



HAL
open science

Les aqueducs de Volubilis et leurs captages : approches archéologiques, géoarchéologiques et géophysiques

Aomar Akerraz, Véronique Brouquier-Reddé, Abdelilah Dekayir, Stéphane Desruelles, Daniel Hermitte, Jean-Claude Parisot, M'Hamed Alilou, Jean-Baptiste Houal, Mohamed Rouai, Brahim Sidi Cheikh, et al.

► To cite this version:

Aomar Akerraz, Véronique Brouquier-Reddé, Abdelilah Dekayir, Stéphane Desruelles, Daniel Hermitte, et al.. Les aqueducs de Volubilis et leurs captages : approches archéologiques, géoarchéologiques et géophysiques. Véronique Brouquier-Reddé, Frédéric Hurlet. L'eau dans les villes du Maghreb et leur territoire à l'époque romaine, 54, Ausonius Editions, pp.397-418, 2018, Mémoires, 9782356132307. halshs-02068746

HAL Id: halshs-02068746

<https://shs.hal.science/halshs-02068746>

Submitted on 2 Sep 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les aqueducs de *Volubilis* et leurs captages : approches archéologiques, géoarchéologiques et géophysiques

Aomar Akerraz, Véronique Brouquier-Reddé, Abdelilah Dekayir,
Stéphane Desruelles, Daniel Hermitte, Jean-Claude Parisot, M'hamed Alilou,
Jean-Baptiste Houal, Mohamed Rouai, Brahim Sidi Cheikh, El Mehdi Benyassine

Au pied des pentes du massif du Zerhoun, plusieurs sources sont reconnues au niveau de contacts géologiques, entre les calcaires gréseux jurassiques et les calcaires bioclastiques miocènes, et dans le Miocène entre les calcaires bioclastiques et les marnes bleues à une altitude autour de 400-430 m (fig. 1). La source Fertassa (débit médian en 2009-2010 : 4,8 l/s), la plus proche de la cité, à 600-700 m à l'est de *Volubilis* alimente très probablement l'un des aqueducs. L'hypothèse d'un captage d'autres sources, localisées entre 3 et 5 km restait à vérifier¹ : au nord, aïn Schkor (débit médian en 2009-2010 : 16,5 l/s) ; ou au sud, aïn Laqsar, la source du Ksar² (9 l/s, le 3/10/1963), aïn Walili, la source de *Volubilis* (débit médian en 2009-2010 : 2,1 l/s) ou encore aïn Jemjma (10 l/s le 3/10/1963) (fig. 2). Trois d'entre elles, Fertassa, Schkor, Jemjma, ont, encore aujourd'hui, un fort débit (tableau 1).

Date	aïn Fertassa	aïn Walili	aïn Schkor
1/12/2009	2,3	0,9	4,3
1/01/2010	5,9	2,2	12,2
1/02/2010	18,2	11,0	25,6
1/03/2010	12,7	3,1	17,4
1/04/2010	10,8	2,6	17,3
1/05/2010	9,5	2,6	17,2
1/06/2010	7,5	2,4	17,2
1/07/2010	4,8	1,8	16,5
1/08/2010	4,4	1,6	15,2
1/09/2010	2,9	1,7	15,8
1/10/2010	2,6	2,1	16,8
1/11/2010	2,7		4,4
1/12/2010	2,9		5,0

Tableau 1. Mesures de débit en litre/seconde (*EauMaghreb*).

1. Nos recherches maroco-françaises ont été menées dans le cadre l'ANR *EauMaghreb* (ANR-07-BLAN-10732) avec le soutien de l'INSAP, de l'université de Meknès, du CEREGE, d'AOrOc (UMR 8546, CNRS-ENS-PSL) et du programme "Identités et spécificités des cultures d'Afrique antique" du labex TransferS (programme Investissements d'avenir ANR-10-IDEX-0001-02 PSL* et ANR-10-LABX-0099) de l'ENS-Collège de France / université Paris Sciences & Lettres. E. Rocca, CDD CNRS puis CDD ENS de ces programmes a intégré les données sur le SIG de la carte archéologique du Maroc antique.

2. C'est la source du Ksar, ce qui sous-entend Ksar Pharaon qui est l'un des toponymes de *Volubilis*, cf. infra.

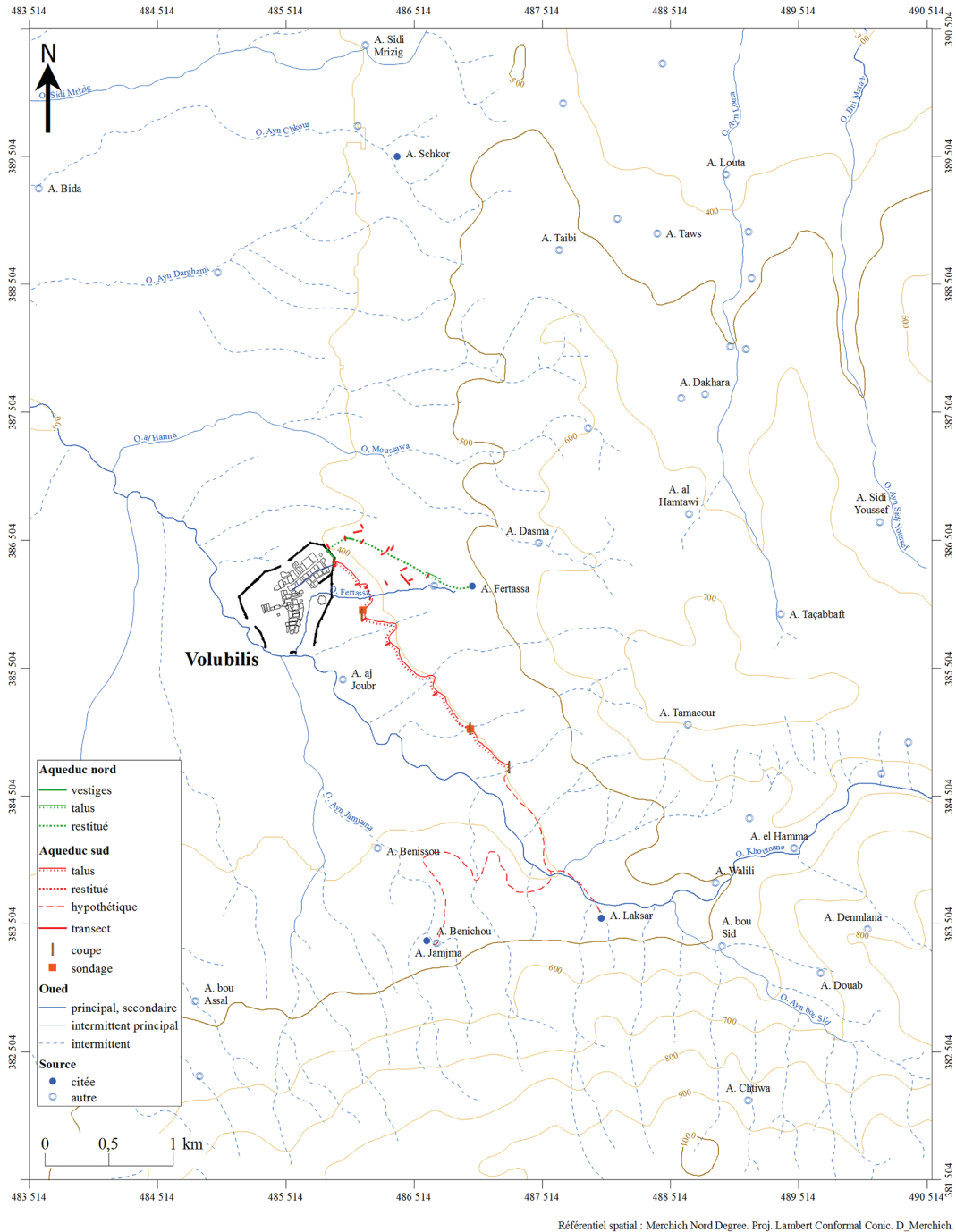


Fig. 1. Localisation des sources autour de Volubilis (EauMaghreb : SIG E. Rocca).



a



d



b



e



c



f

Fig. 2. Les principales sources autour de Volubilis (*EauMaghreb*).
a. Fertassa ; b. Schkor, emplacement du captage antique ;
c. Schkor, aménagement antique ; d. Jemjma ; e. Laqsar ; f. Walili.

HISTORIQUE

L'identification des vestiges de l'aqueduc de *Volubilis* et son lieu de captage, aïn Fertassa intervient dès les premiers travaux archéologiques menés, entre 1888 et 1890, par Henri de La Martinière³. Louis Chatelain⁴ repère en 1915 le château d'eau à proximité de la tour B₃ de l'enceinte urbaine. Le captage proposé est également celui d'aïn Fertassa, situé à la cote 470 m. Cette hypothèse est reprise par Raymond Thouvenot⁵ en 1947. Seul Paul Berthier⁶ émet en 1938 la possibilité d'alimentation par d'autres captages. Puis Robert Étienne entreprend en 1948, 1949 et 1953 l'étude de l'aqueduc et du réseau hydraulique dans ses ouvrages consacrés au *Quartier nord-est*⁷. Il s'intéresse plus particulièrement à l'arrivée de l'eau aux abords du château d'eau et de l'enceinte urbaine et met en évidence l'existence de trois aqueducs⁸ (fig. 3).

L'aqueduc nord dit III, à l'extérieur de l'enceinte urbaine et au nord de la Porte de Tanger, est composé d'une maçonnerie large de 1,50 m avec une canalisation de 0,50 m recouverte de grandes dalles en calcaire, posées horizontalement (fig. 4a). La structure affleure par endroits. La source du captage n'était pas localisée. Un simple tuyau de plomb postérieur à l'enceinte la traversait (fig. 4b et c). Selon R. Étienne⁹, la position de ce canal nord, placé "près du point le plus élevé du site, laisse croire que d'autres sources étaient captées, toujours sur le flanc sud du jebel Bou Kenfoud" ; il considérait que le captage n'était pas celui de l'aïn Fertassa.

Au sud-est, deux aqueducs sud I et II ont été identifiés à l'extérieur du rempart urbain et au nord de la tour B₃ de l'enceinte urbaine (fig. 5 et 6,C₁). La structure II maçonnée et voûtée (de 1,25 m de hauteur sur une fondation de 0,50 m) est large de 1,20 m, la canalisation mesure 27-30 cm¹⁰ (fig. 7). La structure affleure ; elle est caractérisée par une rupture de pente recouverte d'une haie de doums et d'agaves¹¹ (fig. 8). Cet aqueduc sud II était raccordé, selon R. Étienne et ses successeurs¹², à la source de Fertassa. Il est longé au nord, au niveau bas du fond du canal (soit à 1,25 m sous le sol actuel), par une seconde structure I large de 73 cm et recouverte par des dalles de calcaire ; la canalisation mesure 23 cm de largeur et 15 cm de hauteur¹³ (cf. fig. 7a).

Une nouvelle branche sud de l'aqueduc en direction de Moulay Idriss est suivie sur plus d'un kilomètre en 1956 ; il s'agit vraisemblablement de la rupture de pente au sud de la route d'accès au site¹⁴ (fig. 9 et 20). Plus au sud, Armand Luquet signale à 2 km au sud-est de *Volubilis* la présence d'un aqueduc¹⁵ "secondaire, orienté nord-sud" qui a été découvert lors de sondages, effectués entre 1961 et 1964 (fig. 6,S₂) ; cet ouvrage se dirigerait, selon le fouilleur, vers l'une des *uillae*, située à 3 km au sud-est de *Volubilis*. Cette information mal localisée ne fut pas recherchée, ni retrouvée lors des prospections pédestres postérieures¹⁶. Suite à des crues importantes de l'un des ravins au sud-est du site, qui ont fait rouler des blocs en grand appareil dont une pierre à quatre logements d'huilerie, M. Alilou a repéré en 2005, dans la coupe d'un ravin (fig. 6,C₃ ; cf. fig. 21), les vestiges d'une canalisation large de 40 cm ; la maçonnerie est conservée sur une hauteur de 2 m avec une fondation de 1,40 m de large : il s'agit certainement des vestiges antiques signalés par A. Luquet, car la trace d'un sondage est encore visible sur la rive sud du

3. La Martinière 1912, 40.

4. Chatelain 1919, 440 ; *Id.* 1920, 158 ; *Id.* 1921 ; *Id.* [1944] 1968, 154.

5. Thouvenot 1941-1942, 281 ; 1949, 45-46 ; *Id.* 1950, 63.

6. Berthier 1938, 38.

7. Étienne 1954, 168-211 ; *Id.* 1960, 17-23.

8. Étienne (1960, 17-19), repris par Euzennat 1989, 235.

9. Étienne 1960, 19.

10. *Ibid.*, 18 et n. 2.

11. Ce tracé entre l'enceinte et la route d'accès principale du site est indiqué sur les cartes topographiques au 1/50 000^e et au 1/25 000^e.

12. Des études historiographiques ont repris, sans aucune vérification, cette hypothèse. Citons notamment celles de É. Lenoir (2009, 79) et de L. Pons Pujol et L. G. Lagóstena Barrios (2010, 535-537).

13. Étienne 1960, 18.

14. Le talus est visible entre T₁₅ et T₁₇ (cf. fig. 20).

15. Khatib 1964, 362 ; repris par R. Laporte (1974, 195).

16. La mission de prospection du Bassin du Sebou (dir. A. Akerraz et R. Rebuffat) n'effectua, entre 1982 et 1992, aucune prospection le long de l'aqueduc. A. Akerraz et son équipe avaient entrepris, en 2003, une reconnaissance de l'aqueduc mais sans suivre cette branche sud.



Fig. 3. Plan des aqueducs urbains de Volubilis (Étienne 1960, pl. II).



a



a



b

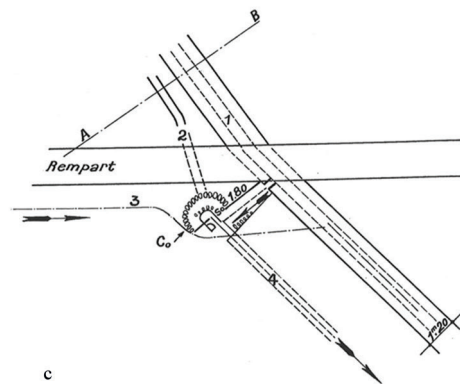


b



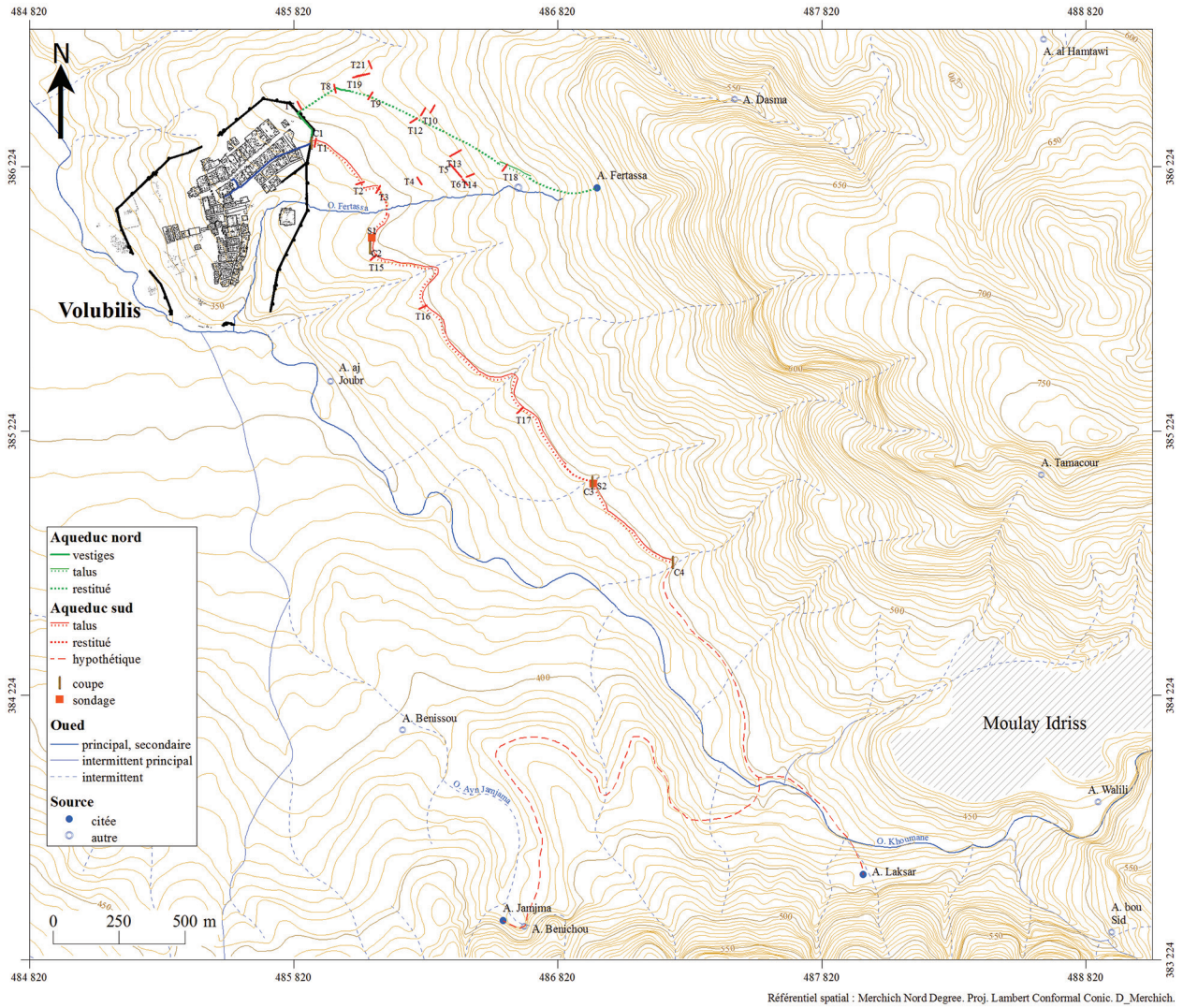
c

Fig. 4. L'aqueduc nord III. a. À l'est de la porte de Tanger, les dalles de couverture affleurent ; à l'arrière-plan, le minaret de la mosquée indique l'emplacement de l'aïn Fertassa ; b. L'enceinte urbaine et le bloc en grand appareil qui supportait le tuyau ; c. L'empreinte du tuyau en plomb sur la dalle (*EauMaghreb*).



c

Fig. 5. L'arrivée des deux aqueducs sud I et II au château d'eau. a. Vue externe ; b. Vue interne avec le raccordement de l'aqueduc III nord (*EauMaghreb*) ; c. Plan (Étienne 1960, pl. xxx,2).



ravin (fig. 6,S2). Une autre maçonnerie semblable a également été repérée à la même époque par M. Alilou dans un autre ravin plus au sud (fig. 6,C4 ; cf. fig. 22) : il s'agit d'un *specus* moins bien conservé¹⁷.

Vers 2000, la conservation de Volubilis met en évidence, à l'occasion de travaux d'installation d'un nouveau réseau d'eau, la présence d'un des aqueducs sur la rive gauche de l'oued Fertassa au nord de la route d'accès au site (fig. 6,S1). La maçonnerie est large de 1,70 m, la canalisation mesure 38 cm. La structure est marquée par une haie (agaves) et une rupture de pente (fig. 10), elle est peu profonde sous le sol actuel.

L'alimentation en eau de la cité de Volubilis serait donc essentiellement assurée par trois aqueducs. La canalisation III de l'aqueduc nord longe l'intérieur de l'enceinte sur une centaine de mètres jusqu'au château d'eau, installé à l'intérieur de

17. Ces deux coupes du *specus* ont été examinées en 2010.

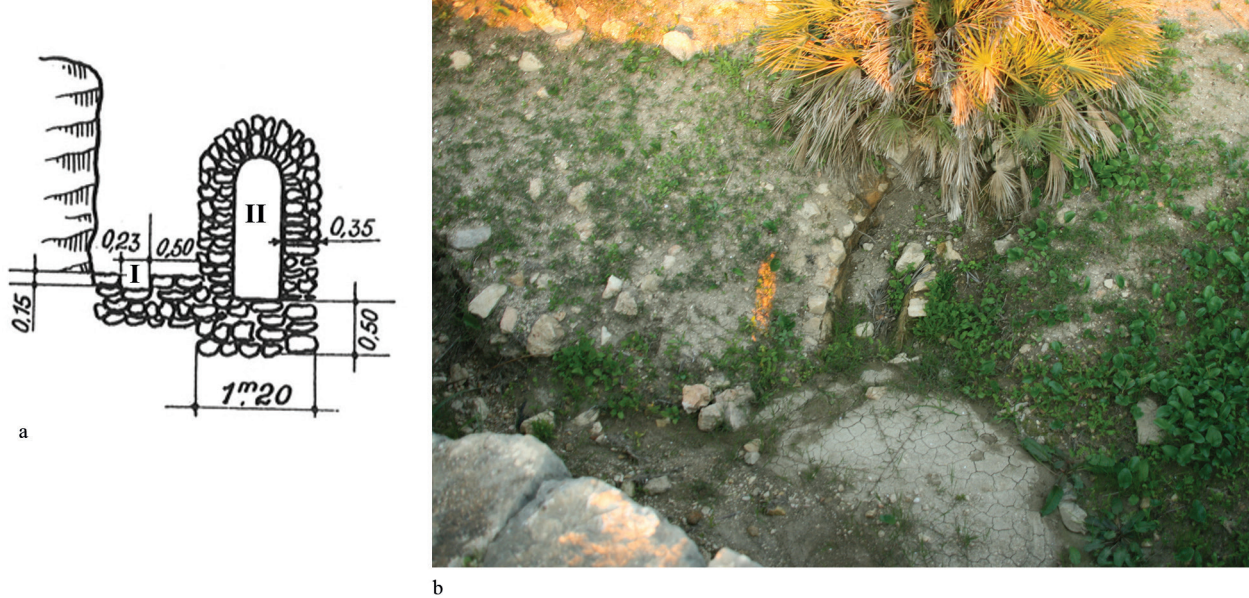


Fig. 7. Les deux aqueducs sud I et II à l'extérieur de l'enceinte urbaine. a. Coupe (Étienne 1960, pl. xxx,2) ; b. État 2010 (*EauMaghreb*).

l'enceinte¹⁸ (fig. 3 et 5b et c). Les deux canalisations I et II sud sont également branchées sur le même château d'eau (fig. 5 b et c). En aval, les vestiges de la section aérienne¹⁹, bien conservés, sont alignés nord-est/sud-ouest ; nous y reviendrons ultérieurement.

L'équipe pluri-disciplinaire du programme ANR *EauMaghreb* s'intéressa tout naturellement au tracé extérieur des aqueducs et à l'identification des captages. Quelles sources alimentaient la cité ? La prospection pédestre n'était pas suffisante pour reconnaître avec certitude les sections enterrées. Plusieurs tracés étaient envisagés, au nord vers aïn Schkor, à l'est, le long de la rive droite de l'oued Fertassa, et vers le sud il restait à raccorder les deux tronçons identifiés. Quelles étaient les relations entre les sources et les trois tracés ? La prospection géophysique s'avérait la méthode la mieux adaptée²⁰, les données archéologiques et les observations des images satellitaires consultables sur l'application Google Earth ayant permis d'orienter l'implantation des profils de mesure.

LA PROSPECTION GÉOPHYSIQUE

La méthode géophysique a été employée pour acquérir des indices qui précisent les tracés des aqueducs et si possible pour identifier les sources captées en relation avec ceux-ci.

Principe

La tomographie de résistivité électrique (TRE) est une méthode non destructrice d'analyse, qui permet d'imager en 2D (ou 3D) les variations de résistivité électrique du sous-sol. La résistivité, qui calcule la capacité d'un matériau à supporter au passage d'un courant électrique, est déduite de la mesure de la différence de potentiel entre deux électrodes après injection d'un courant électrique de faible intensité par un autre couple d'électrode, l'ensemble formant un quadripôle. La technique tomographique consiste à planter soixante-quatre électrodes équidistantes et à faire varier la position et l'espacement de ces

18. Étienne 1960, 19 : aqueduc III.

19. Étienne 1960, 18 : aqueducs I et II.

20. Les aqueducs traversent des terrains privés cultivés ou plantés, ce qui rend plus difficile l'implantation de sondages.

quadripôles selon les différentes combinaisons possibles²¹. On obtient ainsi des valeurs de résistivités apparentes correspondant à différentes profondeurs et positions. La profondeur d'investigation et la taille des objets imagés sont proportionnelles à l'espacement inter électrodes.

Une modélisation par inversion est nécessaire pour obtenir une image exploitable de la distribution des résistivités réelles en chaque point de mesure. Ce traitement est effectué à l'aide du logiciel RES2DINV²². L'image obtenue est une représentation en coupe et en continu des variations de résistivités des terrains traversés. L'analyse de celle-ci permet d'identifier et de localiser des matériaux présentant des différences de nature géoélectrique. Cette méthode est particulièrement bien adaptée pour mettre en évidence des objets enfouis, comme des murs, présentant des contrastes de résistivité importants avec le matériel encaissant. Cependant, s'agissant d'une méthode indirecte d'investigation, l'interprétation des résultats doit être couplée à des observations annexes et confirmée par sondage.

Mise en place du dispositif

Compte tenu des dimensions des vestiges observés dans la cité, environ 1,50 m en largeur comme en hauteur, et de la faible profondeur d'enfouissement, un espacement inter électrodes de 0,50 m permettant une bonne résolution des objets recherchés sur une extension de 31,50 m avec une profondeur d'investigation maximale d'environ 4 m a été mis en œuvre. Les profils de tomographie de résistivité électrique ont été implantés perpendiculairement à l'axe supposé de la construction en s'éloignant progressivement des deux sections reconnues : l'une au nord de la Porte de Tanger et l'autre au nord-est de la tour B3, près du château d'eau. La présence de moellons et de quelques dalles pouvant provenir de la couverture ainsi que d'anomalies topographiques, talus et rupture de pente, ont guidé le positionnement des profils. Au total, vingt-et-un profils ont été réalisés (fig. 6,T). Afin de valider les mesures, deux profils de référence ont été implantés à moins de 5 m des sections sondées des trois aqueducs (fig. 6,T1 et T7 et fig. 11). Ils ont mis en évidence des anomalies résistives supérieures à 50 Ω .m présentant un bon contraste avec l'encaissant. L'image obtenue est en accord avec celle de blocs calcaires dans une matrice argileuse et, compte tenu de leur taille et de leur position, ces anomalies ne peuvent être attribuées qu'aux vestiges d'aqueducs. La troisième canalisation – l'aqueduc sud I –, identifiée par R. Étienne²³, de dimensions très réduites, n'apparaît pas sur le profil au nord de l'aqueduc II (fig. 11,b).

LES RÉSULTATS

L'aqueduc nord III et le captage de l'aïn Fertassa

Dans ce secteur, aucune rupture de pente n'est visible ; seules quelques dalles de couverture de l'aqueduc nord III affleurent. Trois profils (T7, 8 et 9) effectués à l'est de l'enceinte et au nord de la "route d'accès nord"²⁴ à la ville (fig. 12) présentent des anomalies résistives bien définies, dont les dimensions (1,50 m de hauteur et 2 m de largeur), la position et les valeurs de résistivité sont parfaitement compatibles avec une construction de type aqueduc. L'emplacement des anomalies indique une inflexion vers l'est de l'ouvrage hydraulique. Deux profils effectués au sud de cette route d'accès à la porte nord et à l'ouest de la route nationale 13 menant du col du Zegotta à Moulay Idriss, T12 à 12,50 m (fig. 13) et T13 à 24 m (fig. 14b) présentent des anomalies ténues qui pourraient être interprétées comme des reliques très démantelées d'un ouvrage à la suite, par exemple, d'une exploitation agricole pendant une longue période. En effet, ceux-ci sont à l'aplomb d'une ligne de cailloutis affleurant dans le champ (fig. 14a), l'anomalie à 24 m en T13 s'enracine légèrement et le chapelet d'anomalies subarrondies pourrait correspondre à l'étalement des matériaux issus du démantèlement d'une ancienne route ou d'un ancien chemin, visible sur une image satellite prise dans les années 1950. Les niveaux résistants observés en surface en T14 (fig. 14c) et entre 0 et 16 m en T13 sont interprétés comme un horizon colluvial, voire à des déblais liés à la construction de la route.

21. Le matériel utilisé est composé d'un boîtier d'acquisition ABEM SAS4000, d'un système sélecteur d'électrodes LUND ES1064C, d'un jeu de deux câbles munis chacun de 32 prises.

22. Loke & Barker 1996.

23. Supra, note 13.

24. Cette route moderne mène à la Porte de Tanger.



a



b

Fig. 8. Le talus de l'aqueduc sud II au nord-est de l'enceinte urbaine entre T1 et T2.
a. Vue vers le sud-est ; b. Vue vers le nord-ouest (*EauMaghreb*).

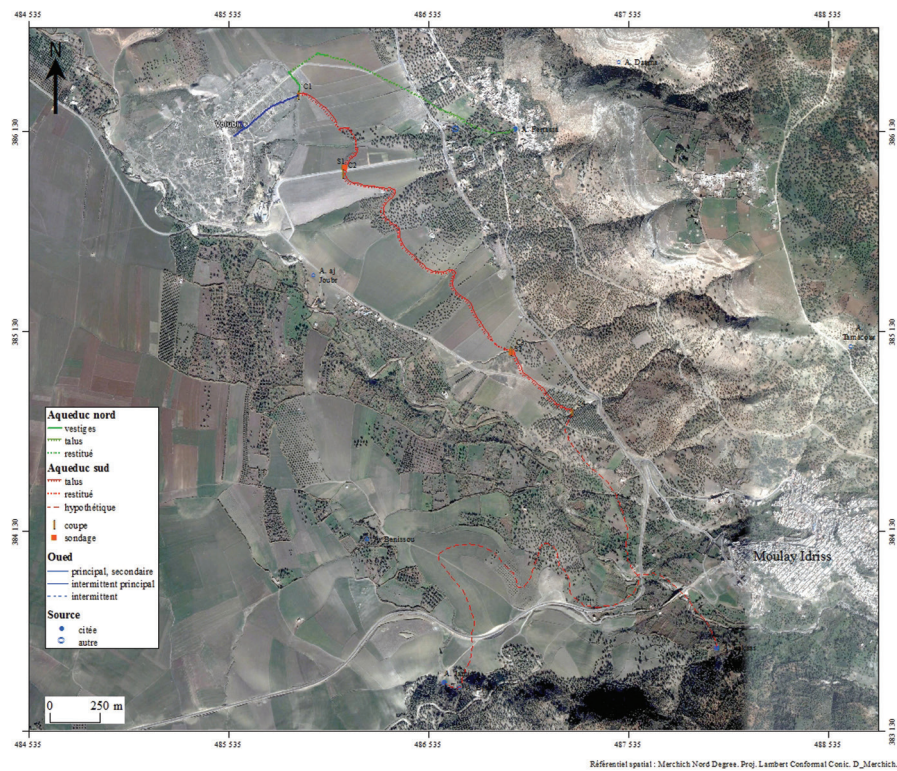
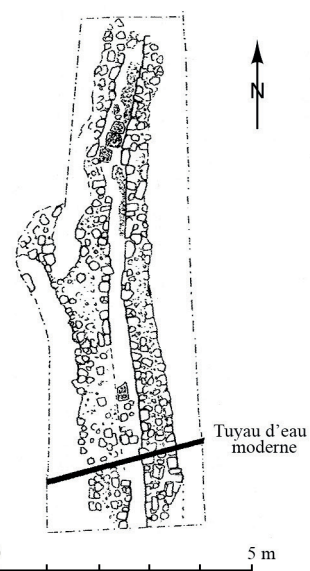


Fig. 9. Les tracés des aqueducs de Volubilis recalés sur l'image satellitaire (Google Earth).



a



b

Fig. 10. Le talus de l'aqueduc sud II au nord de la route d'accès au site.
a. Vue (*EauMaghreb*) ; b. Sondage S1 (M. Alilou, 2004, archives Conservation de Volubilis).

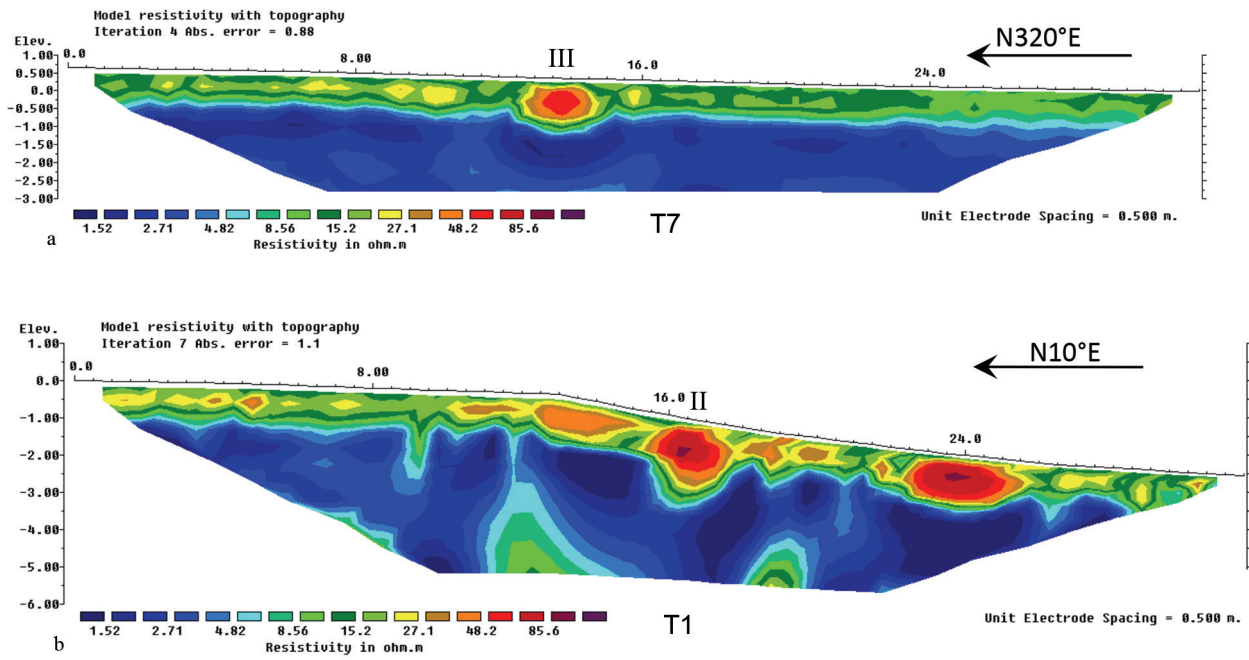


Fig. 11. Les profils de référence des aqueducs nord et sud. a. Aqueduc nord III en T7 ; b. Aqueduc II sud en T1 (*EauMaghreb*).

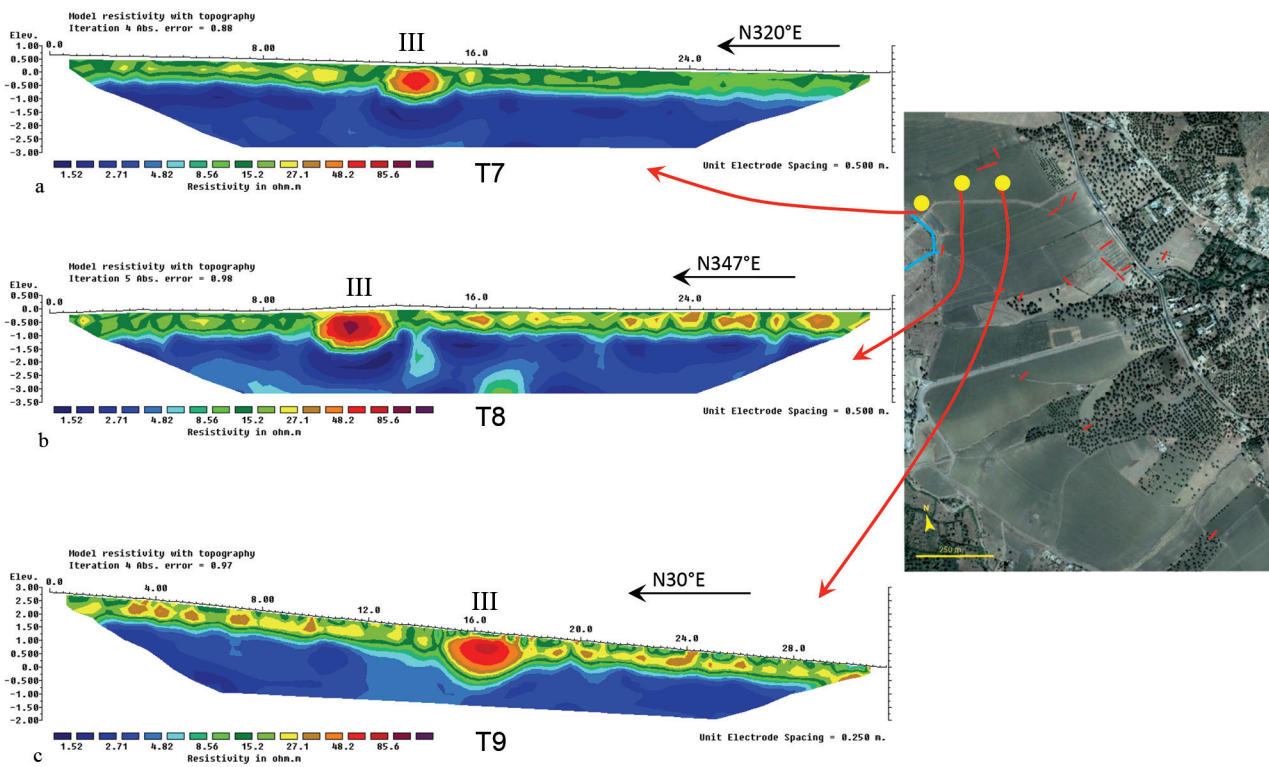


Fig. 12. L'aqueduc nord III. Les profils T7 (a), T8 (b) et T9 (c) montrent des anomalies résistives compatibles avec une construction de type aqueduc (*EauMaghreb*).

Fig. 13. L'aqueduc nord III. Le profil T12 montre une anomalie ténue d'un ouvrage détruit (*EauMaghreb*).

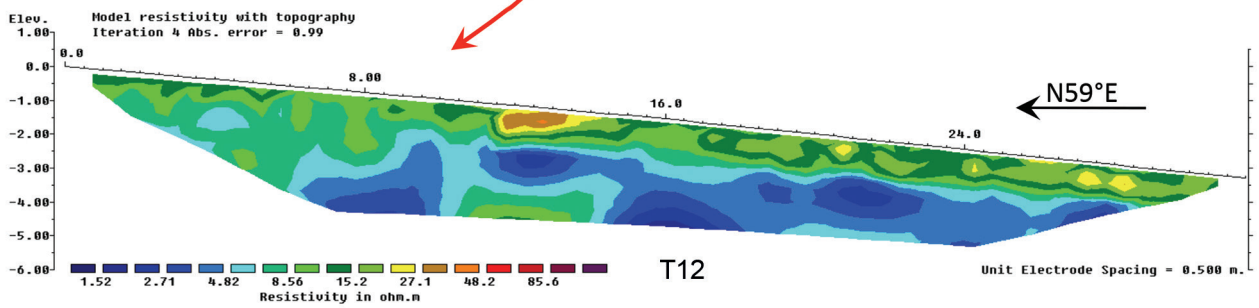
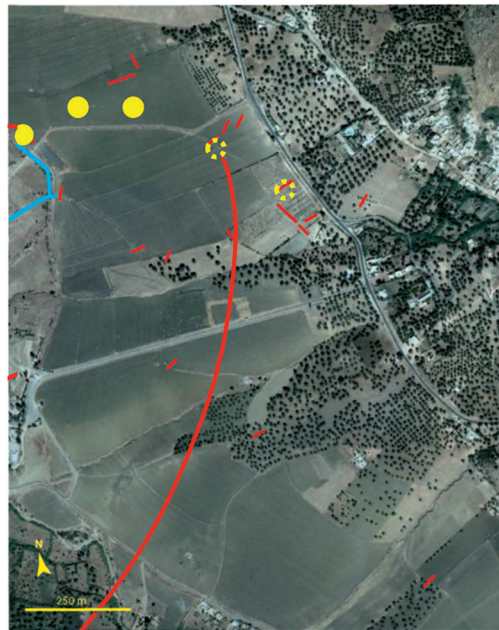
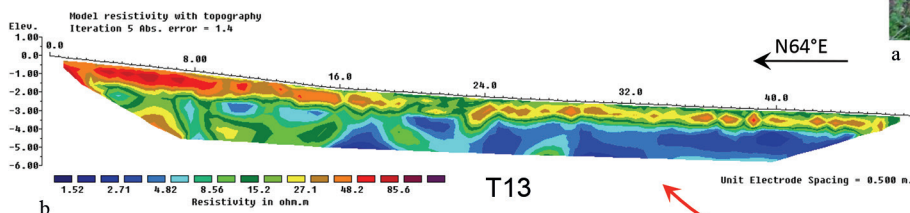
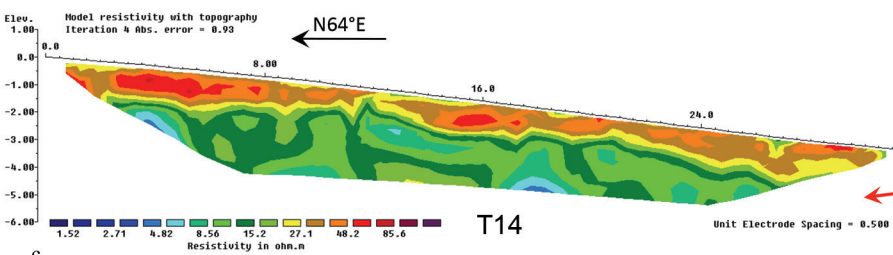


Fig. 14. L'aqueduc nord III. a. Colluvions ; b. Le profil T13 montre une faible anomalie d'une construction démantelée ; c. T14 : colluvions ou déblais (*EauMaghreb*).



b



c



L'examen des images satellitaires a révélé un talus orienté nord-ouest/sud-est à l'est de la route nationale 13 ; un contrôle au sol confirma la présence d'une importante rupture de pente qui s'étendait sur plusieurs dizaines de mètres (fig. 15a). T18 (fig. 15b) recoupe ce bourrelet au pied duquel on note, à 16 m, une anomalie très bien marquée présentant les mêmes caractéristiques que celles observées au nord de la route d'accès à la cité (T 7, 8 et 9). La reconstruction d'un tracé passant par les différentes anomalies observées indique que cette branche de l'aqueduc capterait en fait la source Fertassa, ce qui modifie complètement l'hypothèse émise par R. Étienne²⁵.

Si des incertitudes de positionnement subsistent sur environ 200 m en raison d'un parcellaire divisé et du couvert végétal (entre T9 et T18 ; fig. 6 et 9), il est très probable que l'aqueduc nord III capte la source Fertassa²⁶. Son tracé d'une longueur de 1,258 km est orienté nord-ouest/sud-est, puis s'infléchit vers l'ouest jusqu'à l'enceinte urbaine.

Dans le champ au nord de la "route d'accès nord", une voussure dans la topographie pouvait laisser suspecter la présence d'un embranchement partant vers le nord (en direction d'aïn Schkor). Le profil T19 (fig. 16b) montre effectivement à 38 m une anomalie de résistivité peu marquée. T20 (fig. 16c) détaille cette anomalie, qui apparaît à 18,5 m, dont la morphologie laisserait plutôt supposer une structure de drainage. Enfin T21 (fig. 16a), qui a été implanté perpendiculairement à une petite rupture de pente, ne présente pas d'anomalie susceptible d'être attribuée à une construction. La prospection pédestre n'a pas permis de repérer des anomalies susceptibles d'être testées avec cette méthode. Les données relatives à l'existence d'un aqueduc alimenté par l'aïn Schkor²⁷ sont encore lacunaires ; si cette source, à la cote 410 m était captée pour desservir *Volubilis*, le tracé éventuel de celui-ci se situerait à l'emplacement de la route moderne.

L'aqueduc sud II et le captage des sources sud

L'hypothèse admise jusqu'à présent était que l'aqueduc sud II soit connecté à la source Fertassa ; son emplacement était indiqué par une rupture de pente séparant deux champs, mais son tracé demeurait hypothétique, le long de la rive droite de l'oued Fertassa ou sur le replat plus au sud. La rupture de pente est bien marquée entre les profils T1 et T4 (cf. fig. 8). T1 est implanté à environ 3 m à l'extérieur de l'enceinte, perpendiculairement à la direction supposée. Il présente à 16,50 m une anomalie résistive bien marquée dont les dimensions (2,50 m de large et 1,80 m de haut) et les valeurs de résistivité ($> 50 \Omega.m$) sont en accord avec celles de l'aqueduc sud II (fig. 17). Une autre anomalie résistive ayant les mêmes caractéristiques est notée sur ce profil à 24 m (plus au sud) ; elle est très probablement la marque de vestiges anthropiques qu'il serait intéressant d'identifier. En revanche la canalisation sud I, repérée par R. Étienne²⁸, n'apparaît pas au nord. On retrouve des anomalies comparables pouvant être associées à des vestiges plus ou moins démantelés de l'aqueduc, à 7,50 m en T2 et à 4 m en T3 (fig. 17). Ce dernier montre entre 20 et 29 m un important ensemble résistif. L'utilisation d'une autre échelle de couleur (T3b) différencie deux fortes anomalies ($> 200 \Omega.m$) subarrondies à 25 et 27 m. L'origine, anthropique ou naturelle, de ces anomalies reste à identifier.

Bien que de faible intensité et de morphologie mal définie, l'anomalie observée en T4 entre 14,50 et 18,50 m pourrait éventuellement être attribuée à des vestiges très démantelés d'une construction (fig. 18a). Le chapelet d'anomalies observées en aval plaiderait en faveur de cette possibilité. En T5 (fig. 18b), l'horizon résistif de surface est à relier à l'horizon colluvial repéré en amont en T13 et T14. Il est très probable que l'anomalie subarrondie observée à 22 m fasse partie de cette même formation colluviale, ce qu'un sondage pourrait permettre de confirmer. Aucune trace n'apparaît en T6²⁹ (fig. 18c). Il ressort de ces mesures que l'hypothèse d'une connexion de l'aqueduc sud à la source Fertassa est très improbable.

Aucun vestige pour franchir l'oued Fertassa (fig. 6) n'est actuellement visible en surface ; l'ouvrage antique n'a sans doute pas résisté aux crues soudaines. En revanche le talus se poursuit vers le sud selon un tracé serpentiniforme.

25. Étienne 1960, 19.

26. Le captage antique n'est plus visible en raison des réaménagements modernes ; le dernier a eu lieu en 1951.

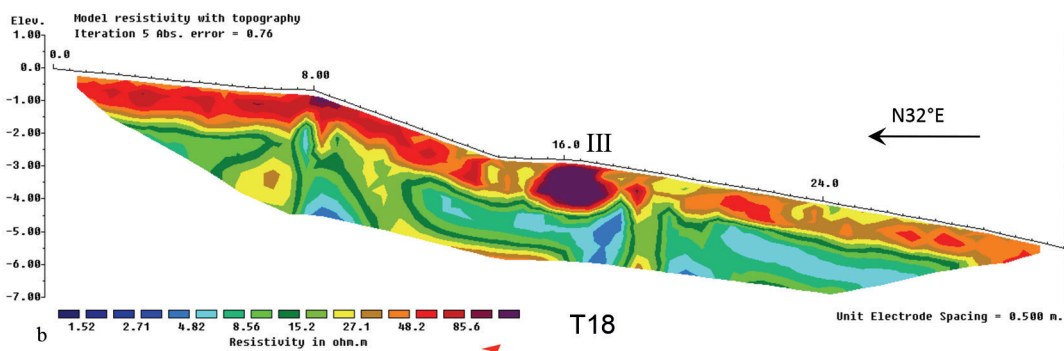
27. Le camp romain et l'agglomération utilisaient ce captage.

28. Supra note 13.

29. La minuscule anomalie résistive visible à 16,50 m correspond exactement à un regard bétonné moderne observé sur le terrain.



a



b



Fig. 15. L'aqueduc nord III vers l'ain Fertassa en T18.
 a. La rupture de pente indique son tracé ; b. Le profil T18 révèle des anomalies résistives compatibles avec une construction de type aqueduc (*EauMaghreb*).

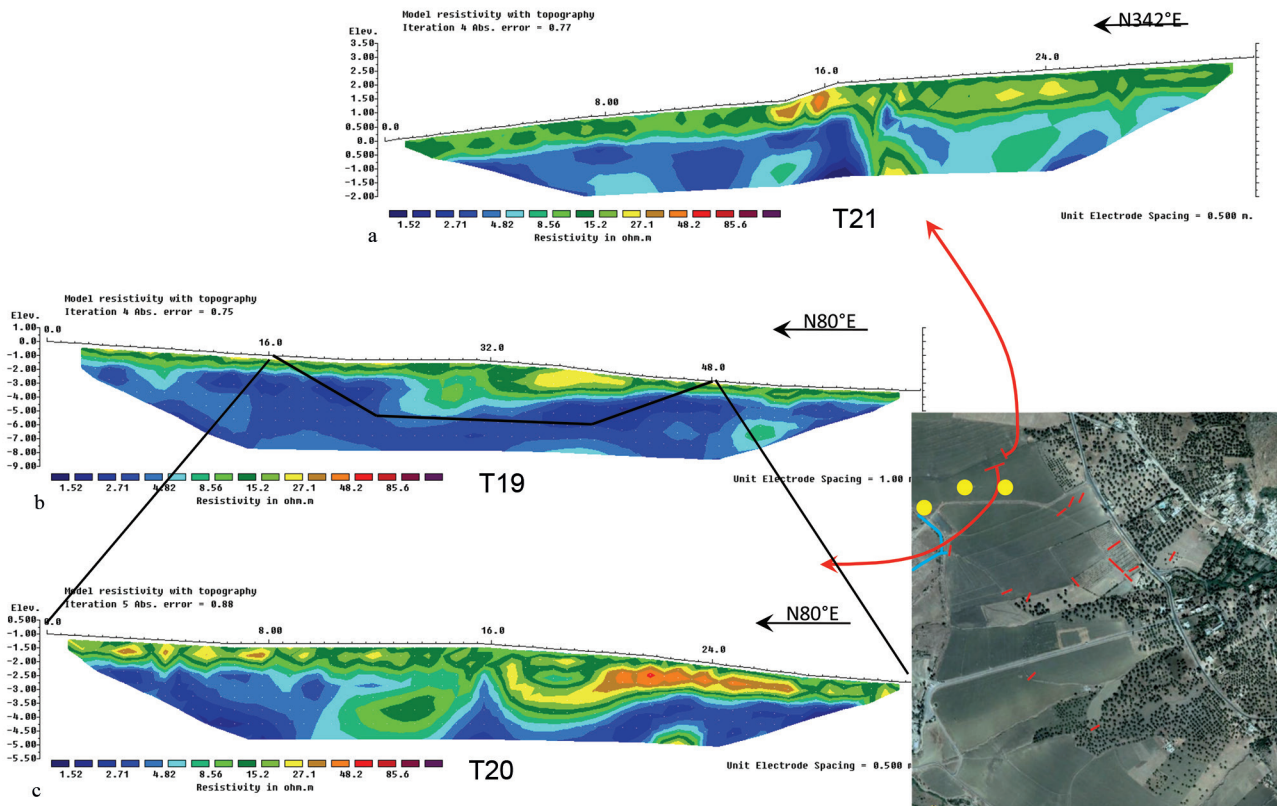


Fig. 16. L'aqueduc nord, recherche vers le nord en direction d'aïn Schkor.
a. T21 ; b. Le profil T19 montre une anomalie peu marquée ; c. T20 (EauMaghreb).

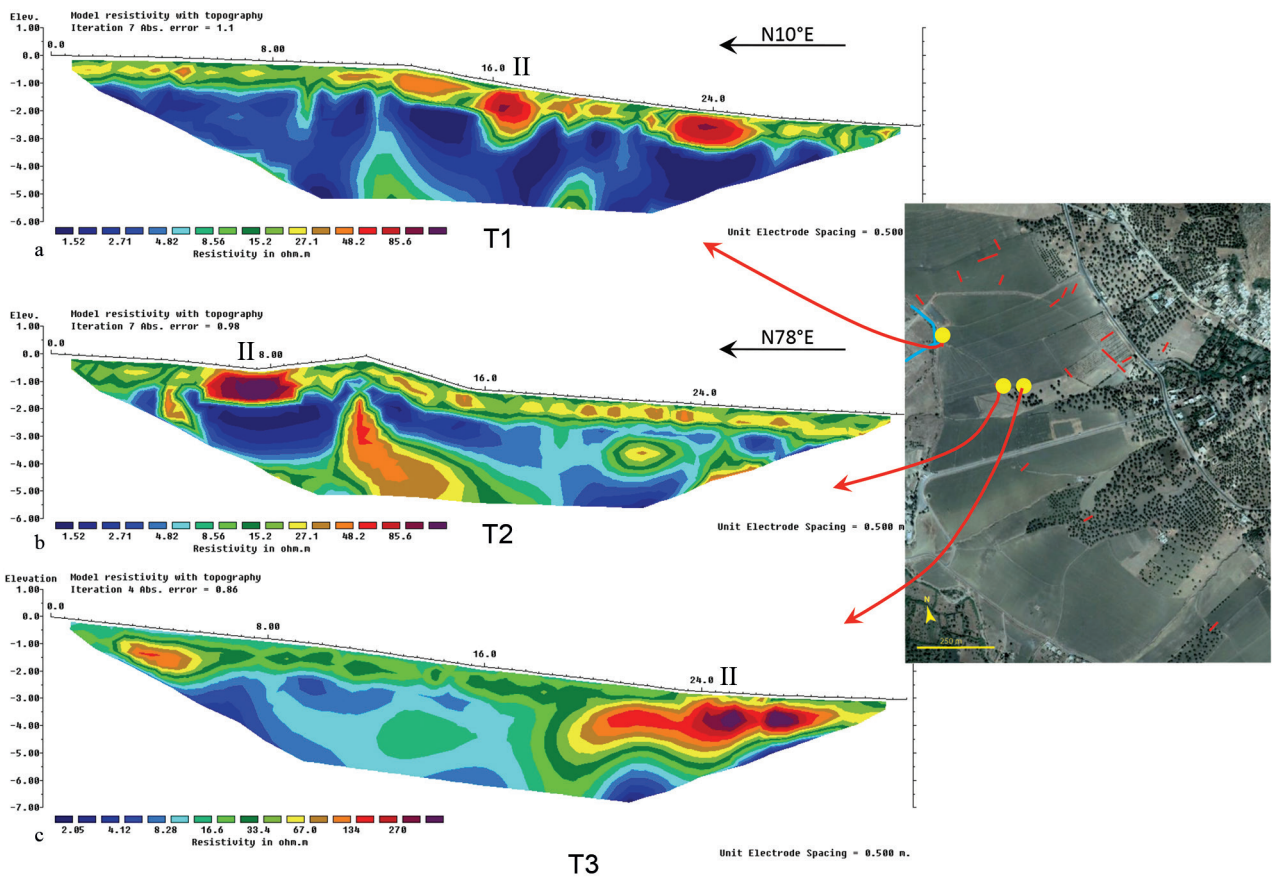


Fig. 17. L'aqueduc sud II, à l'est de l'enceinte urbaine. Les profils T1, T2 et T3 montrent une anomalie de résistivité correspondant à l'aqueduc (à droite), une autre anomalie révèle la présence d'une autre structure anthropique non identifiée (à gauche). Suivant l'échelle de couleur, l'anomalie apparaît plus ou moins en T3a et T3b (EauMaghreb).

Au sud de la rive gauche de cet oued et à 7 m au nord de la route d'accès principale au site, les vestiges enterrés d'un aqueduc avaient été observés en 2004 par la Conservation de *Volubilis* à l'emplacement de la rupture de pente à la cote 395 m³⁰ (cf. fig. 6,S1 ; fig. 10b), ce qui ajoute un indice archéologique à la restitution du tracé.

À quelques dizaines de mètres plus loin et au sud de la "route d'accès principale" au site de *Volubilis*, on observe sur l'image satellitaire et sur le terrain la même rupture de pente qui suit approximativement la courbe de niveau 395 m (fig. 9 et 18). Les trois profils qui recoupent cette rupture de pente sur environ 1 km montrent tous une anomalie résistive nette respectivement à 11 m (T15), à 14 m (T16) et à 8,50 m (T17) dont la géométrie et les valeurs de résistivité sont parfaitement compatibles avec des vestiges de construction (fig. 18 et 19). La présence de l'aqueduc a été confirmée³¹ lors du creusement d'une tranchée récente (fig. 6,C2), à proximité de T15. Les deux piédroits du *specus*, large de 50 cm, sont conservés sur 24 cm de hauteur (fig. 19c). T16 présente au-delà de 24 m un important ensemble résistif³². Au delà, on peut suivre facilement le tracé en suivant le talus qui recouvre l'aqueduc sud (fig. 20). À 400 m au sud de T17, des vestiges de l'aqueduc bien conservés sur une hauteur de 2 m, sont visibles dans le ravin d'un oued saisonnier (fig. 6,C3) et au nord du sondage d'A. Luquet déjà signalé (fig. 6,S2) : le *specus* mesure 42 cm de largeur et les piédroits sur au moins 1,30 et 1,50 m de hauteur ; leur largeur varie entre 44 et 50 cm. La structure observée (fig. 21), montrant des éléments construits et des blocs de démantèlement en aval, est en parfait accord avec l'image obtenue par tomographie de résistivité électrique. Une coupe du *specus* (l. 54 cm) est apparente 500 m plus au sud dans le ravin d'un oued saisonnier de moindre importance (fig. 6,C4 ; fig. 22).

La continuité de cet aqueduc sud, le long de la cote d'altitude 395 m, est donc vérifiée par tomographie de résistivité électrique ou par observations archéologiques directes sur une distance de 2,432 km au sud de la ville. L'ouvrage hydraulique se dirige en suivant un tracé serpentiniforme vers la vallée de l'oued Khoumane qu'il doit obligatoirement traverser car aucune source n'est, aujourd'hui, connue sur la rive droite, à l'est de l'aïn Fertassa. Le lieu des eaux captées par cet aqueduc demeurait donc à identifier avec certitude sur sa rive gauche. Les sources candidates étaient Walili (cote 420 m) et Laqsar (cote 485 m) en raison des toponymes qui font référence à *Volubilis*, appelée Walili en arabe ou Ksar Pharaoun depuis au moins le xvi^e siècle. Une autre source qui pourrait avoir été captée dans l'Antiquité et qui alimente actuellement le village de Bou Assel est Jemjma, située à la cote 430/450 m ; son débit est très abondant. Quelques blocs repérés en 2017 dans les jardins à proximité de la source Laqsar³³ pourraient appartenir à l'aqueduc ou au captage antique. Le franchissement de l'oued Khoumane nécessitait la construction d'un ouvrage d'art qui n'a pas résisté à ses crues souvent violentes. La longueur totale de l'aqueduc sud serait de 4,732 km jusqu'à l'aïn Laqsar et 5,789 km jusqu'à l'aïn Jemjma. L'ouvrage s'infléchit vers l'ouest juste avant le rempart urbain. On note souvent plusieurs captages de source pour alimenter un aqueduc. On remarque une certaine symétrie des aqueducs nord et sud avant de franchir l'ouvrage défensif : il s'agit sans doute d'une raison technique.

Ces résultats modifient complètement les hypothèses de tracés et de captages de sources et remettent en cause "la doctrine presque immuable de l'adduction venue de Fertassa"³⁴, établie depuis 1912 et la chronologie des canalisations alimentant la cité. On peut envisager l'hypothèse de plusieurs étapes dans la construction des aqueducs. Dans un premier temps la source Fertassa, la plus proche, alimenterait uniquement la ville par l'aqueduc nord (si la présence de vestiges était confirmée à l'emplacement de l'anomalie à 22 m de T5, la chronologie serait modifiée). Le besoin en eau étant croissant en raison de l'augmentation de la population ou de la baisse de débit, l'une des sources ou plusieurs situées plus au sud sont captées et approvisionnent la ville par l'aqueduc sud car peu de puits et de citernes sont recensés à *Volubilis*³⁵.

30. Inédit.

31. Observation faite lors du suivi de réseau par M. Alilou en 2010.

32. Très probablement lié à la "matte" d'un olivier situé un mètre à l'est de l'extrémité du profil.

33. Observation faite en janvier 2018 par M. Alilou.

34. Étienne 1954, 172 ; *Id.* 1960, 17.

35. On compte deux puits et des citernes domestiques, mais aucune citerne collective : Euzennat 1989, 235 et n. 162 ; Lenoir 2009, 77 et 79. La présence de citernes est bien attestée à *Lixus* en Tingitane, à Dougga ou à Oudhna en Proconsulaire.

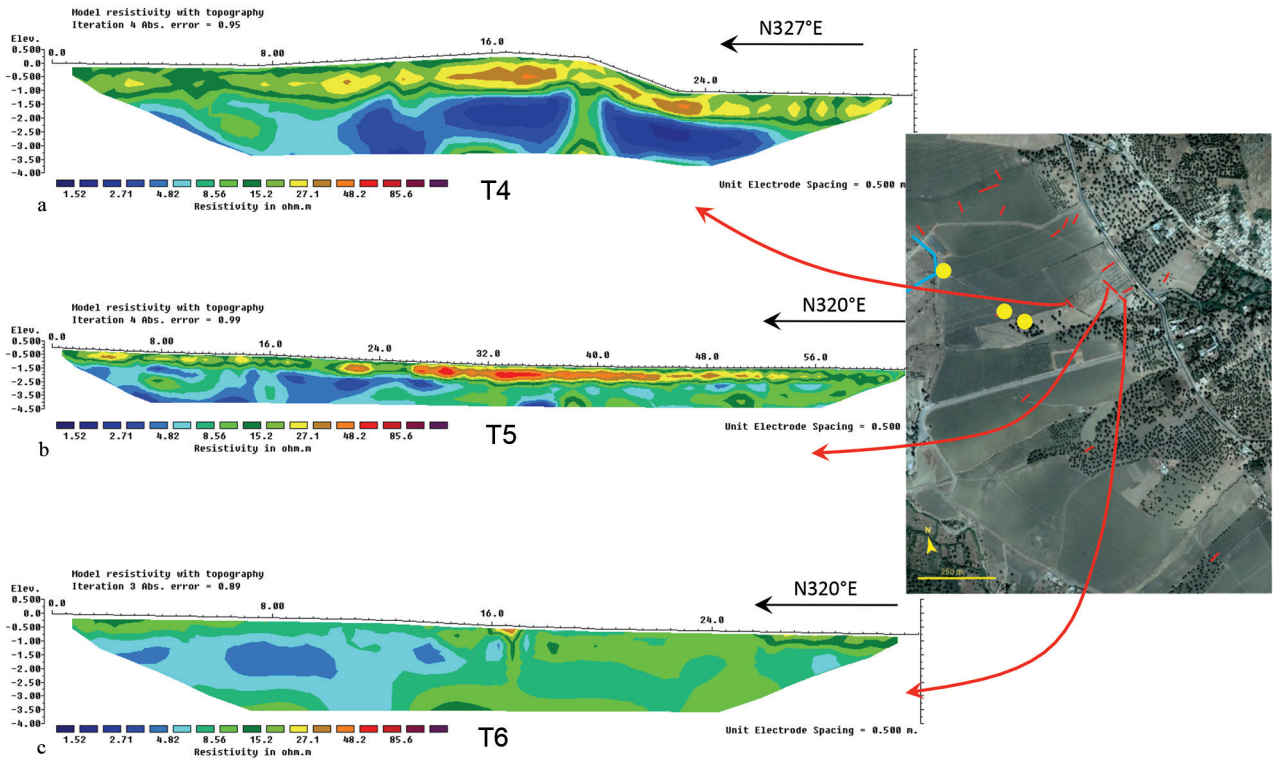


Fig. 18. L'aqueduc sud II, rive droite de l'oued Fertassa. Les profils T4, T5 et T6 (*EauMaghreb*).

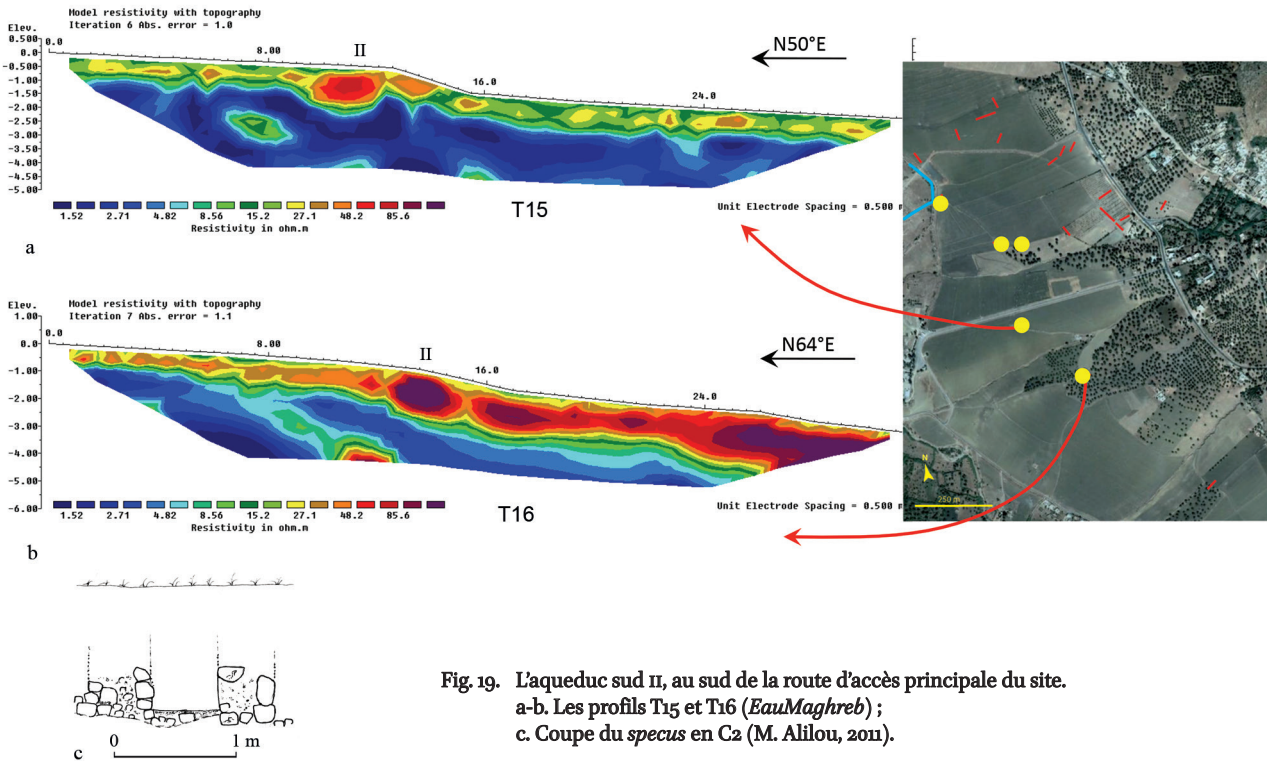


Fig. 19. L'aqueduc sud II, au sud de la route d'accès principale du site. a-b. Les profils T15 et T16 (*EauMaghreb*); c. Coupe du *specus* en C2 (M. Alilou, 2011).



Fig. 20. La rupture de pente de l'aqueduc sud II, au sud de la route d'accès principale du site, entre T16 et T17 (*EauMaghreb*).

La section aérienne de l'aqueduc à l'intérieur de la cité

Bien que l'aqueduc urbain et le système d'alimentation en eau des maisons du quartier nord-est aient été étudiés par R. Étienne³⁶ (fig. 3), de nombreuses questions restent encore posées ; cependant on peut avancer une hypothèse relative à l'évolution du réseau des aqueducs de la cité (cf. fig. 6 et 9).

On peut supposer une alimentation du quartier central (ou quartier de l'arc de triomphe) et des premiers édifices du quartier nord-est par une canalisation antérieure à la construction aérienne de l'aqueduc urbain sud, c'est-à-dire vers le milieu du 1^{er} siècle a.C. Dans ce cas, on doit supposer que cette adduction est assurée par l'aqueduc nord qui provient de l'aïn Fertassa, en raison de la proximité du captage. Ce premier état n'a pas été reconnu à l'intérieur du site³⁷ ; il reste à le rechercher.

On sait que le tronçon urbain I ou II de l'aqueduc est construit dans la seconde moitié du 1^{er} siècle p.C.³⁸ et on peut le mettre en relation avec la construction de l'aqueduc sud qui capterait l'eau d'une ou plusieurs sources au sud de l'oued Khoumane (fig. 6). L'aqueduc est construit sur un soubassement maçonné d'une hauteur de 70 cm ; le *specus* large de 44 cm et haut de 53 cm est couvert par des dalles de calcaire gris du Zerhoun (150 x 65 x 18 cm) posées en linteau (fig. 23).

Lorsque l'enceinte urbaine est construite en 168-169³⁹, le réseau d'alimentation est modifié. On décide de relier la canalisation III de l'aqueduc nord au château d'eau de la tour B3, en suivant le parement interne de l'enceinte urbaine (fig. 5c). C'est probablement à cette époque que l'aqueduc urbain sud est rehaussé d'une maçonnerie liée au mortier jaune dont la

36. 1960.

37. La présence de thermes sur la rive nord du *decumanus maximus* près de la porte de Tanger confirme l'existence d'un réseau dans ce secteur, non desservi par les branches qui sont issues du château d'eau de la tour B3.

38. Étienne 1960, 4 (aqueduc antérieur au rempart) ; Makdoun 1996 ; Lenoir 2009, 81.

39. *IAMI*, 2, 383 ; Frézouls 1956.

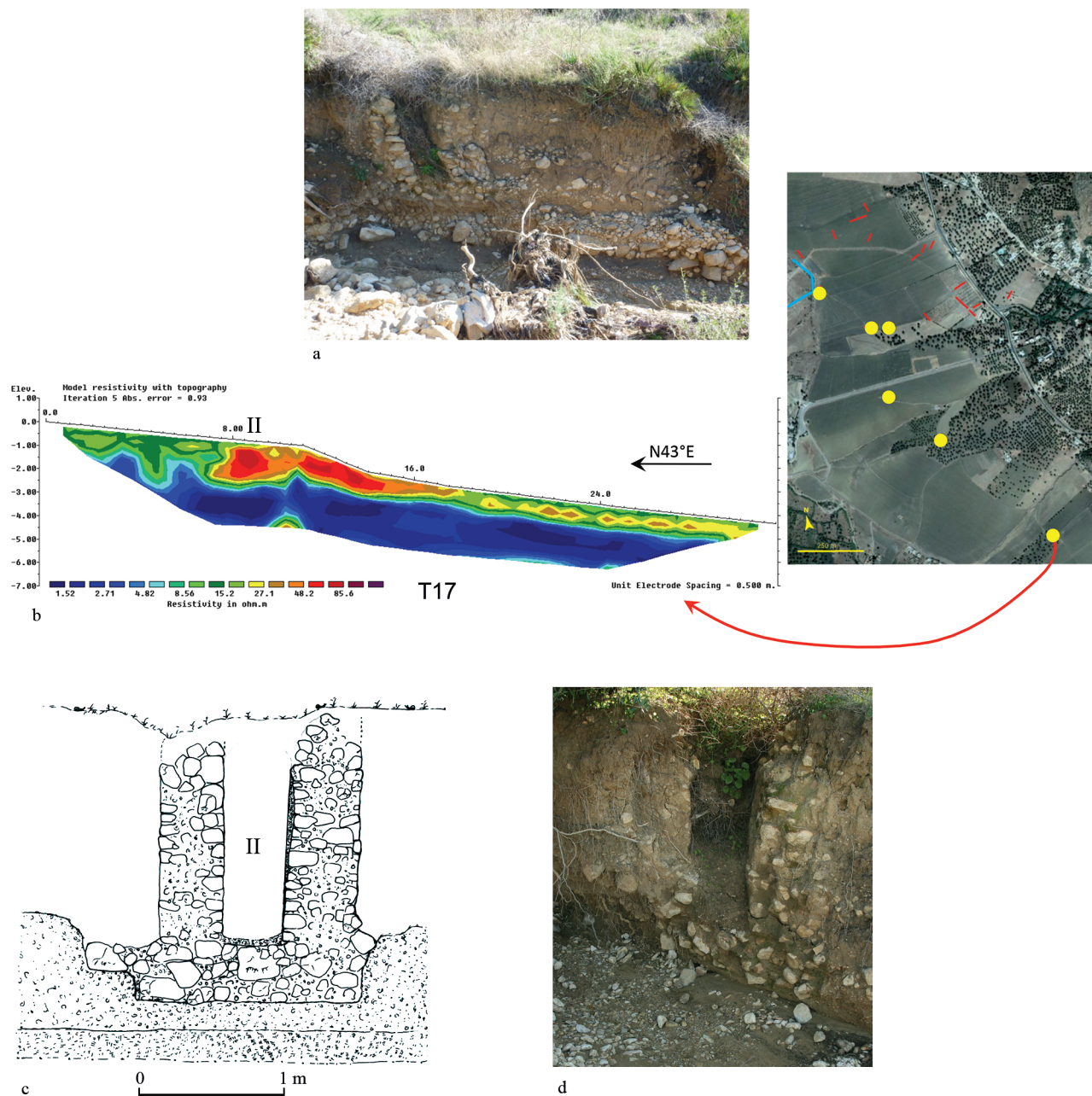


Fig. 21. L'aqueduc sud II, au sud de la route d'accès principale du site.
 a et d. Le *specus* de l'aqueduc sud coupé par le ravin en C3 (*EauMaghreb*, 2010) ; b. Le profil T17 ; c. Coupe du *specus* (M. Alilou, *EauMaghreb*).

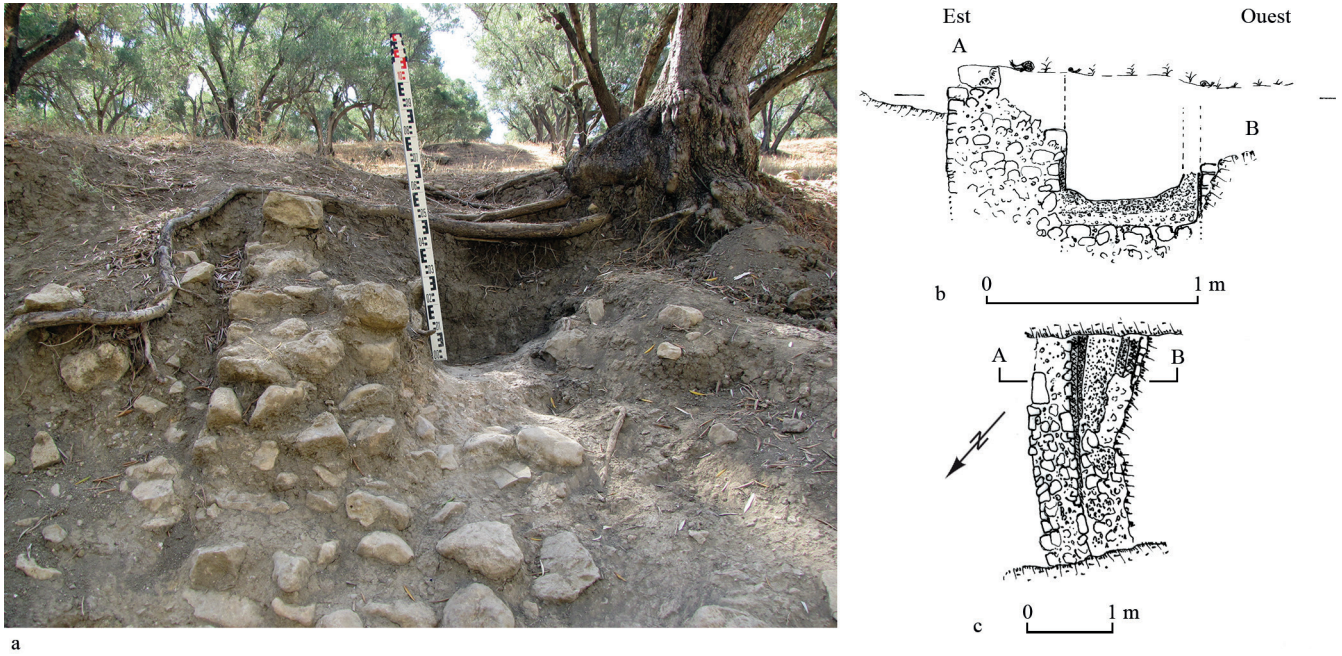


Fig. 22. Le *specus* de l'aqueduc II sud coupé par le ravin en C4.
a. Prospection en 2010 (*EauMaghreb*) ; b. Coupe du *specus* ; c. Vue en plan du *specus* (M. Alilou, *EauMaghreb*).

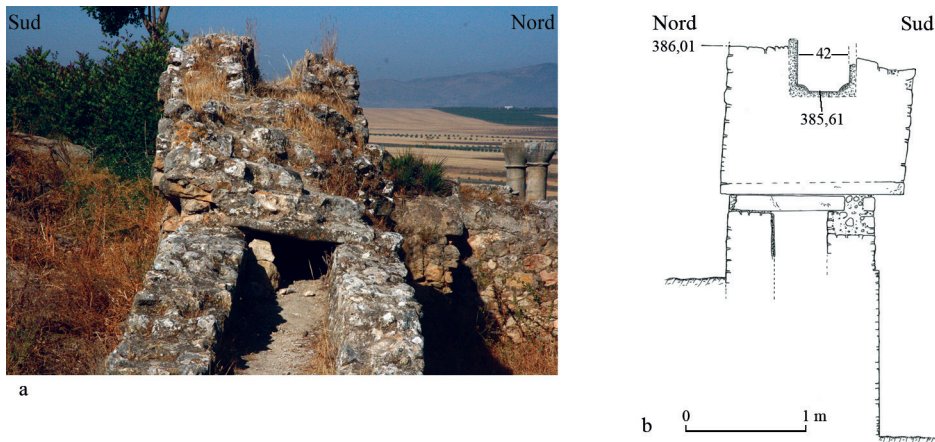


Fig. 23. Les deux états de l'aqueduc urbain en amont de la fontaine du quartier central. a. État actuel des vestiges (*EauMaghreb*) ; b. Coupe des deux canalisations superposées (M. Alilou, *EauMaghreb*).

hauteur varie selon les endroits afin d'asseoir une seconde canalisation qui est superposée à la première (fig. 23) : le *specus* est large de 42 cm ; il est conservé sur 45 cm de hauteur ; sa couverture a disparu. Mais on ignore si la canalisation inférieure est restée en fonction.

Les réaménagements et les remplois visibles le long de l'aqueduc montrent que celui-ci était encore en fonction au moins durant le IV^e siècle avant que la ville ne se replie à l'ouest à l'intérieur de l'enceinte tardive⁴⁰.

40. Akerraz 1998, 296.

Références bibliographiques

- Akerraz, A. (1998) : "Recherches sur les niveaux islamiques de *Volubilis*", in : *Genèse de la ville islamique en al-Andalus et au Maghreb occidental*, Madrid, 295-304.
- Berthier, P. (1938) : *Essai sur l'histoire du massif de Moulay Idris de la conquête musulmane à l'établissement du Protectorat français*, Rabat.
- Chatelain, L. (1919) : "Deux inscriptions de *Volubilis* relatives au culte de Mithra", *CRAI*, 439-444.
- (1920) : "Ce que nous savons des antiquités romaines du Maroc", *Bulletin de l'Institut des Hautes Études marocaines*, 1, 153-163.
- (1921) : "Une visite aux fouilles de *Volubilis*", *Bulletin de la Société de géographie du Maroc*, 2, 7-8, 464-473.
- [1944] (1968) : *Le Maroc des Romains*, Paris.
- Colin, J. (1925) : "*L'occupation romaine du Maroc*", conférence 25 juin 1925, Cours des Affaires Indigènes à Rabat, Rabat.
- Étienne, R. (1954) : "Maisons et hydraulique dans le quartier nord-est à *Volubilis*", *PSAM* 10, 25-211.
- (1960) : *Le quartier nord-est de Volubilis*, Paris.
- Euzennat, M. (1989) : *Le limes de Tingitane. La frontière méridionale*, Paris, Études d'Antiquités africaines, Paris.
- Frézouls, E. (1956) : "Inscriptions nouvelles de *Volubilis*, II", *MEFR*, 66, 95-125.
- Khatib, N. (1964) : "L'archéologie marocaine de 1961 à 1964. Chronique", *BAM*, 5, 361-378.
- La Martinière, H. de (1912) : "Nouvelles et Correspondance, *Volubilis*, Lettre de M. de La Martinière à M. Le Directeur du Journal des Savants [décembre 1911]", *Journal des Savants*, 35-41.
- Lagóstena Barrios, L. G., J. L. Cañizar Palacios et L. Pons Pujol, éd. (2010) : *Aquam perducendam curavit. Captación, uso y la administración del agua en las ciudades de la Bética y el occidente romano*, Universidad de Cádiz, Cadix.
- Laporte, R. (1974) : "L'habitat rural d'époque romaine en Maurétanie tingitane", *Rivista storica dell'Antichità*, 4, 1-2, 171-211.
- Lenoir, É. (2009) : "Documents sur le contrôle et la distribution de l'eau dans le Maroc antique", in : Bridoux, V., éd., 2009, *Contrôle et distribution de l'eau dans le Maghreb antique et médiéval*, Rome, Institut national du patrimoine de Tunisie, Coll. EFR 426, 41-83.
- Loke, M.H. et R.D. Barker (1996) : "Practical Techniques for 3D Resistivity Surveys and Data Inversion", *Geophysical Prospecting*, 44, 499-523 [doi:10.1111/j.1365-2478.1996.tb00162.x].
- Luquet, A. (1966) : "Blé et meunerie à *Volubilis*", *BAM*, 6, 301-316.
- Makdoun, M. (1996) : "Nouvelle recherches stratigraphiques sur l'aqueduc de *Volubilis*", *L'Africa Romana*, 11, *Atti del convegno di studio, Cartagine, 15-18 dicembre 1994*, Ozieri, 763-769.
- Pons Pujol, L. et L. G. Lagóstena Barrios (2010) : "Los acueductos de Mauretania Tingitana. Estado de la Cuestión", in : Lagóstena Barrios, Cañizar Palacios et Pons Pujol, éd. 2010, 533-542.
- Thouvenot, R. (1941-1942) : "L'activité archéologique au Maroc en 1941", *BCTH*, 279-282.
- (1949) : *Volubilis, guide du visiteur*, Rabat-Paris.
- (1950) : "Rapport sur les fouilles de 1949", *BCTH*, 1950, 55-67.

* Aomar Akerraz, Institut National des Sciences de l'Archéologie et du Patrimoine, Rabat (Maroc)
 Véronique Brouquier-Reddé, AORoc, UMR 8546, CNRS - ENS - Université Paris Sciences & Lettres
 Abdelilah Dekayir, Université de Meknès
 Stéphane Desruelles, ENEC, UMR 8185, Université Paris-Sorbonne - CNRS
 Daniel Hermitte, CEREGE, UMR 6635, CNRS
 Jean-Claude Parisot, CEREGE, UMR 161, IRD
 M'hamed Alilou, Ministère de la culture (Maroc)
 Jean-Baptiste Houal, AORoc, UMR 8546, CNRS - ENS - Université Paris Sciences & Lettres
 Mohamed Rouai, Université de Meknès
 Brahim Sidi Cheikh, Université de Meknès
 El Mehdi Benyassine, Université de Meknès