, *Bulla Regia*, Le Kef, Makhtar, *Zama*...) plus particulièrement fondé sur le rôle de l'eau ? Il s'agit localement de préparer des chemins d'accès aux différents sites, choisis pour des raisons scientifiques et pour leur intérêt didactique. Comment et pourquoi faire venir des touristes sur les points forts du système d'approvisionnement en eau de *Zama* ? D'une telle démarche, plusieurs retombées positives sont à attendre. On se contentera, au terme de cette première approche, d'observer qu'elles engagent toutes le domaine de la formation, qu'il s'agisse de l'artisanat du patrimoine, de l'archéologie du territoire et des ressources hydrauliques, de l'architecture antique. Les scolaires sont concernés au premier chef par cette entreprise, mais aussi ceux qui suivent des études supérieures relevant du tourisme, du patrimoine, de l'économie de l'eau et de l'environnement durable.

## Références bibliographiques

### Source antique

Acta purgationis Felicis, episcopi Autumnitani, in : S. Optati Milevitani libri 7 : accedunt decem Monumenta vetera ad Donatistarum Historiam pertinentia, éd. Ziwsa, C., CSEL 26, Pragae-Vindobonae-Lipsiae 1893 ; rééd. an. New York-Londres, 1972, 197-204.

### Ouvrages et articles

Agusta-Boularot, S. et J.-L. Paillet (1998) : "Le barrage et l'aqueduc occidental de *Glanum* : le premier barrage-voûte de l'histoire des techniques ? (Saint-Rémy-de-Provence, Bouches-du-Rhône, France)", in : Gros, éd. 1998, 125-141.

Baklouti, H. (2013) : "L'eau à Dougga (Thugga) : les citernes dites d'Aïn Ed-Doura : étude archéologique", *Africa*, 23, 103-142.

33. Un diplôme en architecture a été réalisé sur cette problématique par le regretté Jean Carvaillo à l'EAT de Toulouse en 2010.

- Baratte, F., C. J. Robin et E. Rocca, éd. (2014) : *Regards croisés d'Orient et d'Occident : les barrages dans l'Antiquité tardive, Actes du colloque, Paris, 7-8 janvier 2011*, Orient & Méditerranée 14, Paris.
- Barraud, D., J.-C. Golvin, L. Maurin *et al.* (1998) : Les environs immédiats d'Oudhna", in : Ben Hassen & Maurin, dir. 1998, 171-207.
- Bartoloni, P. et A. Ferjaoui (2002) : "Zama Regia", in : Corda, dir. 2002, 109-125.
- Béchrifia, S. (2000) : *Projet pour la conservation du site de Zama*, mémoire de DESS, université de Tunis 1 la Manouba (dir. M. Gharbi et A. Ferjaoui).
- Ben Hassen, H. et L. Maurin, dir. (1998) : *Oudhna (Uthina). La redécouverte d'une ville antique de Tunisie*, Ausonius Mémoires 2, Bordeaux.
- (2004) : *Oudhna (Uthina), colonie de vétérans de la XIII<sup>e</sup> légion. Histoire, urbanisme, fouilles et mise en valeur des monuments*, Ausonius Mémoires 13, Bordeaux.
- Bouet, A. et F. Verdin, éd. (2005) : *Territoires et paysages de l'âge du Fer au Moyen Âge : mélanges offerts à Philippe Leveau*, Ausonius Mémoires 16, Bordeaux.
- Cagnat, R. et H. Saladin [1886], Baratte F., éd. (2005) : *Voyage en Tunisie*, CTHS Format 56, Paris.
- Chouchane, A. (1997) : *Recherches sur l'alimentation publique en eau des villes de Zeugitane à partir des travaux de Paul Gauckler*, mémoire de DEA, université Bordeaux-Montaigne.
- Chouchane, A. et P. Texier, J.-C. Golvin coll. (2004) : "La reconnaissance des aqueducs d'Oudhna (1998-2000). Les caractères d'ensemble du réseau", in : Ben Hassen & Maurin, dir. 2004, 181-218.
- Corda, A.M., dir. (2002) : *Uomo, territorio, ambiente. La cooperazione italo-tunisina nel settore archeologico*, INP-Tunis, Ambasciata d'Italia a Tunisi, Tunis, Cagliari, Sassari.
- De Vos Raaijmakers, M., R. Attoui et A. Battisti, dir., M. Boeijen coll. (2013) : *Rus Africanum, II - le paysage rural antique autour de Dougga : l'aqueduc Aïn Hammam-Thugga, cartographie et relevés*, Bibliotheca Archaeologica 34, Bari.
- Ferjaoui, A., J.-M. Paillet et C. Darles, J.-L. Bordes coll (2014) : "L'approvisionnement en eau de Zama (Tunisie). Le barrage d'Aïn Jebour", in : Baratte *et al.*, éd. 2014, 139-164.
- Gauckler, P., dir. (1897-1912) : *Enquête sur les installations hydrauliques romaines en Tunisie*, Tunis, 1 (1897-1901), 2 (1902-1912).
- Gorges, J.-G. et C. Rico (1999) : "Barrages ruraux d'époque romaine en moyenne vallée du Guadiana", in : Gorges & Rodríguez Martín, éd. 1999, 157-195.
- Gorges J.-G. et F. G. Rodríguez Martín, éd. (1999) : *Économie et territoire en Lusitanie romaine*, Casa de Velázquez 65, Madrid.
- Gros, P., éd. (1998) : *Villes et campagnes en Gaule romaine, Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, 120, Aix-en-Provence, 23-29 octobre 1995*, CTHS, Paris.
- Khanoussi, M. et A. Mastino, dir. (1997) : *Uchi Maius 1. Scavi e ricerca epigrafica in Tunisia*, Sassari.
- Lacoste, Y. et C. Lacoste-Dujardin, éd. (1991) : *L'état du Maghreb*, Paris.
- Mahjoubi, A., Belkhoja, K., Ennabli, A. et H. Slim (2003) : *Tunisie. L'Antiquité*, Tunis, Sud Éditions.
- Paillet, J.-M., A. Ferjaoui, É. Philippe et A. Vernhet (2005) : "D'Hannibal à Scipion (202 a.C.) à la belle femme de Jama (2002 p.C.), le problème de l'eau vu par la légende et l'archéologie", in : Bouet & Verdin, éd. 2005, 257-258.
- Slim, H., A. Mahjoubi, K. Belkhoja et A. Ennabli (2003) : *Histoire générale de la Tunisie, I. L'Antiquité*, Tunis.
- Tixeront, J. (1953) : *Introduction à l'alimentation en eau des villes de Tunisie*, Régence de Tunis, Direction des Travaux Publics, Études d'Hydraulique et d'Hydrologie 1, Tunis.

