



HAL
open science

Approches géoarchéologiques des dynamiques hydrologiques et de leur gestion antique : les cas de Volubilis et de Banasa (Bassin du Sebou, Maroc)

Stéphane Desruelles, Cyril Castanet, Éliane Lenoir, Aomar Akerraz, M'Hamed Alilou, Rachid Arharbi, Véronique Brouquier-Reddé, Jean-Baptiste Houal

► To cite this version:

Stéphane Desruelles, Cyril Castanet, Éliane Lenoir, Aomar Akerraz, M'Hamed Alilou, et al.. Approches géoarchéologiques des dynamiques hydrologiques et de leur gestion antique : les cas de Volubilis et de Banasa (Bassin du Sebou, Maroc). Les paysages de rivières et les paysages de l'eau dans l'Antiquité , 2012. hal-01292373

HAL Id: hal-01292373

<https://hal.science/hal-01292373v1>

Submitted on 23 Mar 2016

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.

Approches géoarchéologiques des dynamiques hydrologiques et de leur gestion antique :
les cas de Volubilis et de Banasa (Bassin du Sebou, Maroc)

Stéphane DESRUELLES¹, Cyril CASTANET², Éliane LENOIR³, Aomar AKERRAZ⁴,
M'Hamed ALILOU⁵, Rachid ARHARBI⁶, Véronique BROUQUIER-REDDÉ³, Jean-Baptiste
HOUAL³

La gestion des ressources hydriques demeure un enjeu important dans la plupart des régions du Maghreb, dans un contexte de forte variabilité spatiale et temporelle de l'eau et de demande croissante pour les populations et l'agriculture. La connaissance des interactions passées entre les sociétés et leur environnement est un élément majeur pour une gestion plus raisonnée et durable des ressources en eau. Elle constitue un des principaux objectifs du

¹ JE 2532 *Dynamique des Systèmes Anthropisés*, Faculté d'Histoire et de Géographie, Université de Picardie Jules Verne, Amiens, France.

² UMR 7533 *Laboratoire Dynamiques Sociales et Recomposition des Espaces*, CNRS, Université Paris 8 Vincennes, Saint-Denis, et UMR 8591 *Laboratoire de Géographie Physique*, CNRS, Meudon, France.

³ UMR 8546 *Archéologies d'Orient et d'Occident et textes anciens*, CNRS, École Normale Supérieure, Paris, France.

⁴ Directeur de l'*Institut National des Sciences de l'Archéologie et du Patrimoine*, Rabat, Maroc.

⁵ *Conservation du site de Volubilis*, Ministère de la Culture, Meknès, Maroc.

⁶ *Conservation des sites de Banasa et de Thamusida*, Ministère de la Culture, Kénitra, Maroc.

programme *EauMaghreb* (2008-2012)⁷, financé par l'Agence Nationale de la Recherche française. Ces recherches s'intéressent aux méthodes de gestion de la ressource en eau dans une perspective diachronique, à partir de territoires différents mais complémentaires, au Maroc, en Tunisie et en Algérie. Ces travaux interdisciplinaires, qui associent notamment des historiens, des archéologues et des géographes, impliquent d'étudier les conditions du milieu, en particulier les ressources hydriques et l'hydrographie, et de reconstituer les rapports entre les sociétés, ces ressources, et plus généralement leur environnement dans l'Antiquité⁸.

Parmi les fenêtres d'études sélectionnées dans le programme *EauMaghreb*, les sites antiques de Banasa et de Volubilis, au Nord-Ouest du Maroc, sont étudiés dans le cadre d'une coopération franco-marocaine, notamment avec l'Institut National des Sciences de l'Archéologie et du Patrimoine (Rabat), les Conservations de ces deux sites archéologiques et la Faculté des Sciences de l'Université Moulay Ismaïl de Meknès.

Ces deux secteurs d'études sont situés dans le bassin versant du Sebou, mais leurs contextes physiques étant sensiblement différents, les problématiques et les approches géoarchéologiques des dynamiques hydrologiques le sont également. Alors qu'à Volubilis, dans la partie amont du bassin versant, la question principale concerne l'approvisionnement en eau de la ville antique, à Banasa, dans la partie aval, la problématique est essentiellement liée aux dynamiques paysagères fluviales et aux risques d'inondation.

Après une présentation du contexte géographique et historique de chacune des deux fenêtres d'études, les développements méthodologiques mis en œuvre seront exposés, ainsi que les premiers résultats des travaux en cours, les discussions et les perspectives de l'étude.

⁷ Projet ANR-07-BLAN-366- coordonné par F. Baratte (Université Paris-Sorbonne) en liaison avec les responsables scientifiques V. Brouquier-Reddé (Centre National de la Recherche Scientifique), J.-P. Amat (Université Paris-Sorbonne) et F. Hurlet (Université de Nantes).

⁸ A. Akerraz, V. Brouquier-Reddé et E. Lenoir, « Rivages de Maurétanie tingitane », 2010.

1. Contexte géographique des secteurs d'études

Avec 40 000 km² de superficie, le bassin de l'oued Sebou est l'un des plus étendus du Maroc. Il forme une cuvette entre le Rif au Nord, le Moyen Atlas et la Méseta au sud, le couloir Fès-Taza à l'Est et l'océan Atlantique à l'Ouest. Les deux fenêtres d'études se situent dans des positions très différentes du bassin versant. La cité de Volubilis est située en amont à environ 100 km de l'embouchure, au bord de la rive droite de l'oued Khoumane, un affluent de l'oued Rdom qui se jette dans la basse plaine de l'oued Sebou. Banasa est implantée sur une levée de berge de l'oued Sebou au milieu de la plaine du Gharb (Fig. 1).

1.1. Le site de Volubilis dans la région des rides pré-rifaines

La ville de Volubilis s'est essentiellement développée à partir du I^{er} siècle av. J.-C., sur un site occupé dès le Néolithique. Elle a commencé à décliner à la fin du III^e siècle ap. J.-C. et son abandon a été total après le séisme de Lisbonne de 1755. La cité romaine aurait compté entre 10 000 et 12 000 habitants à son apogée⁹. Le site, partiellement fouillé depuis 1915, a été intégré au patrimoine mondial de l'humanité par l'UNESCO. De nombreux vestiges d'ouvrages hydrauliques d'époque romaine, bien conservés y sont visibles, notamment un aqueduc datant du I^{er} siècle ap. J.-C. Les études accomplies¹⁰ et celles en cours de réalisation dans le cadre du programme *EauMaghreb* offrent la possibilité de reconstituer l'approvisionnement en eau de la cité à son apogée dans un contexte géographique relativement contraignant.

⁹ R. Thouvenot, *Volubilis*, 1949 ; chiffre repris par R. Etienne, *Le quartier Nord-Est de Volubilis*, 1960, p. 165 n. 5.

¹⁰ R. Etienne, *Le quartier Nord-Est de Volubilis*, 1960 ; E. Lenoir, « Documents sur le contrôle et la distribution de l'eau dans le Maroc antique », 2009 ; R. Bouzidi, « L'eau à Volubilis et son territoire : conception, organisation, implantation et évolution des installations hydrauliques », à paraître.

La ville de Volubilis est bâtie, à environ 350 m d'altitude, sur un promontoire au pied du djebel Sned, rattaché au massif du Zerhoun, élément des rides prérfaines¹¹. Ce promontoire, qui domine l'oued Khoumane et une vaste étendue basse à 320 m d'altitude en contrebas de Volubilis et plane à l'ouest, se rattachant au plateau du Bled El Gaada (Fig. 2), fait partie d'un glacis généralement façonné dans les marnes sableuses miocènes. Cependant, un grand secteur au sud et à l'ouest du site repose sur la couche, relativement plus résistante à l'érosion, de sables, de cailloutis et de conglomérats continentaux plio-villafranchiens. Le site est donc implanté au contact des marnes (qui constituent les bas de versant des djebels alentour) et de la couche du Plio-villafranchien qui structure le plateau du Bled El Gaada.

Le climat de ce secteur est de type méditerranéen, à tendance semi-aride¹² ou continentale¹³. D'après les mesures inédites, enregistrées par la station météorologique de Moulay Idriss, située à 4 km au Sud-Est de Volubilis, il est tombé, en moyenne, 583 mm de précipitations par an, de 1975-1976 à 2008-2009. Ces précipitations sont très irrégulières dans l'année : la saison humide s'étend d'octobre à mai, avec un maximum annuel en janvier. La saison sèche s'étend de juin à septembre et la pluviométrie est, en général, quasi-nulle en juillet et en août. Le « chergui », un vent continental de secteur est, accentue la sécheresse en été et induit un temps beau et sec en hiver (Fig. 3). L'irrégularité pluviométrique interannuelle est également importante : de 1975-1976 à 2008-2009, la pluviométrie annuelle a varié du simple au triple. Au cours de l'année la plus humide, 2008-2009, il est tombé 1019,8 mm. L'année la plus sèche, 1975-1976, a connu 308 mm de précipitations. Pendant cette période de relevés, plusieurs années sèches se sont parfois succédé, comme ce fut le cas de 1998-1999 à 2001-2002, quatre années hydrologiques ayant connu moins de 425 mm de pluies. Les étés

¹¹ J. Dresch, *Essai sur l'évolution du relief dans la région prérfaine*, 1933.

¹² J. Despois et R. Raynal, *Géographie de l'Afrique du Nord-Ouest*, 1967.

¹³ J.-Fr. Troin, *Maroc, Régions, Pays, Territoires*, 2002.

sont chauds : la température maximale dépasse parfois 40°C et les moyennes mensuelles sont de l'ordre de 25°C. Les hivers sont frais, avec des moyennes mensuelles d'environ 10°C.

Compte tenu de ce contexte climatique, caractérisé par une forte variabilité saisonnière et interannuelle de la pluviométrie, les ressources en eau du territoire de Volubilis devaient subir d'importantes variations. Cela devait constituer une contrainte pour la gestion, notamment temporelle, des ressources en eau et pour l'approvisionnement de la cité romaine. Si, *a priori*, les risques liés aux excès hydrologiques ne semblent pas avoir affecté Volubilis, des problèmes posés par le manque d'eau pouvaient probablement apparaître épisodiquement.

1.2. Le site de Banasa au cœur de la plaine du Gharb

La colonie octavienne *Iulia Valentia Banasa* fondée entre 33 et 25 av. J.-C. succède à une cité maurétanienne connue pour ses productions de céramique où les premières traces d'occupation remontent au V^e s. av. J.-C. Elle décline à partir de 285 ap. J.-C., lorsque la province de Maurétanie Tingitane est réduite aux territoires situés au nord du Loukkos. Une occupation médiévale y a été récemment attestée¹⁴. L'apogée de cette cité est donc en grande partie contemporaine de celle de Volubilis. L'étude comparative des dynamiques hydrologiques et de leurs interactions avec les habitants des cités antiques de Banasa et de Volubilis est particulièrement intéressante, compte tenu du contexte géographique de la colonie octavienne sensiblement différent de celui de Volubilis.

Banasa se situe dans le Gharb, correspondant à la basse plaine de l'oued Sebou, longue de 80 km et large de 45 km. Cette région, dont l'altitude est inférieure à 25 m, est bordée au nord et à l'est par des collines marneuses et caillouteuses (miocènes et plio-quadernaires), au

¹⁴ E. Lenoir, « Banasa », 2005 ; R. Arharbi, E. Lenoir *et alii* « Recherches sur le quartier sud de Banasa », 2006.

sud par la formation quaternaire (Villafranchien) de la Mamora et à l'ouest par des cordons littoraux et les merjas, dépressions plus humides, côtières (plio-quaternaires et holocènes)¹⁵.

Le modelé de la plaine est composé des levées de l'oued Sebou et de ses principaux affluents (oueds Ouerrha, Beht et Rdom) dominant, en moyenne, de 5 à 7 mètres les merjas. Les flux hydrosédimentaires au sein du Gharb résultent du drainage et de l'érosion des formations du vaste bassin versant du Sebou. Les écoulements du fleuve entrent avec une forte énergie dans cette basse plaine faiblement pentue, ce qui explique le développement des méandres : le chenal de l'oued Sebou se caractérise dans ce secteur par un style fluvial méandriforme à chenal unique et un fort indice de sinuosité.

Compte tenu de la grande extension de la formation holocène au niveau de la plaine du Gharb, la basse plaine du Sebou a été choisie comme le lieu éponyme de cet étage¹⁶. Elle comprend des dépôts alluviaux limono-sableux à sableux gris (les *mtills*), des dépôts alluviaux limoneux gris-jaunâtres (les *dhess*), des sols développés sur des dépôts alluviaux limono-argileux noirs (les *tirs*)¹⁷. La nature des sols alluviaux et la richesse de la ressource en eau assurent actuellement à cet espace une grande richesse agricole¹⁸.

Sous l'influence des fluctuations des conditions hydroclimatiques méditerranéennes dominant son bassin versant, les flux liés au fleuve Sebou présentent une forte variabilité

¹⁵ J. Le Coz, « Banasa : contribution à l'étude des alluvions rharbiennes », 1960 ; *Id.*, *Le Rharb, Fellahs et colons. Etude de géographie régionale. Tome 1. Les cadres de la nature et de l'histoire*, 1964 ; M. Aberkan, *Etude des formations quaternaires des marges du bassin du Rharb (Maroc Nord-Occidental)*, 1989.

¹⁶ Sharikah al-Sharīfah lil-Batrūl, *Carte géologique au 1/200,000 du Rharb et Prérif Occidental [Maroc]*, 1952.

¹⁷ J. Le Coz, *Le Rharb, Fellahs et colons. Etude de géographie régionale. Tome 1. Les cadres de la nature et de l'histoire*, 1964.

¹⁸ Maroc, Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, *Atlas du bassin du Sebou*, 1970.

saisonnaire du débit, ainsi qu'une importante variabilité interannuelle du module (Fig. 5)¹⁹. Ces paramètres constituent des éléments propices à la genèse d'inondations de la plaine fréquentes et de grande extension²⁰, à l'image de celles des mois de février et de mars 2009 et 2010.

La colonie de Banasa est implantée sur la levée de berge naturelle de l'oued Sebou, en rive gauche, à une centaine de mètres d'un chenal qui était navigable durant l'Antiquité comme l'a indiqué Pline, qualifiant l'oued Sebou de *magnificus et navigabilis* (H.N., V, 5). A ce niveau, la levée de l'oued culmine 6 à 7 m au-dessus des merjas environnantes.

Compte tenu de ce contexte géographique, l'approvisionnement en eau de Banasa et d'autres établissements également implantés sur des levées de berge, ne devait pas poser de difficultés comparables à celles rencontrées à Volubilis. En revanche, les risques et les modifications paysagères de la plaine liés à l'activité fluviale devaient être plus problématiques pour l'occupation de ces espaces : inondations, mobilité du lit de l'oued par migration, recouplement de méandre ou par avulsion du chenal, augmentation épisodique et relativement rapide des débits du Sebou et battements de la nappe alluviale, associés à la faible déclivité du terrain, et mobilité du réseau hydrographique.

2. Objectifs et méthodes

¹⁹ Maroc, Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, *Atlas du bassin du Sebou*, 1970 ; Maroc, Direction des mines et de la géologie, *Ressources en eau du Maroc*, 1971.

²⁰ Maroc, Direction des mines et de la géologie, *Ressources en eau du Maroc*, 1971 ; Maroc, Ministère de l'aménagement, du territoire, de l'eau et de l'environnement, *Projet intégré de développement durable du bassin du Sebou*, 2004.

Compte tenu des contextes géographiques, surtout géomorphologiques et hydrographiques, sensiblement différents, l'étude des dynamiques hydrologiques et de leur gestion antique dans les deux sites de Volubilis et de Banasa vise des objectifs différents.

Dans le secteur de Volubilis, il s'agit principalement de comprendre d'une part à l'échelle régionale, la relation entre l'implantation des sites antiques et le milieu physique, en particulier les ressources en eau, d'autre part à l'échelle du site de Volubilis, l'alimentation en eau des aménagements hydrauliques, notamment de l'aqueduc, en relation avec la localisation et la variabilité temporelle des ressources en eau locales.

À Banasa et dans la plaine du Gharb, les recherches s'articulent autour de trois principaux objectifs. D'une part, il s'agit d'évaluer les modalités et les rythmes de construction morphosédimentaire de la plaine alluviale et l'hétérogénéité du potentiel archéologique induite. Cela nécessite notamment de reconstituer les dynamiques hydrogéomorphologiques et paysagères. D'autre part, il s'agit d'évaluer aux échelles du site, du territoire et de cette basse plaine la réponse des milieux aux changements hydroclimatiques, environnementaux et aux impacts anthropiques touchant le bassin versant du Sebou. Enfin, ces recherches visent à caractériser les interactions survenues entre les dynamiques d'occupation, d'exploitation et d'aménagement de l'espace fluvial du Gharb et la dynamique des milieux fluviaux durant l'Antiquité.

Ces objectifs différents induisent une approche méthodologique globale interdisciplinaire géoarchéologique commune mais des nuances dans les techniques d'étude mises en œuvre. Sur les deux terrains d'étude, la méthode s'appuie sur une analyse diachronique des environnements physiques. A cet effet, une première expertise est menée sur les environnements actuels. Les données spatiales sont alors analysées : il s'agit notamment de

photographies aériennes, d'images satellitales traitées au moyen de logiciels de télédétection, de cartes topographiques et géologiques, de données topographiques numériques issues du traitement de relevés produits par la *Shuttle Radar Topographic Mission*²¹ de la NASA.

Ces informations sont croisées avec des observations de terrain, notamment pour dresser des cartes géomorphologiques, visant surtout à distinguer les espaces connaissant des dynamiques morphologiques, susceptibles d'avoir provoqué des modifications paysagères et environnementales depuis l'Antiquité. Cette première étape, accomplie sur les environnements physiques actuels, permet de définir un protocole d'étude plus précis, sur ces mêmes environnements et/ou sur les environnements passés. Elle amène notamment à sélectionner des sites ponctuels ou des transects, à effectuer des relevés plus détaillés et des prélèvements.

Dans la fenêtre Banasa-Gharb, les analyses planimétriques sont complétées par des travaux de morphostratigraphie obtenus par des carottages et des relevés de coupes stratigraphiques, par des travaux de sédimentologie réalisés à partir de la granulométrie, de la perte au feu et de la susceptibilité magnétique, et par des travaux de paléoécologie et de géochronologie fondées sur des datations par le radiocarbone. Ces observations ont été faites dans différentes unités géomorphologiques, situées en contexte soit hors-site (sur les levées actuelles de l'oued Sebou dans les secteurs amont, moyen et aval du Gharb, merjas actuelles) soit intra-site à Banasa (Fig. 6).

Dans le secteur de Volubilis, une étude spécifique a été menée sur le fonctionnement hydrologique et hydrogéologique des bassins versants, à partir notamment de relevés quantitatifs sur les sources alentour et de données météorologiques. Parallèlement à ce travail,

²¹ M. Ghilardi et St. Desruelles, « Geoarchaeology: where human, social and earth sciences meet with technology », 2008.

les archéologues ont collecté des informations chronologiques, topographiques et architecturales sur les ouvrages hydrauliques.

Dans les deux cas, l'objectif méthodologique final est de croiser l'ensemble des données dans un système d'information géographique, dont le modèle conceptuel de données a été élaboré par l'ensemble de l'équipe du programme *EauMaghreb*²².

3. Résultats préliminaires

3.1. *Volubilis et sa région*

Les résultats concernent deux échelles de travail : d'une part, l'échelle des bassins versants des oueds Rdom et Khoumane, d'autre part l'échelle du bassin d'alimentation de Volubilis.

A l'échelle régionale, le secteur se caractérise par une alternance stratigraphique de roches plus ou moins poreuses et perméables, induisant la présence de trois lignes de sources étagées. Dans les djebels, une première ligne de sources (résurgences) se développe à environ 700 m d'altitude, au contact des couches bajociennes très poreuses et perméables, et des calcaires bioclastiques faiblement gréseux, moins poreux et perméables. La localisation de ces sources est fortement influencée par la géométrie du réseau de failles. Une deuxième ligne de sources se situe à environ 400 m d'altitude au contact avec des marnes miocènes, dont la perméabilité est faible. Leur localisation semble également influencée par des lignes de failles. Ces sources sont à l'origine de nombreux oueds intermittents, qui se jettent notamment dans le Khoumane ou dans le Rdom. Les marnes miocènes sont peu perméables. L'eau tend à s'y accumuler, ce qui favorise une saturation des sols marneux. Après des précipitations longues et/ou intenses, en hiver et au printemps notamment, cela provoque par endroits des mouvements de terrain du type solifluxion et génère du ruissellement. De nombreux oueds se

²² R. Ragala *et al.*, « De la problématique au modèle conceptuel de données : approche géoarchéologique sous SIG », à paraître.

constituent épisodiquement dans les talwegs creusés dans ce substrat. Une troisième ligne de sources apparaît également au contact de la couche de sables, de cailloutis et de conglomérats plio-villafranchienne et des marnes sous-jacentes, en bordure de plateau, sur les versants des oueds Khoumane et Rdom généralement entre 300 m et 350 m.

Les sites découverts par les archéologues lors de prospection menées au cours de ces dernières années par la « Mission de prospection du Sebou »²³ se localisent essentiellement dans les secteurs de glacis, en contrebas des massifs montagneux (djebels Sned et Zerhoun), sur le plateau (notamment celui du Bled El Gaada) et le long des oueds Rdom et Khoumane. Dans le cas des deux premiers contextes d'implantation, la présence de sources semble jouer un rôle majeur²⁴.

L'influence de la lithologie sur la répartition des sources doit être précisée. Cela permettra de compléter la carte des sources et de proposer des zones de sources potentielles, notamment autour de Volubilis. La mise en relation, dans le système d'information géographique, de cette cartographie avec la carte archéologique permettra de mieux établir l'influence de cet élément de l'environnement naturel sur l'implantation des sites antiques.

Par ailleurs, afin de déterminer la variabilité des débits de ces sources et ses effets sur l'alimentation en eau des sites antiques, en particulier sur Volubilis, en fonction notamment des fluctuations pluviométriques, des données climatiques et hydrologiques sont en cours d'acquisition ; leur analyse sera couplée à une étude de leur bassin d'alimentation.

Le long des oueds Khoumane et Rdom, les sites antiques sont implantés en bordure des glacis structurés par les marnes miocènes, au contact avec les vallées des cours d'eau, ou sur des terrasses quaternaires datées du Soltanien (d'environ 80 000 ans à environ 7000 ans

²³ A. Akerraz et E. Lenoir, « Volubilis et son territoire au I^{er} s. de n. è. », 1990.

²⁴ V. Brouquier-Reddé, « Les sources d'eau douce et d'eau sulfureuse du territoire de Volubilis », à paraître.

B.P.)²⁵ ou de périodes plus anciennes. Les premières observations topographiques et géomorphologiques, menées notamment à Sidi Bou Knadel et à Aïn Kerma (Fig. 2), donnent à penser que les terrasses sur lesquelles sont installés les sites sont à une cote de 8 m à 10 m au-dessus des lits mineurs contemporains de leur occupation. Par comparaison avec les hauteurs d'eau atteintes lors des crues actuelles du cours d'eau, les sites implantés sur ces terrasses semblent hors d'atteinte des aléas hydrologiques, crues et inondations, contemporains de leur occupation. L'eau qui les alimentait ne provenait pas, en premier lieu, de sources, mais des oueds et de leur nappe alluviale. Pour restituer l'extension originelle de ces sites et leur distance au cours d'eau, il faut tenir compte des modifications rapides de tracé, essentiellement en contrebas des terrasses.

En ce qui concerne plus spécifiquement Volubilis, une grande partie des édifices est alimentée en eau par un aqueduc dès la fin du I^{er} s. ap. J.-C.²⁶. Les rares puits identifiés dans l'espace urbain ont été creusés dans le quartier sud de Volubilis implanté sur la couche plio-villafranchienne, qui constitue un aquifère²⁷. En outre, dans la partie basse de la ville, un puits pourrait avoir été creusé à l'époque islamique dans des sédiments fluviaux qui forment l'aquifère de la nappe alluviale.

²⁵ A. Weisrock, « Nappes alluviales et basses terrasses du Maroc atlantique », 1984 ; A. Dridri, *Etude sédimentologique des terrasses quaternaires et des alluvions actuelles du Moyen Sebou (région de Fès)*, 1987.

²⁶ R. Etienne, *Le quartier Nord-Est de Volubilis*, 1960, p. 17-23 ; R. Bouzidi, *L'hydraulique à Volubilis : étude sur l'aqueduc et l'hydraulique du quartier de l'arc de triomphe et du quartier sud*, 1991 ; E. Lenoir, « Documents sur le contrôle et la distribution de l'eau dans le Maroc antique », 2009 ; R. Bouzidi, « L'eau à Volubilis et son territoire : conception, organisation, implantation et évolution des installations hydrauliques », à paraître ; E. Lenoir, « Aperçu sur la gestion de l'eau en Maurétanie tingitane », à paraître.

²⁷ Un puits a été recensé dans une des maisons du quartier nord-est.

L'aqueduc guide l'eau, provenant du djebel situé à l'est et jaillissant de plusieurs sources, vers Volubilis en suivant la pente du versant sur une partie de son tracé. Cependant, celui-ci n'est pas précisément restitué. Deux branches pourraient converger vers le Nord-Est de la ville entourée en 168-169 d'une enceinte urbaine²⁸. L'étude des images satellites et des indices de terrain, couplée à celle des sources situées autour du site, à l'est notamment, permet de formuler quelques hypothèses. Une partie de l'eau semble provenir de la source Fertassa (Fig. 7), située au contact entre les calcaires gréseux et les calcaires bioclastiques, d'après la carte géologique. A environ 300 mètres à l'ouest, en direction du site de Volubilis, une autre source, indiquée sur la carte topographique au 1:50 000 et sur la carte géologique, a été repérée sur le terrain. Celle-ci, qui s'apparente à une mare alimentée par une résurgence, est au contact des calcaires bioclastiques et des marnes bleues miocènes. Cette source a probablement été captée par l'aqueduc (Fig. 7). À partir de cette source, il paraît vraisemblable que l'aqueduc ait suivi la pente naturelle du versant pour rejoindre la partie haute du site. À l'extérieur de l'enceinte, des moellons alignés le long d'une rupture de pente confirment l'hypothèse de l'existence d'une branche de l'aqueduc. Un ouvrage voûté a ensuite été aménagé dans l'enceinte, au moment de sa construction pour permettre le passage de la canalisation.

Une autre branche de l'aqueduc alimente la ville. La conduite se situe au nord-est de Volubilis. Des dalles, qui témoigneraient de cet aménagement, ont été repérées sur l'interfluve au nord-est du site²⁹. En revanche, il est difficile de restituer l'origine de cette branche en relation avec une source, à l'est du site. Il n'y a pas de source cartographiée à proximité,

²⁸ M. Euzennat, *Le Limes de Tingitane. La frontière méridionale*, 1989, p.236.

²⁹ R. Etienne, *Le quartier Nord-Est de Volubilis*, 1960 ; R. Bouzidi, *L'hydraulique à Volubilis : étude sur l'aqueduc et l'hydraulique du quartier de l'arc de triomphe et du quartier sud*, 1991 ; R. Bouzidi, « L'eau à Volubilis et son territoire : conception, organisation, implantation et évolution des installations hydrauliques », à paraître.

malgré la présence de contacts lithologiques entre marnes et calcaires potentiellement propices à des résurgences. La source la plus proche et la plus abondante, connue à proximité et dans cette direction est Aïn Schkor, située à 3,4 km au Nord-Est de Volubilis³⁰ (Fig. 7). On peut donc se demander si une branche de l'aqueduc captait cette eau. Nous pouvons aussi penser que cette branche, comme les autres conduites secondaires connectées à l'aqueduc, a été mise en place pour drainer les versants marneux. Cela aurait permis de limiter le ruissellement et l'érosion de ces terres, tout en récupérant de l'eau pour l'alimentation de la ville.

Afin de repérer le tracé des branches de l'aqueduc, une mission de prospection géophysique est programmée en 2010 à l'est du site de Volubilis.

Le débit de la source Fertassa connaît des fluctuations importantes au cours de l'année, en fonction des précipitations. Des mesures de cet écoulement ont été réalisées en juillet 2009, puis régulièrement (une fois par mois) entre décembre 2009 et juillet 2010. Le plus fort débit a été enregistré le 1^{er} février 2010 (1093 litres/minutes), le plus faible a été observé le 9 juillet 2009 (150 litres/minutes). Cette valeur « minimale » est comparable à l'estimation de 170 l/min indiquée par J. Dresch³¹. En prenant l'hypothèse selon laquelle la totalité de l'écoulement parvenait à la cité, les Volubilitains disposaient de 244 800 litres/jour, lorsque le débit de la source est faible. Pour une consommation journalière de 20 litres par personne, soit une quantité d'eau conforme aux estimations fournies pour des cités antiques du pourtour méditerranéen³², cette source aurait permis d'approvisionner 12 240 personnes. Ce

³⁰ M. Euzennat, *Le Limes de Tingitane. La frontière méridionale*, 1989, p. 257-258, fig. 188-189.

³¹ J. Dresch, *Essai sur l'évolution du relief dans la région pré-riifaine*, 1933.

³² J. Bonnin, *L'eau dans l'Antiquité. L'hydraulique avant notre ère*, 1984.

raisonnement, qui permet seulement d'obtenir un ordre de grandeur, correspond au nombre d'habitants à l'apogée de la cité romaine, estimé par R. Thouvenot³³.

Il convient maintenant de connaître les variations actuelles, saisonnières et interannuelles, du débit de cette source et de s'interroger sur son évolution depuis l'époque romaine. Le plus faible débit enregistré durant la période de relevés est-il représentatif des plus faibles écoulements, actuels et anciens, de cette source ?

Dans cet objectif, les relevés mensuels du débit de la source Fertassa se poursuivent. Une étude du bilan hydrologique de cette source Fertassa et du bassin versant en amont du site permettrait de modéliser les relations entre les pluies, les débits de la source et, plus généralement, les réserves hydrologiques du territoire de Volubilis. Il conviendrait alors de s'intéresser à l'évolution de l'environnement physique de cet espace depuis l'époque romaine pour évaluer l'importance des ressources en eau que les Volubilitains pouvaient exploiter.

3.2. Banasa et la plaine du Gharb

Les premiers résultats révèlent un important potentiel des archives morpho-sédimentaires pour la reconstitution des dynamiques hydrogéomorphologiques et paysagères holocènes. En effet, le stock alluvial est volumineux et les séries sédimentaires, dilatées, contiennent des dépôts organo-minéraux et présentent une importante variabilité des faciès sédimentaires.

La plaine apparaît structurée selon une mosaïque de corps sédimentaires hétérochrones. Il s'agit notamment de paléofformes fluviales (Fig. 8) telles que de nombreux paléo-méandres résultant du processus de recouplement de méandres, localisés au niveau de la levée de l'oued Sebou, et des paléo-trains de méandres (paléo-chenaux et paléo-levées de berge) résultant du processus d'avulsion de l'oued.

³³ R. Thouvenot, *Volubilis*, 1949.

Durant l'Holocène récent, le façonnement de cette plaine fut assuré par la construction de levées, de recouplement de méandres et d'avulsions associés à l'alluvionnement des merjas lors des inondations. D'importantes accrétions verticales et latérales, datant des périodes historiques, ont été identifiées au niveau des levées de l'oued Sebou. L'intervention de processus fluviodeltaïques dans la construction de cette basse plaine n'est pas exclue ; elle est en cours d'étude.

Les premières observations conduisent à restituer une importante variabilité spatiotemporelle de l'activité fluviale et des paysages, contemporaine des occupations maurétanienne, romaine et islamique. Des épisodes de relativement faible activité fluviale, marqués par le développement de sols alluviaux, ont alterné avec des épisodes d'activité fluviale relativement forte, matérialisés par des dépôts de débordement plus grossiers, non ou faiblement pédogénéisés.

Ces observations ont été accomplies dans six secteurs (Fig. 8), situés en contexte hors-site (sur les levées de l'oued Sebou - dans les secteurs amont, moyen et aval du Gharb - et dans les merjas), et intra-site à Banasa. Les taux de sédimentation ont été forts durant les périodes historiques au niveau des levées du Sebou, soit 2 mm/an en moyenne durant les deux derniers millénaires dans la partie amont du Gharb.

La chronologie des unités identifiées est en cours d'évaluation. Cela permettra de définir l'échelle spatiale de la variabilité observée dans les divers secteurs étudiés dans la plaine du Gharb selon une réponse locale ou régionale et de discuter l'origine de cette variabilité climatique et/ou anthropique et/ou autocyclique.

Les dynamiques hydrogéomorphologiques passées et actuelles contrôlent l'hétérogénéité du potentiel archéologique. Elles ont généré un enregistrement sédimentaire discontinu dans

l'espace et dans le temps. Dans cette vaste plaine, la taphonomie des gisements archéologiques est largement sous le contrôle du couple « érosion par sapement de berge / recouvrement par alluvionnement » lié à la dynamique fluviale de l'oued³⁴.

Les sites antiques identifiés à ce jour dans la plaine du Gharb³⁵ sont implantés sur les points hauts que constituent les levées des oueds actuels et des oueds fossiles, ainsi que sur les premiers reliefs bordant la plaine au nord et au sud. Cela assure notamment à ces occupations une fréquence d'inondation relativement plus réduite que celle du reste de la plaine et la proximité de sols relativement moins hydromorphes. Par exemple, ces sites sont restés exondés, ou seulement partiellement inondés, lors des inondations de forte magnitude à l'échelle des dernières décennies survenues durant les mois de février 2009 et 2010 (Fig. 9).

Ces travaux nous permettent de proposer quelques conclusions. Les sites antiques de Volubilis et Banasa bénéficiaient de ressources en eau relativement faciles à mobiliser. Dans le cas du premier site, il s'agissait de ressources essentiellement souterraines, jaillissant en plusieurs sources qui alimentaient un aqueduc et, dans une moindre mesure, captées par des puits situés plus bas sur le versant. L'approvisionnement en eau du second site provenait vraisemblablement de l'oued Sebou et de la nappe de l'aquifère alluvial connecté au fleuve.

La variabilité hydroclimatique devait affecter ces deux cités, mais elle a sans doute impliqué des contraintes sensiblement différentes pour leur occupation et leur développement. A Volubilis, en tête de bassin (dans la partie amont du bassin versant du Sebou), cette variabilité devait engendrer pendant certaines années particulièrement sèches

³⁴ A. Akerraz, V. Brouquier-Reddé et E. Lenoir, « L'occupation antique de la plaine du Gharb », 1995.

³⁵ *Ibid.*

un risque de pénurie en eau. Cependant, les volumes de stockage, dans des bassins ou des citernes, mis en oeuvre pour conserver l'eau en prévision de périodes sèches sont faibles par rapport à d'autres villes antiques du pourtour méditerranéen³⁶, comme Délos³⁷, Alexandrie³⁸ ou Dougga³⁹. On peut donc se demander si ce risque de sécheresse était limité grâce aux sources captées par l'aqueduc.

A Banasa, dans la basse plaine du Sebou, plus près de l'embouchure, les habitants de la colonie ont été confrontés aux aléas d'origine fluviale : mobilité du lit de l'oued lié à la puissance des écoulements, inondations résultant des variabilités saisonnière et interannuelle du débit du fleuve. Cependant, quelle était la vulnérabilité de la colonie implantée sur la levée de berge à ce type d'aléa (vulnérabilité liée à l'occupation, à l'agriculture, à la navigation) ? Des mesures de gestion du risque d'origine fluviale ont-elles été mises en oeuvre ?

Ces dynamiques hydrologiques résultent de processus et d'interactions impliquant les sociétés et leurs milieux physiques, intervenant à diverses échelles spatiales et temporelles. Par exemple, les dynamiques affectant la plaine du Gharb, en particulier à Banasa, résultent partiellement de celles qui se produisent dans la partie amont du bassin versant du Sebou, notamment dans le secteur de Volubilis. Le fonctionnement et l'évolution holocène des dynamiques hydrologiques et, plus généralement, environnementales, constituent un des axes de recherches actuellement développés dans le programme *EauMaghreb*. Au-delà des travaux envisagés pour chaque secteur d'études, une approche transversale sera

³⁶ V. Bridoux (dir.), *Contrôle et distribution de l'eau dans le Maghreb antique et médiéval*, 2009.

³⁷ St. Desruelles, *L'eau dans l'ensemble insulaire cristallin méditerranéen Mykonos-Délos-Rhénée (Cyclades, Grèce) et sa gestion dans la ville antique de Délos*, 2004 ; St. Desruelles *et al.* « Gestion de l'eau dans la ville antique de Délos : ressources et contraintes », 2005.

³⁸ J.-Y. Empereur, « Alexandrie : l'eau du Nil dans les citernes », 2009.

³⁹ S. Aounallah, *Thugga/Dougga. Ville romano-africaine de Tunisie, histoire et monuments*, 2006.

effectuée afin d'établir ces relations amont/aval. L'analyse des enregistrements sédimentaires devrait permettre d'acquérir des données paléoenvironnementales nouvelles, nécessaires à cette démarche.

Résumé

Dans le cadre du programme *EauMaghreb* (financé par l'ANR française) et d'une coopération franco-marocaine, notamment avec l'INSAP (Rabat), des études sont menées autour de Volubilis et de Banasa. Ces sites antiques sont situés dans le bassin versant du Sebou, mais leurs contextes physiques sont sensiblement différents. Cela implique des approches géoarchéologiques (géomatique, géomorphologie, hydrologie, géochronologie et archéologie) distinctes pour reconstituer les rapports entre ces cités, les ressources et les dynamiques hydrologiques. L'étude de Volubilis et de son arrière-pays met en évidence l'influence des sources, au contact des calcaires et des marnes, sur l'approvisionnement en eau et sur l'implantation des sites sur des glacis dominant le lit des oueds, dans un contexte de piémont. L'analyse des archives sédimentaires de Banasa et de ses alentours dans la plaine du Gharb révèle un fort potentiel pour les reconstitutions paléogéographiques, une mosaïque d'unités paysagères fossiles et une importante variabilité de l'activité et des paysages fluviaux contemporains des occupations.

Bibliographie

Aberkan M'hamed, *Etude des formations quaternaires des marges du bassin du Rharb (Maroc Nord-Occidental)*, Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1, 1989.

Akerraz Aomar, Brouquier-Reddé Véronique et Lenoir Eliane, « L'occupation antique de la plaine du Gharb », dans Troussset Pol (ed.), *Histoire et archéologie de l'Afrique du Nord*,

VI^e Colloque international, Pau, 1993, 118^e congrès, Paris, Éd. du CTHS, 1995, p. 233-242.

Akerraz Aomar, Brouquier-Reddé Véronique et Lenoir Eliane, « Rivages de Maurétanie tingitane », dans Hermon Ella (ed.), *Riparia dans l'Empire romain pour la définition du concept : actes des journées d'étude de Québec, 29-31 octobre 2009*, BAR international series 2066, Oxford, J. and E. Hedges Ltd., 2010, p. 85-100.

Akerraz Aomar et Lenoir Eliane, « Volubilis et son territoire au I^{er} s. de n. è. », dans Ecole française de Rome, *L'Afrique dans l'Occident romain, I^{er} s. av. J.-C., IV^e s. ap. J.-C. : actes du colloque : Rome, 3-5 décembre 1987*, Rome, Ecole française de Rome, 1990, p. 213-229.

Aounallah Samir, *Thugga/Dougga. Ville romano-africaine de Tunisie, histoire et monuments*, Khézama, Contraste, 2006.

Arharbi Rachid, Lenoir Eliane *et alii*, « Recherches sur le quartier sud de Banasa », dans Akerraz Aomar, Ruggeri Paola, Siraj Ahmed (eds.) *L'Africa romana : mobilità delle persone e dei popoli, dinamiche migratorie, emigrazioni ed immigrazioni nelle provincie occidentali dell'impero romano : atti del 16. Convegno di studio, Rabat, 15-19 dicembre 2004*, Rome, Carocci, 2006, p. 2145-2160.

Bonnin Jacques, *L'eau dans l'Antiquité. L'hydraulique avant notre ère*, Paris, Eyrolles, 1984.

Bouzidi Rachid, *L'hydraulique à Volubilis : étude sur l'aqueduc et l'hydraulique du quartier de l'arc de triomphe et du quartier sud*, Mémoire de fin d'étude du deuxième cycle des sciences de l'archéologie et du Patrimoine, Rabat, INSAP, 1991.

Bouzidi Rachid, « L'eau à Volubilis et son territoire : conception, organisation, implantation et évolution des installations hydrauliques », dans Akerraz Aomar, Brouquier-Reddé Véronique et Lenoir Eliane (éds.), *Les ressources en eau des cités et de leurs territoires en*

Maurétanie tingitane (Banasa, Kouass, Lixus, Rirha, Sala, Tanger, Thamusida, Volubilis, Zilil), Actes de la table-ronde internationale, 27-28 février 2009, Rabat, à paraître.

Bridoux Virginie (dir.), *Contrôle et distribution de l'eau dans le Maghreb antique et médiéval*, Rome, École française de Rome, Tunis, Institut national du patrimoine de Tunisie, 2009.

Brouquier-Reddé Véronique, « Les sources d'eau douce et d'eau sulfureuse du territoire de Volubilis », dans Akerraz Aomar, Brouquier-Reddé Véronique et Lenoir Eliane (éds.), *Les ressources en eau des cités et de leurs territoires en Maurétanie tingitane (Banasa, Kouass, Lixus, Rirha, Sala, Tanger, Thamusida, Volubilis, Zilil), Actes de la table-ronde internationale, 27-28 février 2009, Rabat, à paraître.*

Despois Jean et Raynal René, *Géographie de l'Afrique du Nord Ouest*, Paris, Payot, 1967.

Desruelles Stéphane, *L'eau dans l'ensemble insulaire cristallin méditerranéen Mykonos-Délos-Rhénée (Cyclades, Grèce) et sa gestion dans la ville antique de Délos*, Thèse de doctorat, Université Paris-Sorbonne (Paris IV), 2004..

Desruelles Stéphane, Cosandey Claude, Brunet Michèle, Fouache Éric, Peulvast Jean-Pierre et Dalongeville Rémi, « Gestion de l'eau dans la ville antique de Délos : ressources et contraintes », dans Allée Philippe et Lespez Laurent (dir.), *L'érosion entre société, climat et paléoenvironnement*, Table ronde en l'honneur du Professeur René Neboit-Guilhot, 2005, p. 453-458.

Dresch Jean, *Essai sur l'évolution du relief dans la région pré-riétaire*, Paris, Larose, 1933.

Dridri Abdallah, *Etude sédimentologique des terrasses quaternaires et des alluvions actuelles du Moyen Sebou (région de Fès)*, Thèse Troisième Cycle, E.N.S Fès, 1987.

Empereur Jean-Yves, « Alexandrie : l'eau du Nil dans les citernes », *Archéologia*, 471, 2009, p. 38-49.

Etienne Robert, *Le quartier Nord-Est de Volubilis*, Paris, De Boccard, 1960.

- Euzennat Maurice, *Le Limes de Tingitane. La frontière méridionale*, Paris, Éd. du Centre national de la recherche scientifique, 1989.
- Ghilardi Matthieu et Desruelles Stéphane, « Geoarchaeology: where human, social and earth sciences meet with technology », *SAPIENS*, 1, 2008, p. 1-9.
- Le Coz Jean, « Banasa : contribution à l'étude des alluvions rharbiennes », *Bulletin d'Archéologie du Maroc*, 4, 1960, p. 469-470.
- Le Coz Jean, *Le Rharb, Fellahs et colons. Etude de géographie régionale. Tome 1. Les cadres de la nature et de l'histoire*, Iframar, Rabat, 1964.
- Lenoir Eliane, « Banasa », dans Mongne Pascal (ed.), *Archéologies, 20 ans de recherches françaises dans le monde*, Paris, Maisonneuve et Larose, 2005, p. 237-238.
- Lenoir Eliane, « Documents sur le contrôle et la distribution de l'eau dans le Maroc antique », dans Bridoux Virginie (dir.), *Contrôle et distribution de l'eau dans le Maghreb antique et médiéval*, Rome, École française de Rome, Tunis, Institut national du patrimoine de Tunisie, 2009, p. 41-83.
- Lenoir Eliane, « Aperçu sur la gestion de l'eau en Maurétanie tingitane », dans Akerraz Aomar, Brouquier-Reddé Véronique et Lenoir Eliane (éds.), *Les ressources en eau des cités et de leurs territoires en Maurétanie tingitane (Banasa, Kouass, Lixus, Rirha, Sala, Tanger, Thamusida, Volubilis, Zilil)*, Actes de la table-ronde internationale, 27-28 février 2009, Rabat, à paraître.
- Maroc, Direction des mines et de la géologie, *Ressources en eau du Maroc*, Royaume du Maroc, Ministère du commerce, de l'industrie, des mines et de la marine marchande, Direction des mines, de la géologie et de l'énergie, Division de la géologie, 1971, 3 tomes.
- Maroc, Ministère de l'aménagement, du territoire, de l'eau et de l'environnement, *Projet intégré de développement durable du bassin du Sebou*, Rabat, MAEE, 2004.

Maroc, Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, *Atlas du bassin du Sebou*, Royaume du Maroc, Rabat, Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, 1970.

Thouvenot Raymond, *Volubilis*, Paris, Les Belles Lettres, 1949.

Troin Jean-François, *Maroc, Régions, Pays, Territoires*, Paris, Maisonneuve et Larose, 2002.

Ragala Rachid, Desruelles Stéphane, Amat Jean-Paul, Baratte François, Brouquier-Reddé Véronique, Lenoir Eliane, Gramond Delphine, Rocca Elsa et Bernollin Vincent, « De la problématique au modèle conceptuel de données : approche géoarchéologique sous SIG », dans Akerraz Aomar, Brouquier-Reddé Véronique et Lenoir Eliane (éds.), *Les ressources en eau des cités et de leurs territoires en Maurétanie tingitane (Banasa, Kouass, Lixus, Rirha, Sala, Tanger, Thamusida, Volubilis, Zilil)*, Actes de la table-ronde internationale, 27-28 février 2009, Rabat, à paraître.

Sharikah al-Sharīfah lil-Batrūl, *Carte géologique au 1/200,000 du Rharb et Prérif Occidental [Maroc]*. Société chérifienne des pétroles, Paris, Ancns. Etats. Dufrénoy, 1952.

Sträßer Manfred, *Klimadiagramm-Atlas der erde, teil2: Asien, Lateinamerika, Afrika, Australien und Ozeanien, Polarländer*, Dortmund, Duisburger Geographische Arbeiten, 20, 1999, p. 254.

Weisrock André, « Nappes alluviales et basses terrasses du Maroc atlantique », *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 21, 1-3, 1984, p.181-185.

Liste des illustrations

fig.1 : Les deux secteurs d'études dans le bassin versant de l'oued Sebou

fig.2 : Grandes unités géomorphologiques de la région de Volubilis

fig.3 : Eléments de climatologie de la région de Volubilis (sources : Sträßer , 1999 ; données inédites de la station météorologique de Moulay Idriss)

fig.4 : Orographie, hydrographie et secteurs étudiés dans le Gharb

fig.5 : Variabilités saisonnière des débits et interannuelle du module du Sebou à la station de Mechraa Bel Kisri (source des données : Agence du Bassin Hydraulique du Sebou).

fig.6 : Développements méthodologiques mis en œuvre dans le cadre de l'approche géoarchéologique (fenêtre Banasa-Gharb).

fig.7 : Vestiges visibles et tracés hypothétiques de l'aqueduc de Volubilis. (source de l'image : *GoogleEarth*)

fig.8 : Orographie et premiers indices paléohydrographiques de la plaine du Gharb.

fig.9: Distribution spatiale des sites romains actuellement découverts en regard de l'orographie et de l'extension de l'inondation de la plaine du Gharb le 9 février 2009 [Carte archéologique pour la période romaine (sources : Akerraz *et al.* 1995)].