

La diffusion des techniques de creusement des puits et de puisage à travers le Sahara et le Sahel

Sébastien LANGLAIS,¹ Guillaume FAVREAU,²

Roland TAPIA, Christian LEDUC³

¹ONG MASNAT, ²IRD. UMR HydroSciences, Montpellier, ³IRD.
UMR G-Eau

Abstract

A great variety of types of wells and water-lifting devices have been in use through the Sahara and Sahel regions. An analysis of their spatial distribution and evolution through time provides new pieces of information about the origin of their development, often in connection with trade exchanges through the continent. In the Lake Chad basin, some ancient wells have been recently reactivated and bring a rare testimony of both changes through time and similarities of the well lining methods during the last centuries. The Lake Chad Basin appears to be a crossroads where water technologies are transferred between the inhabitants of northwestern Africa.

Introduction

Vivant dans un milieu fortement marqué par l'aridité, les populations du Sahara et du Sahel ont adapté leur mode de vie à la disponibilité en eau, et d'abord à celle, pérenne, des eaux souterraines. Pour exploiter au mieux cette ressource, de multiples techniques ont été développées, et sont remarquables par leur diversité dans le temps et l'espace. Cet article traite des techniques hydrauliques du Sahara et du Sahel dans la double perspective de l'adaptation au milieu et des possibilités d'emprunts, en lien avec les échanges multiséculaires. Dans un premier temps, seront décrites les principales caractéristiques des méthodes de fonçage de puits et les différents moyens de puisage, anciens et plus récents. Ensuite, l'évolution des techniques hydrauliques sera analysée à la lumière des échanges historiques intervenus au sein de ces territoires, et en particulier du bassin du lac

Tchad. Enfin, sera abordée la distribution spatiale des techniques hydrauliques pour estimer si celle-ci peut être considérée comme le résultat d'une diffusion méridienne à travers le Sahara ou bien latitudinale à travers le Sahel.

1. Une diversité d'ouvrages hydrauliques de captage des eaux souterraines

1.1. Les puisards

Au Sahara comme au Sahel, des nappes phréatiques peu profondes et parfois temporaires sont souvent associées aux vallées sèches ou aux mares saisonnières de bas-fonds. Ces puisards, sommairement consolidés en tête d'ouvrage, sont quelquefois étayés dans leur partie immergée (< 1 m) par des cadres de branchages ou de racines de ligneux sélectionnés pour leur résistance (*e.g. Acacia raddiana*). Derrière ce soutènement, sont placés des herbacées ou de menus branchages jouant le rôle de filtre (Foureau 1902). Souvent peu résistants et submergés par les crues d'hivernage, les puisards ont une durée de vie limitée; mais ils peuvent être facilement remplacés sans compétence particulière. Leurs caractéristiques sont donc peu discriminantes et leur répartition spatiale recouvre l'ensemble du bassin tchadien, s'étendant notamment à ses massifs limitrophes d'altitude. Les descriptions ou représentations de ces ouvrages ne montrent pas de différence spatio-temporelle notable (*e.g. au Tibesti, Le Cœur 1950; dans l'Aïr, Bernus 2004*).

1.2. Les puits traditionnels et modernes

Le fonçage de puits pérennes dont la profondeur dépasse la dizaine de mètres est effectué par un puisatier de métier, accompagné d'une main d'œuvre pouvant être moins qualifiée. Le creusement "manuel" au fond de l'excavation s'effectue à l'aide d'outils métalliques rudimentaires. Compte tenu du faible diamètre des puits traditionnels (de l'ordre de 1,4 m), l'espace disponible ne permet qu'à un seul homme de travailler au fond. Ces puits sont foncés dans des terrains plus ou moins consolidés (*e.g. sables gréseux à argileux*) et ne sont étayés qu'au droit des niveaux boulants (*e.g. sable fins éoliens*), le

plus souvent au moyen de cadres en rondins (*e.g.* plaine du Manga au Niger et au Tchad). Au Sahel, les puits traditionnels peuvent ainsi se révéler aussi profonds que les puits modernes cimentés. Dans la région de Filingué (sud-ouest du Niger), ils peuvent dépasser les 70 m de profondeur (Gado 1980) et leur pérennité atteint le siècle (Favreau, 2000). Au Tchad, la région de Samiés (nord-ouest d'Abéché) est dotée de plusieurs dizaines de puits traditionnels, parfois d'une cinquantaine de mètres de profondeur (Clanet 2009). Ces puits, toujours en usage, sont réputés dater de l'empire du Ouaddaï (XVII^e siècle; *in* Nachtigal 1971) et ne sont généralement que peu étayés (J.-C. Clanet, com. pers., 2012). D'un point de vue hydraulique, le principal défaut de ces puits traditionnels est leur faible pénétration dans la nappe, ce qui limite le rendement de l'ouvrage (BURGEAP 1992).

Aujourd'hui, trois grandes techniques de puits modernes coexistent en Afrique sub-saharienne: (i) le puits havé, dont le cuvelage continu est réalisé en surface et que l'on fait descendre sous son propre poids en creusant l'intérieur de l'ouvrage (profondeur < 20 m); (ii) le puits cuvelé en béton armé coulé sur la paroi en remontant (profondeur < 30 m, terrain stable); et enfin (iii) le puits de grande profondeur dont le cuvelage en béton armé est réalisé “à la descente”. Pour les ouvrages profonds, deux grandes techniques ont été développées: dès les années 1900, le puits “Friry” (ou “Fréry”; Durand 1952), puis le puits cuvelé de grand diamètre, à partir du milieu du XX^e siècle. La méthode Friry (diamètre 1,4 m) qui consiste à noyer une armature métallique dans du mortier projeté (BURGEAP 1992), est de moins en moins utilisée; elle a cependant constitué un progrès certain et conserve de l'intérêt lorsque les matériaux sont peu disponibles. Cette technique de cuvelage *in situ*, permettant de soutenir les terrains avec un apport limité de ciment projeté, a été mise au point vers 1905 au Sénégal par le Capitaine de génie Friry. Ce type de puits a ensuite été très utilisé dans tout le Sénégal et la Mauritanie jusqu'en 1913 (Durand 1952). Entre les deux guerres, puis après-guerre, cette technique s'est répandue au Mali, et notamment dans l'Azaouad (Paris 1952). Ces puits Friry ont

également été développés au Niger où ils ont peu à peu été supplantés par des puits plus robustes mais plus consommateurs en ciment: les puits "OFEDES" de 1,8 m de diamètre (Cotula *et al.* 2006). Grâce aux politiques d'hydraulique pastorale, initiées au cours de la période coloniale (à partir des années 1950) pour développer l'élevage extensif (Baroin 2003), les puits cimentés modernes se sont généralisés au Sahel.

L'analyse de la distribution des puits profonds (principalement modernes mais également traditionnels) met en évidence que ces ouvrages sont très majoritairement localisés dans la bande sahélienne, et notamment dans le Ferlo sénégalais, l'Azaouad malien et l'Azaouagh nigérien - où ces ouvrages dépassent régulièrement la centaine de mètres de profondeur. A notre connaissance, le puits le plus profond creusé au Sahel atteint la profondeur de 142 m (Cristini et Langlais 2002).

1.3. *Les puits et forages artésiens*

En Égypte et dans certaines oasis nord-sahariennes, pour assurer une irrigation à flux permanent, une technique de captage artisanale de puits artésien a été développée. Ce type d'ouvrage, de 45 à 80 m de profondeur dans la vallée de l'Oued Rhir en Algérie (cf. Fig. 4), permettait l'irrigation de palmeraies sans apport d'énergie extérieure. Il consistait à capter des eaux captives suffisamment sous pression (dites "artésiennes") pour qu'elles puissent remonter dans l'ouvrage et jaillir naturellement à la surface du sol. Pour cela, il était nécessaire de percer la couche rocheuse imperméable qui rend "captives" les eaux sous-jacentes. Le flux ascendant associé au percement de la couche imperméable au fond du puits entraînait les particules fines de l'aquifère, qui pouvaient ensabler le puits sur 25 à 30 m de hauteur (Laurent 1859). La réhabilitation de ces ouvrages, destinée à recouvrir l'artésianisme initial, contraintait les plongeurs à travailler en immersion à très grande profondeur pour extraire le sable du fond du puits (De Marsily 1986). Aujourd'hui, au Sahara et au Sahel, les nappes captives des grands bassins géologiques sédimentaires, comme celles du

bassin du lac Tchad, sont essentiellement captées par plusieurs centaines de forages de plus faible diamètre, tubés sur quelques centaines de mètres (Schneider 2004).

1.4. Le captage horizontal à l'aide de galeries drainantes

Dans certains contextes hydrogéologiques spécifiques, des techniques de captage gravitaires ont été développées, en particulier pour l'irrigation de palmeraies. C'est le cas des puits artésiens, mais également des galeries drainantes (appelées *qanat* en Iran, *foggara* en Algérie et *khetara* au Maroc), localisées principalement dans les bassins sédimentaires du Sahara septentrional, au pied de l'Atlas marocain et dans le Fezzan libyen. Le principe consiste à creuser une galerie de l'aval vers l'amont, afin d'intercepter le toit de la nappe phréatique. La longueur de la partie amont, située sous le niveau initial de la nappe, est ensuite ajustée pour disposer d'un débit suffisant. Ces galeries drainantes possèdent ainsi à l'amont une partie captante (drainante) pouvant être ramifiée, et à l'aval une partie adductrice qui vient sourdre avant d'irriguer la palmeraie. La présence de ces ouvrages souterrains est aisément identifiable grâce aux nombreux regards verticaux visibles en surface et espacés de façon régulière (Martinez-Santos et Martinez-Alfaro 2012)

Dans le Sahara algérien, la périphérie du plateau du Tademaït (Touat, Gourara, Tidikelt) montre une des plus grandes densités de galeries drainantes jamais creusées en dehors de l'Iran. Captant la nappe "fossile" contenue dans les sables et grès de l'Albien, située dans les formations du Continental Intercalaire, 820 *foggara* ont été répertoriées, dont certaines peuvent atteindre 20 km de long (Remini *et al.* 2010). Des galeries drainantes de conception plus rudimentaire et de moindres longueurs (< 1 km) pouvaient également se rencontrer dans les nappes alluviales d'inféro-flux des vallées de montagne, comme dans certains massifs périphériques du bassin du lac Tchad (Hoggar, Tassili). Ces "*foggara* de vallée" du Sahara sont aujourd'hui largement abandonnées. Au Maroc et ailleurs, les cycles d'entretien et d'abandon des *khetara* de piémont ont été mis en perspective avec les conditions climatiques et socio-politiques (Ruf 2007).

2. Des techniques d'exhaure adaptées à la profondeur de l'eau

Au Sahara et au Sahel, les priorités d'usage de l'eau souterraine peuvent être différentes. En milieu sédentaire, dans les grandes palmeraies du Sahara, l'eau est principalement employée pour la phéniculture, alors qu'au Sahel, l'eau est utilisée essentiellement pour l'alimentation domestique ou pour développer des activités de maraîchage saisonnier (*e.g.* Aïr, vallée de la Komadougou Yobé). Quelle que soit leur appartenance ethnique, les pasteurs sahéliens destinent surtout l'eau souterraine à l'abreuvement du cheptel. En fonction des usages et de la profondeur de l'eau, des techniques spécifiques de prélèvements d'eau ont été développées.

2.1. *La corde, la poulie et la puisette*

Le puits à traction animale et/ou humaine, *i.e.* le puits à *delou* (Tableau 1), nécessite un apport d'énergie important qui se traduit par l'usage de la poulie (*bakra* en arabe égyptien). En milieu sédentaire, la traction humaine peut jouer un rôle majeur pour l'alimentation en eau potable mais est associée à l'usage de puisettes de faible contenance (< 15 L), et à des puits de profondeurs généralement < 30 m. Pour l'abreuvement pastoral du bétail, dès que le volume de la puisette devient important, l'usage d'un ou plusieurs animaux de trait devient indispensable. Classiquement, la contenance de la puisette, autrefois en peau de chèvre et aujourd'hui en caoutchouc et/ou en matériaux synthétiques, est de l'ordre de 20 à 50 L; exceptionnellement elle peut atteindre 80 L et nécessite alors de l'entraide pour déverser l'outre dans les abreuvoirs. Au Niger, dans l'Azawagh, les puits très profonds à traction animale sont munis de 4 à 8 fourches, voire exceptionnellement 12, pourvues chacune d'une poulie en bois (Fig. 1). Ces exhaures multiples forment des chemins de halage, qui rayonnent depuis le puits, dont la longueur fournit une indication sur la profondeur de l'eau.



Figure 1. L'exhaure par traction animale au Sahel. A gauche, un attelage de 5 ânes; à droite, “la corde et la poulie”, deux éléments essentiels pour le pasteur sahélien (ONG Masnat, Chin Fanghalan dans l’Azawagh/Niger, 2004).

2.2. *Les puits à balancier*

Dans les secteurs où la nappe est très peu profonde (< 6 m), le puits à balancier ou à bascule, ou *chadouf* en langue arabe (Tableau 1), est utilisé pour remonter les eaux à moindre effort, notamment pour l’irrigation. Le puits à balancier est composé d’un levier pivotant autour d’une traverse fixée à un support formé de deux montants en bois ou en maçonnerie. Le levier est composé de deux perches pouvant coulisser de façon à s’adapter aux variations de profondeur de l’eau (Fig. 2).

Le système de balancier se manœuvre aisément à la main (par des femmes ou des enfants, Fig. 2), en tirant sur la corde à laquelle est suspendue une puisette que le contrepoids suffit à faire remonter. Pour augmenter le débit de ce type d’ouvrage, il est possible de mettre en place deux à trois balanciers côte à côte. Ce type d’exhaure s’était développé avec des densités d’usage très variables au Sahara et au Sahel, avec plusieurs variantes, notamment au niveau du bâti qui supporte la traverse et le levier.



Figure 2. Un puits à balancier à proximité du lac Tchad (Ph: Picasa, années 1990).

Depuis la fin des années 1970, les moyens d'exhaure modernes comme la moto-pompe tendent à remplacer complètement ces puits à balancier traditionnels. Les derniers chadouf en activité sur la rive nigérienne de la Komadougou Yobé, par exemple, auraient disparu au cours des années 1990 (A. Durand, com. pers., 2012).

2.3. *Les puits à traction animale et à déversement automatique*

Pour l'irrigation de certains jardins, des puits plus élaborés, à traction animale et à déversement automatique de la puisette, ont été localement mis en œuvre. Ce système se compose de deux cordes tirées par un dromadaire (ou un bœuf, ou des ânes), l'une servant à remonter une "outre à manche", tandis que l'autre permet sa fermeture, une fois remplie, puis sa vidange une fois l'eau remontée, dans une cunette reliée à un petit réseau d'irrigation gravitaire.

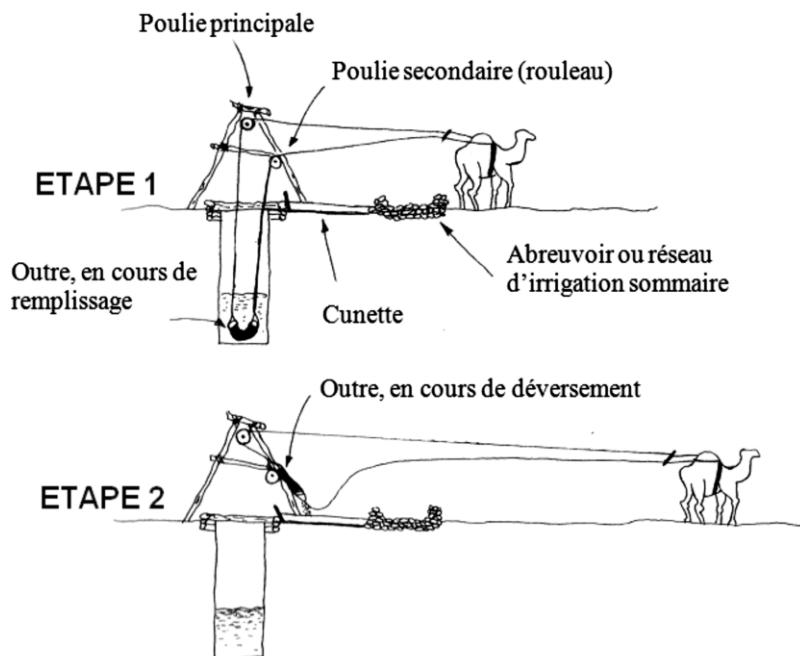


Figure 3. La Tekarkart dans les Bagzan (Aïr, Niger, 2002), puits à traction animale, à déversement automatique (Dessin: A. Cristini). Etape 1: remplissage de l'outre. Etape 2: déversement de l'outre.

Ce système était principalement utilisé dans le Maghreb septentrional (Souss, Djerba) et le Mzab (Algérie) il y a encore quelques années, et était également présent dans le Fezzan (Libye) et dans le Kawar au Niger (Le Cœur 1950). Ce système dénommé *tekarkart* en tamacheq reste utilisé de façon intensive dans le massif de l'Aïr depuis au moins le XIX^e siècle (Bernus 1981), où les puits dépassent rarement 25 m de profondeur.

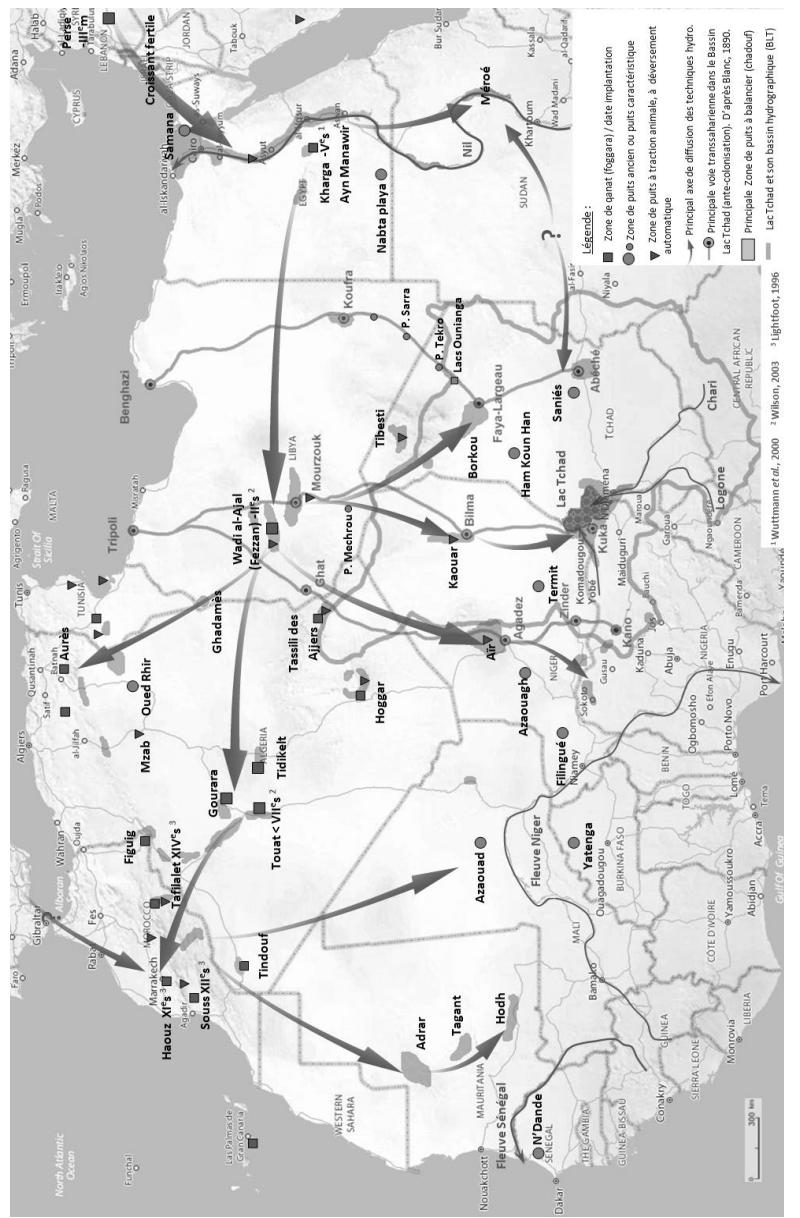


Figure 4. Carte de localisation des principaux sites d'ouvrages hydrauliques cités, et diffusion des techniques de puisage

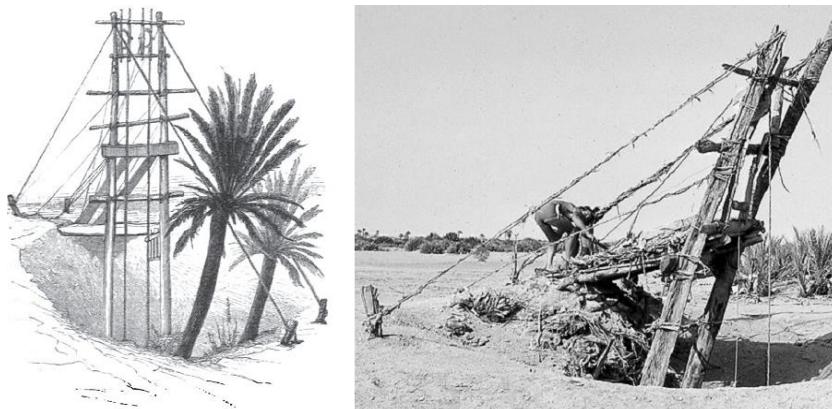


Figure 5. Puits haubané à déversement automatique. A gauche, “Appareil à éléver l'eau dans le Fezzan” (Duveyrier 1864); à droite, système identique à double poulie utilisé récemment pour l'irrigation en Libye (Ph.: Alexandrin 1980).

Dans le Fezzan, une variante de cette technique a perduré, au moins jusqu’aux années 1980: le puits haubané à traction animale. L’ouvrage décrit au milieu du XIX^e siècle par Duveyrier (1864) correspond à ce type d’ouvrage (Fig. 5), également dénommé “puits à échelle” (Lethielleux 1948).

3. Les puits profonds traditionnels, témoins d'échanges techniques anciens

Les points d’eau permanents de *Nabta Playa* (désert égyptien) constituent les plus anciens vestiges (9000 ans av. J.-C.) de captages d’eau souterraine d’Afrique et marquent le début de la néolithisation (Wendorf et Schild 1998). En dehors de l’Egypte où des ouvrages entièrement empierrés (*e.g.* Samana, XIII^e s. av. J.-C.) ont été exhumés (Franzmeier 2008), la littérature relative aux puits anciens et à leur mode de construction est limitée. À la fin du néolithique, à partir du II^e millénaire av. J.-C., les hommes sont devenus capables de produire des outils métalliques grâce à la maîtrise des procédés d’exploitation et de traitement des minerais (*e.g.*, Quéchon et Roset

1974). Deux régions majeures ont ainsi participé à l'essor précoce de la métallurgie en Afrique: (i) pour le fer; le centre du Niger avec la falaise de Teguidit et surtout la zone de Termit (~2000 av. J.-C.), (ii) pour le cuivre; Akjoujt (Mauritanie) où ont été creusées des mines souterraines qui sont parmi les premières d'Afrique, vers le VI^e siècle av. J.-C. (Vernet 1993). Même si les informations archéologiques sur le sujet restent lacunaires, les premiers véritables puits profonds, dont le creusement fut facilité par l'usage d'outils métalliques (Paris, 1952), datent probablement de cette période. Un premier inventaire des puits anciens profonds reconnus dans la bande sahélio-saharienne et situés hors du bassin du lac Tchad est dressé ci-dessous:

- Dans l'Azawagh nigérien (au sud d'In Gall), 23 puits anciens ont été recensés, certains étant encore utilisés comme celui d'In Aghaman (Bernus 1984). Ces puits sont associés aux "gens d'autrefois" ou "gens d'avant", les *Kel iru* des Touaregs. Ces puits auraient donc une origine multiséculaire, antérieure à l'arrivée des Touaregs sur ce site.
- Au sud-ouest du Niger, les *agursa*, des puits profonds de plusieurs dizaines de mètres de profondeur et creusés à travers la cuirasse latéritique des plateaux, sont datés d'avant l'arrivée des Zarma cultivateurs dans la région, aux XVIII^e-XIX^e siècles. Certains de ces puits sont réputés avoir été associés à des chaînes de puisette en fer reliées à un système de cadenas pour en restreindre l'usage (Gado 1980).
- Plus à l'ouest, au Yatenga (Burkina Faso), les puits profonds *kibse* qui atteignent au moins 15 m de profondeur, parfois toujours utilisés, sont foncés dans des roches dures (granite, cuirasse latéritique). Ils auraient été creusés par des populations antérieures aux actuels occupants et datent donc au moins du XV^e siècle (Marchal 1978).

- Au Sénégal, le puits Kalom de N'Dande, remarquable par son diamètre (11 m), pourrait remonter au XIII^e siècle (Descamps et Rosière 2011).
- Au Mali, dans l'Azaouad, au nord de Tombouctou, des puits pluriséculaires (Fig. 6) dont la profondeur peut atteindre 70 m ont été recréusés dans les années 1940-50 par les pasteurs touaregs ou maures (Paris 1952). Les coffrages et les margelles étaient empierreés, alors que de nos jours ils sont principalement boisés. Des armatures métalliques de puisette ont été retrouvées dans certains de ces puits (Paris 1952).

Dans la partie occidentale du bassin du lac Tchad, des puits très similaires à ceux décrits au Mali (coupes techniques Fig. 6) existent aux mêmes latitudes que ces derniers, à proximité du massif de Termit (Niger). Au cours des années 1980-90, les pasteurs ont désensablé certains de ces puits, repérables par les monticules qu'ils forment dans le paysage. Ces ouvrages furent désensablés sur toute leur profondeur (30 à 40 m). Le fait qu'ils aient été comblés, et pour certains oubliés, témoigne d'un hiatus culturel probable entre les premiers constructeurs et les utilisateurs actuels. La variété des équipements en pierres du puits de Dao Dimmi (Fig. 6) illustre les phases successives d'arrêts et de reprises dans l'utilisation de l'ouvrage avec, de bas en haut: (i) une partie captante en trou nu dans la roche (grès), (ii) la partie supérieure des grès probablement plus altérée et en tout cas nettement érodée par les passages successifs de la corde (ou chaîne) et de la puisette associée (Fig. 7), (iii) la partie de base (5 m) du "cuvelage" en pierres sèches cubiques, (iv) la partie sommitale (10 m) du cuvelage en pierres plates et enfin une margelle récente de surface en pierres cimentées. L'érosion de la partie supérieure des grès est issue d'une utilisation de l'ouvrage antérieure à la mise en place du premier niveau de pierres.

Sur ces puits, on note ainsi au moins 3 périodes différentes d'exploitation. La datation du creusement de ces puits, probablement

pluriséculaires, est difficile à estimer mais il est intéressant de noter que les premières pierres mises en place lors de la construction sont de tailles nettement plus importantes que celles utilisées actuellement par les éleveurs toubous.

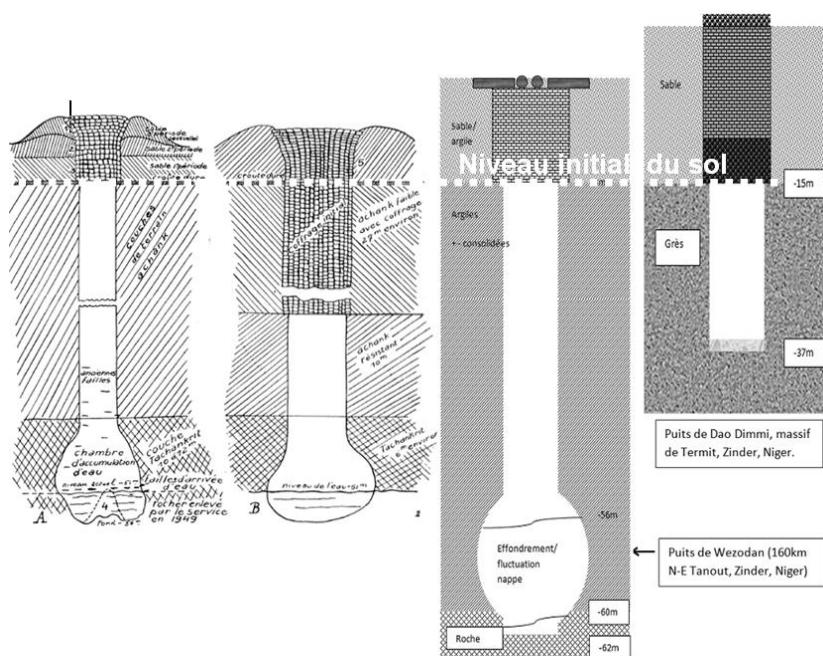


Figure 6. Comparaison d'équipement technique des puits anciens: à gauche, puits de l'Azawad malien (in Paris 1952); à droite puits de la région de Termit/Tanout au Niger (relevé R. Tapia 2009).

Par ailleurs, la remontée successive de la "tête" d'ouvrage semble indiquer une sédimentation en lien avec le transport éolien de sables et/ou avec un usage pluriséculaire du puits. Dans un contexte climatique local aride, à fort dépôt éolien (Durand 1995), il n'est pas rare que le dépôt autour des points d'eau atteigne 1 m tous les 10 à 20 ans (Tapia, obs. pers., 2010).

Une comparaison des coupes techniques des puits anciens de l'Azaouad au Mali et de l'Azaouagh et de la région de Termit au Niger met en évidence de fortes similitudes techniques. La tête d'ouvrage de tous ces puits semble s'être ensablée au cours des derniers siècles, obligeant les utilisateurs à rehausser successivement la partie supérieure, en mettant en œuvre des techniques variables dans le temps, mais comparables, sur des sites distants de plusieurs milliers de kilomètres. Par ailleurs, lors de la réactivation par désensablement des ouvrages de la région de Termit, différents types d'objets ont été exhumés, dont des chaînes métalliques et une statuette d'origine pré-islamique (R. Tapia, com. pers., 2012). Plusieurs témoignages obtenus au Mali (Lhote 1952), au Burkina Faso (Marchal 1978) et au Niger (Filingué *in Gado* 1980; Termit, bassin du lac Tchad) font état de la découverte, au fond des puits, d'anciens moyens d'exhaure en fer. Ces objets anciens, *a minima* antérieurs au XIX^e siècle, seraient donc de conception autochtone, et en lien avec la métallurgie du fer attestée dans ces régions. Les populations actuelles du secteur de Termit ne connaissent pas ce type d'objet et préfèrent tresser des cordes végétales et utiliser des puissettes en cuir.

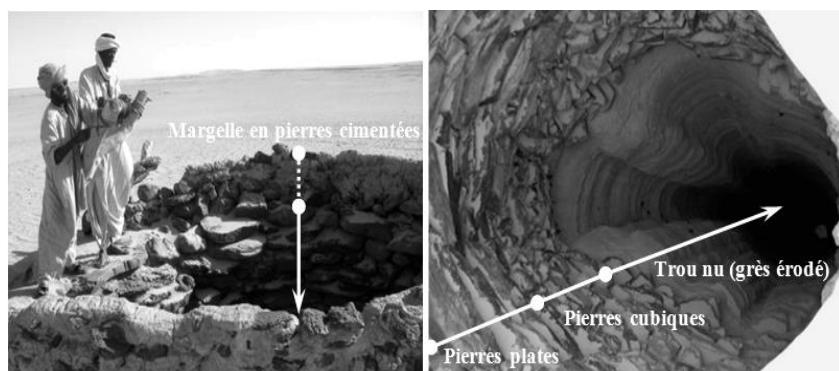


Figure 7. Photographies du puits ancien de Dao Dimmi (2009). Noter l'usure irrégulière du premier niveau d'exhaure, sur lequel a été posé le premier niveau empierre de la margelle (Ph.: R. Tapia)

Sur les puits maliens de l’Azawad dont le creusement est attribué à des populations sédentaires, une origine préislamique des ouvrages a été évoquée sur la base des fluctuations climatiques connues pour cette région (Lhote 1952).

Ces anciens puits du massif de Termit sont parmi les plus anciens connus dans le bassin du lac Tchad. Leur facture est notablement différente des puits profonds *Saniés* (généralement non empierrés) situés à l’ouest d’Abéché, foncés à l’époque de l’empire Ouaddaï (Nachtigal 1971), et dont le creusement a pu bénéficier d’échanges avec le Soudan (J.-L. Schneider, com. pers., 2012). Leur facture est également différente du puits singulier d’ “Ham Koun Han” nettement moins profond, situé au nord du Bahr El Ghazal, réputé pluriséculaire (Schneider 2004).

4. Une diffusion méridienne des techniques d’exhaure et de captage ?

La présence de trois principales “routes caravanières” (Fig. 4), actives jusqu’au début de la période coloniale, a structuré l’aménagement des territoires sahariens et sahéliens du bassin du lac Tchad. A l’ouest, celles empruntées par les caravanes de l’Aïr et du Kanem/Bornou sont anciennes et ont été fréquentées depuis plus d’un millénaire, entre les “ports” sahéliens de la rive sud du Sahara (dont Kano, Zinder et Kuka) et Tripoli au Nord. A l’Est, la difficile route des caravanes du Ouaddaï a été réactivée à la fin du XIX^e siècle, en particulier à l’initiative d’un commerçant de Cyrénaïque (Zimmermann 1914). Ce dernier serait à l’origine du fonçage (en 1895) du puits stratégique de Sarra (71 m) situé entre les lacs Ounianga et Koufra.

Durant les premiers siècles avant notre ère, les Romains sont réputés avoir mené quelques brèves incursions dans le nord du Sahara et surtout avoir entretenu des échanges avec les “Garamantes” (Lethielleux 1948). Ce peuple proto-berbère commerçait à travers le Sahara à l’aide de chars, notamment entre le Fezzan et l’Aïr (Trousset *et al.* 1997). A cette époque, Pline cite le premier la présence

d'aménagements hydrauliques au Sahara: “*Les Garamantes, pour éviter la conquête de leur pays par les Romains, avaient comblé les puits des routes qui y conduisaient*” (in Duveyrier 1864). Dans la région de Garma, leur capitale située au cœur du Fezzan, les Garamantes avaient développé un réseau remarquable de *foggara*, qui ont perduré *a minima* jusqu’au XII^e siècle, où elles furent décrites par Al Idrisi (Capot-Rey 1953). Leur décadence ultérieure serait liée à l’abaissement des nappes suite à l’aridification de plus en plus marquée du Sahara (Wilson 2005). L’usage des galeries drainantes pour l’irrigation n’est pas connu plus au sud (Fig. 3), malgré des conditions hydrogéologiques qui auraient pu le permettre, notamment sur les massifs du pourtour du bassin du lac Tchad (*e.g.* Aïr, Ennedi, Tibesti).

Les échanges transsahariens Nord/Sud, associés au développement de nouvelles palmeraies sahariennes (Tibesti, Borkou, Kaouar) ont, en revanche, pu être à l’origine de la diffusion vers le sud du puits à balancier (*chadouf*), principalement exploité pour l’irrigation et connu en Mésopotamie depuis le III^e millénaire av. J.-C. (Laessøe 1953). Suite à sa propagation le long du “croissant fertile” du Moyen-Orient, on note ensuite sa présence en Egypte, à partir de 1500 av. J.-C., où il figure notamment sur la fresque tombale d’Ipouy (1250 av. J.-C.). Ensuite, les “Garamantes” sont probablement à l’origine de sa diffusion dans le Fezzan peu avant le début de notre ère. Au XII^e siècle, il est cité par le géographe Al Idrisi, dans le Fezzan sous le nom d’Andjaga (Capot-Rey 1953). Autour du XVII^e siècle, cette technique se serait diffusée dans la plupart des palmeraies sahariennes (Lazarev 1989). Cette technique, adaptée pour extraire des eaux souterraines peu profondes, fut également utilisée *a minima* dès le XIX^e siècle dans la partie sahélienne du bassin du lac Tchad, comme le signale H. Barth (1860) lors de son passage en 1851: “*Les rives de la Komadougou [...] sont très pittoresques. Au pied des tamarins est cultivée une très belle qualité de cotonnier, alors que plus bas, [...], le blé est produit sur des parcelles aménagées et irriguées à l'aide du chadouf*”. En dehors du Nil, le bassin du lac Tchad semble ainsi avoir été le principal centre de

pénétration du puits à balancier à travers le Sahara, comme le suggère la distribution différenciée de cette technique au Sahel. Elle est omniprésente dans le bassin tchadien, alors qu'elle l'est beaucoup moins plus à l'ouest au Sahel, bien que les conditions hydrauliques n'y aient pas constitué un frein à son adoption (Fig. 3).

En Afrique du Nord, les premières mentions de puits artésiens remontent au début du XIV^e siècle, date à laquelle l'historien arabe Ibn Khaldoun signale leur présence au cœur du Sahara algérien, et notamment dans les secteurs de Ouargla, de l'Oued Rhir et dans le Touat (Ibn Khaldoun 1856). Par contre, c'est bien plus tard que certaines techniques d'irrigation semblent s'être diffusées vers le Sud, probablement en lien avec le développement agricole, notamment avec la progression méridionale des palmeraies. En 1506, le portugais Fernandes mentionne déjà l'arrosage des jardins à l'aide de "puits à bascule" dans l'Adrar mauritanien (*in* Mauny 1961). La diffusion de la phéniculture a suivi, avec un certain retard, l'avancée de l'islamisation du Sahara, puis du Sahel. C'est ainsi qu'au XVII^e et XVIII^e siècles, des Berbères établirent les premières palmeraies du Tagant (Mauritanie), de Tessalit (Mali), de l'Aïr (Niger), du Kanem et du Borkou tchadien (Lazarev 1989); peu de temps avant, au XVI^e siècle, les marocains implantèrent quelques palmeraies le long du fleuve Niger, après leur conquête de l'empire songhaï. La création de ces palmeraies aurait été accompagnée de l'introduction des techniques d'irrigation comme le puits à balancier dans le Tagant, le Kanem ou le Borkou (Lazarev 1989) et dans l'Aïr où le puits à balancier a précédé le puits à traction animale à déversement automatique (Bernus 1981).

Selon les premiers témoignages écrits européens, le puits à traction animale avec déversement automatique de l'autre semble être présent depuis plusieurs siècles au nord du Sahara, et notamment au Fezzan et dans le Mzab. L'arrivée dans l'Aïr de ce système, que les Touaregs de la région nomment *tekarkart*, est beaucoup plus récente. La tradition orale raconte qu'un pèlerin revenant du *hadj* à la Mecque aurait ramené avec lui une maquette de cette technique d'exhaure pour ensuite la développer

dans l'Aïr (Bernus 1981). Compte tenu des similitudes actuelles, il est probable que la technique ait été empruntée au Fezzan. C'est ainsi que, progressivement, depuis la fin du XIX^e siècle, le puits à traction animale à déversement automatique a supplanté le puits à balancier dans l'Aïr. Ces techniques sont aujourd'hui en forte régression au Maghreb et au nord du Sahara (Algérie, Libye), où les puits sont aujourd'hui exploités à l'aide de moto-pompes.

On retiendra de ce qui précède que la technique de creusement des puits est probablement maîtrisée depuis plusieurs millénaires et qu'elle s'est développée localement, en fonction des besoins et des contraintes environnementales spécifiques. Au contraire, les techniques d'exhaure sont pour certaines allochtones, et n'ont pas toutes traversé le Sahara.

5. Le vocabulaire, marqueur des échanges sur les techniques hydrauliques

Pour maîtriser les contraintes de leur milieu, les nomades, et plus généralement les populations du Sahara et du Sahel, ont été amenés à développer un vocabulaire d'une grande richesse pour décrire certaines caractéristiques géographiques, notamment en rapport avec les points d'eau (Capot-Rey *et al.* 1963; Stolbova 1997). Les différents termes arabes pour nommer un puits se retrouvent de part et d'autres du Sahara, sans différence notable. D'autres dénominations moins largement utilisées comme *khottara* (ou *kutara*), qui, au nord du Sahara, zone probable d'origine de ce système, désignent le plus souvent le puits à balancier, sont également usitées à proximité du lac Tchad et dans la région de Maradi (Raynaut 1984).

Cette analyse lexicale préliminaire semble donc indiquer que les puits à balancier utilisé à proximité du lac Tchad proviennent du nord du Sahara. Au Maroc, l'utilisation de ce nom pour désigner une *foggara* serait liée au transfert concomitant de ces deux techniques d'irrigation; le puits à balancier étant généralement utilisé, mais sans exclusivité, en association avec les *foggara* (Wilson 2005).

Nom français	Sahara occidental (Maroc, Mauritanie)	Sahara septentrional (Algérie, Libye, ...)	Sahara méridional / Sahel (Mali, Niger)	Sahara Oriental (Tchad, Soudan, Egypte)	Anglais (Soudan, ...)
Source	<i>aïn/ayoun</i> (ar.)	<i>aïn/aouïnet</i> (ar.)	<i>shat n'aman</i> (tam.) <i>titt</i> (<i>tam.</i>), <i>ido'n ruwa</i> (ha.) <i>saa</i> (da.)	<i>aïn, ayn</i> (ar.)	Spring
Galerie drainante	<i>khattara</i> (Maroc) <i>foggara</i> (Est Maroc)	<i>foggara/cheffa</i> (Algérie) <i>ngoula /kriga</i> (Tunisie)	<i>efélé/ifelan</i> (tam.)	<i>qanat</i> (Egypte)	Underground drainage gallery
Puisard	<i>oglat</i> (ar.) <i>anou</i> (b.)	<i>atafala/itafalaten</i> (tam.) <i>tilemsi/tilmas</i> (berb) <i>archan</i> (berb)	<i>abankor/ibankar</i> (tam.) <i>gururbe</i> (ha.) <i>buni</i> (da.)	<i>oglat</i> (ar.) <i>tamada, macice</i> (ar.) <i>buni</i> (da.)	Shallow well
Puits à traction animale (à poulie)	puits à <i>delou, naora</i> (ar.) <i>arghour/irghrare</i> (b.), <i>aloukaf/ilouka fene</i> (b.), <i>megrud</i> (b.)	<i>tirest/khetara</i> (Mzab) <i>tanout/tounin</i> (tam.) <i>gherghaz, rerraz</i> (ar.) <i>andjaga, naoura, sanya</i> (Libye)	<i>tekarkart</i> (tam.) <i>rigia</i> (ha.) <i>yigé/yiga</i> (da.) <i>ele</i> (peul)	<i>bakra</i> (ar.) <i>sania</i> (da.) <i>yiege doroso</i> (da., puits profond coffré)	Animal traction (with pulley) Self-Emptying bucket
Puits à balancier (à bascule)	<i>guenina</i> (Maroc) <i>chadolif, acheïlal</i> (ar., Mauritanie)	<i>khetara/sania</i> (Libye) <i>khottara/khatatin, khetara</i> (Souf) <i>agroun</i> (Ouargla) <i>aroudid</i> (Hoggar) <i>gherghaz</i> (El Goléa)	<i>kallingu</i> (tam.) <i>khottara/kutara</i> (ha., kanuri) <i>yoba</i> (da., Kawar)	<i>khetara/sania</i> (Egypte) <i>shaduf</i> (Egypte) <i>yobi</i> (da., Tibesti)	Well Sweep / Counterpoise lift / Balance well
Puits traditionnel	<i>bir</i> (ar.)	<i>bir</i> (ar.) <i>maaten</i> (ar., Libye)	<i>anou/inwan</i> (tam.) <i>gharus/ighuras</i> (tam.) >40 m <i>rigia gargagvia</i> (ha.) <i>boundou</i> (peul)	<i>bir</i> (ar.) <i>saniès/saniyé</i> (ar., prof.>30m)	Hand Dug well
Puits moderne	<i>hassi/bir</i> (ar.)	<i>hassi /bir</i> (ar.)	<i>cimenti</i> (tam.) <i>rigian kankare ou rigian cimenti</i> (ha.)	<i>bir</i> (ar.) <i>garage/garacha</i> (Tchad)	Lining well
Forage avec pompage	<i>hassi/bir</i> (ar.)	<i>hassi</i> (ar.)	<i>fonfu</i> (tam., ha., peul)	<i>fanfanne</i> (ar.) <i>bir</i> (ar.)	Borehole/ Pumping well

Tableau 1. Terminologie des différents types de points d'eau souterrains à travers le Sahara et le Sahel; en arabe (ar.), berbère (b.), tamacheq (tam.), haoussa (ha.), dazaga (da.) ou autres spécifiées.

6. Conclusion: le bassin du lac Tchad, un carrefour d'échanges des techniques hydrauliques

Cette première analyse des distributions dans le temps et l'espace des techniques de captage et de prélèvement des eaux souterraines autour du Sahara, notamment dans le bassin du lac Tchad, met en évidence les points suivants:

1. Une progression d'Est en Ouest ancienne et *a priori* synchrone de la plupart des techniques d'irrigation (*foggara*, puits à balancier, ...), à partir du croissant fertile,
2. Puis, de manière accrue entre les XVI^e et XIX^e siècle, une diffusion méridienne vers le Sud des techniques d'irrigation, notamment *via* le bassin du lac Tchad. Cette extension vers le Sud a traversé intégralement le Sahara, pour le *chadouf*, mais est restée incomplète pour certaines techniques comme le puits à traction animale avec déversement automatique de la puisette, voire même a été inexistante pour les galeries drainantes.
3. Une grande similitude spatio-temporelle dans la construction, l'usage et les moyens d'exhaure des puits profonds au Sahel, qui témoignent d'échanges latitudinaux rapides.

Sur la période historique, sans être un véritable obstacle, le Sahara a donc constitué un frein à la diffusion nord-sud de techniques hydrauliques présentes en Afrique du Nord. Deux techniques majeures n'ont pas atteint le Sahel: la *foggara* et le puits à traction animale à déversement automatique de la puisette, probablement pour des raisons différentes. La *foggara* nécessite des conditions hydrogéologiques pas toujours présentes au Sahel et surtout demande un savoir-faire technique difficile à acquérir en l'absence d'échanges approfondis avec les zones d'emprunt. Le manque de main d'œuvre servile (fortement associée à la construction et à la maintenance des ouvrages) est également une cause possible de non-diffusion de cette technique. Le facteur limitant pour la diffusion du puits à traction animale (à déversement automatique de la puisette) ne semble pas avoir été d'ordre technique mais plutôt d'ordre social, ce système requérant une maîtrise conjointe en élevage et en agriculture irriguée (Raulin 1973).

Au Sahel, les puits profonds, structures pérennes, constituent de rares témoignages de l'évolution et/ou de la diffusion latitudinale d'anciennes techniques de construction. A l'ouest du lac Tchad, les récentes découvertes de puits anciens et d'objets métalliques associés ouvrent aujourd'hui de nouveaux champs de recherche dans le domaine de l'archéologie hydraulique.

7. Remerciements

Les auteurs de cet article remercient les spécialistes consultés, pour leurs disponibilités et leurs conseils qui ont permis d'enrichir ce document de façon substantielle, et notamment: C. Baroin, J.-C. Clanet, A. Durand, J. Maley, J.-L. Schneider et E. Verdier.

Références

- Baroin, C. 2003. "L'hydraulique pastorale, un bienfait pour les éleveurs du Sahel?", *Afrique contemporaine* 205: 205-224.
- Barth, H. 1860. *Voyages et découvertes dans l'Afrique septentrionale pendant les années 1849 à 1855*. Tome I. Bruxelles. Van Meenen [Réédité en 1965. Londres. Frank Cass].
- Bernus, E. 1981. *Touaregs nigériens. Unité culturelle et diversité régionale d'un peuple pasteur* (Mémoires ORSTOM n° 94). Paris. ORSTOM.
- 1984. "Les ressources en eau, La région d'in Gall / Tegidda-n-tesemt", *Études Nigériennes* n° 48, ch. 3: 123-138.
- 2004. "Des nappes à tous les étages", *Revue de Géographie alpine* 92 (1): 7-16.
- Blanc, E. 1889. *Grandes routes commerciales du Sahara*. Carte. Paris. Société de Géographie.
- BURGEAP. 1992. *La construction des puits en Afrique tropicale*. Coll. Tech. Rurales en Afrique. Min. de la coop. et du développement.
- Capot-Rey, R. 1953. *Le Sahara français. L'Afrique blanche française*. Tome 2. Paris. Edition PUF, 564 p.

- , A. Cornet et B. Blandin de Thé. 1963. *Glossaire des principaux termes géographiques et hydrogéologiques sahariens*. Alger. Institut de Recherches Sahariennes.
- Clanet, J.-C. 2009. “Des éleveurs pauvres globalement, mais riches localement”: 17-35 in Duteurtre, G. et B. Faye, *L'élevage, richesse des pauvres*. Versailles. INRA.
- Cotula, L., C. Hesse, O. Sylla, B. Thebaud, K. Vogt, G. Vogt. 2006. *Droits fonciers et accès à l'eau au Sahel* (Dossier n° 139). Londres. IIED.
- Cristini, A., S. Langlais. 2002. “Le point d'attache, c'est le puits. H2O”, *Journal de l'association HSF* 41: 10-11.
- De Marsily, G. 1986. *Quantitative hydrogeology*. Orlando, United States. Academic Press Inc., 440 p.
- Descamps, C., P. Rosière. 2011. “Kalom, un très vieux puits dans le Kayor (Sénégal)”, *Images et Mémoires*, Bulletin n° 29: 15-17.
- Durand, A. 1995. “Sédiments quaternaires et changements climatiques au Sahel central (Niger et Tchad)”, *Africa Geoscience Review* 2 (3/4): 323-614.
- Durand, R. 1952. *Le problème de l'eau et des puits en Mauritanie*, *Bulletin d'information de l'AOF* 137: 15-19.
- Duveyrier, H. 1864. *Les Touaregs du Nord*. Paris. Challamel Ed.
- Favreau, G. 2000. *Caractérisation et modélisation d'une nappe phréatique en hausse au Sahel*. Thèse doctorat, Univ. Paris-11, 258 p.
- Foureau, F. 1902. *D'Alger au Congo par le Tchad*. Paris. Ed. Masson. 829 p.
- Franzmeier, H. 2008. *Wells and Cisterns in Pharaonic Egypt: The Dev. of a Technology as a Progress of Adaptation*. Actes du 8^{ème} colloque Current Research in Egyptology, 2007, Swansea.
- Gado, B. 1980. “Le Zarmatarey. Contribution à l'histoire des populations d'entre Niger et Dalol Mawri”, *Etudes nigériennes* 45. Niamey, 356 p.
- Ibn Khaldoun. 1856. *Histoire des Berbères et des dynasties musulmanes de l'Afrique septentrionale*. Traduction du Baron de Slane. Alger. Imprimerie du Gouvernement.
- Laessøe, J. 1953. “Reflexions on Modern and Ancient Oriental Water Works”, *Journal of Cuneiform Studies*: 5-26.

- Laurent, C. 1859. *Mémoire sur le Sahara Oriental au point de vue de l'établissement des puits artésiens dans l'oued Souf, l'Oued R'ir et les Zibans*. Extrait des mémoires de la Société des ingénieurs civils. Paris. Bourdier.
- Lazarev, G. 1989. "L'oasis. Une réponse à la crise des pastoralismes dans le Sahel?", *Les Cahiers de la Recherche Développement* 22: 69-82.
- Le Cœur, C. 1950. *Dictionnaire ethnographique Teda*. Mémoire de l'Institut ethnographique d'Afrique noire, n° 9. Paris. Ed Larose.
- Lethielleux, J. 1948. *Le Fezzan, ses jardins, ses palmiers. Notes d'ethnographie et d'histoire*. Tunis. Pub. Inst. Belles Lettres Arabes.
- Lhote, H. 1952. "Au sujet d'objets anciens de la région de Tombouctou et des puits de l'Azaouad", *Notes Africaines* 53: 79-82.
- Lightfoot, D. R. 1996. "Morrocan khettara. Traditional irrigation and progressive dessication", *Geoforum* 27 (2): 261-273.
- Marchal, J-Y. 1978. "Vestiges d'occupation ancienne au Yatenga (Haute Volta), une reconnaissance du pays Kibga", *Cahiers ORSTOM, Sciences Humaines*, vol. XI, n° 4: 449-484.
- Martinez-Santos, P., P.E. Martinez-Alfaro. 2012. "A brief historical account of Madrid's Qanats", *Ground Water* 50 (4): 645-653.
- Mauny, R. 1961. *Tableau géographique de l'Ouest africain au Moyen âge: d'après les sources écrites, la tradition et l'archéologie*. Dakar. IFAN, 587 p.
- Nachtigal, G. 1971. *Sahara and Sudan. Vol. 4, Wadai and Darfur*. London. Hurst and co Publ., 439 p.
- Paris, E.-J. 1952. "Note sur les puits de l'Azaouad (Soudan)", *Notes Africaines* 53: 24-29.
- Quechon, G., J.-P. Roset. 1974. "Prospection archéologique du massif de Termit (Niger)", *Cahiers ORSTOM, Série Sc. Hum.* 11 (1): 85-104.
- Raynaut, C. 1984. "Outils agricoles de la région de Maradi", *Cahiers ORSTOM. Sc. Humaines*, Vol XX, n° 3-4: 505-536.
- Raulin, H. 1973. "Diffusion et blocage des cultures matérielles": 207-219 in Sauter, Marc et alia (éd.), *L'Homme: hier et aujourd'hui, recueil d'études en hommage à Leroi-Gourhan*. Paris. Ed. Cujas.

- Remini, B., B. Achour, R. Kechad. 2010. "La foggara en Algérie: un patrimoine hydraulique mondial", *Revue des Sciences de l'Eau* 23 (2): 105-117.
- Ruf, T. 2007. "Au fond de la Khetara Lahloua", *Sciences au Sud* 40: 1-5.
- Schneider, J-L. 2004. *Géologie, archéologie, hydrogéologie de la République du Tchad*. Vols. 2. Thèse BRGM, Orléans, 395 p.
- Stolbova, O. 1997. "Vocabulary of water in Chadic": 81-87 in Barreteau, D. et U. Seibert (éd.), *L'homme et l'eau dans le bassin du lac Tchad* (Sém. du Réseau Méga-Tchad, Goethe-Universität, Frankfurt, 1993). Paris. Éd. ORSTOM.
- Troussel, P., J. Despois, Y. Gauthier, Ch. Gauthier. 1997. "Fezzân", *Encyclopédie berbère*, Tome 18, Edisud: 2777-2817.
- Vernet, R. 1993. *La préhistoire de la Mauritanie*. Centre Culturel Français de Nouakchott, 427 p.
- Wendorf, F. & R. Schild. 1998. "Nabta playa and its role in Northeastern African Prehistory", *Journal of Anthropological Archeology* 17 (2): 97-123.
- Wilson, A.I. 2005. "Foggara irrigation, early state formation and Saharan trade: the Garamantes of Fazzan": 223-34, *Schriftenreihe der Frontinus Gesellschaft* 26 (Internationales Frontinus-Symposium, Wasserversorgung aus Qanaten – Qanate als Vorbilder im Tunnelbau, Octobre 2003). Walferdange, Luxembourg.
- Wuttmann, M., T. Gonon, C. Thiers. 2000. "The qanats of Ayn-Manawir (Kharga oasis, Egypt)", *Journal of Achaemenid Studies and Researches*:
<http://www.achemenet.com/pdf/jasr/jasr2000.1.pdf>.
- Zimmermann, M. 1914. "Peuplement et état économique du Ouadai", *Annales de Géographie*, Tome 23, n° 128: 187-189.

