

# Introduction aux méthodes de l'archéoastronomie

## Première partie : Application à l'identification des décans égyptiens

par Karine Gadré,

Laboratoire d'Astrophysique de Toulouse-Tarbes, Université de Toulouse, CNRS  
Observatoire Midi-Pyrénées – 14 Avenue Edouard Belin – 31400 Toulouse – France  
E-mail : karine.gadre@ast.obs-mip.fr – Web : <http://www.ast.obs-mip.fr/gadre>

**Résumé** : Cet article, le premier d'une série de deux, constitue le compte-rendu d'un séminaire public donné au Bureau des Longitudes le 6 février 2008 et disponible à l'écoute sur le site Web de la radio Canal Académie (Gadré, 2008b). Après une brève introduction à l'archéoastronomie, nous exposons le principe de la démarche archéoastronomique puis l'appliquons à la résolution d'une problématique égyptologique : l'identification des décans égyptiens, qui constitua l'objet de ma thèse de doctorat (Gadré, 2008c).

**Abstract** : This article, the first one in a series of two, is the proceedings of a public lecture made at the Bureau des Longitudes, Paris, on the 6<sup>th</sup> February 2008, and available on download on the website of the radio Canal Académie (Gadré, 2008b). After a brief introduction to Archaeoastronomy, we detail the logic of an archaeoastronomical study then apply it to the solving of a well-known egyptological problem : the identification of the old Egyptian decanal stars, which was the topic of my doctoral dissertation (Gadré, 2008c).

### 1. Introduction à l'archéoastronomie

On désigne par « archéoastronomie » la combinaison de deux disciplines : « archéologie » et « astronomie ». Plus précisément, l'archéoastronomie consiste en l'étude de l'orientation ou du contenu astronomique de vestiges archéologiques. Les vestiges archéologiques peuvent être de différentes natures : architecturale (ensembles mégalithiques, temples, tombes), pariétale (bas-reliefs, plafonds astronomiques) et textuelle (glyphes, papyrus). Leur découverte incombe aux équipes de fouilles archéologiques. En revanche, l'étude de l'orientation ou du contenu astronomique de ces vestiges incombe aux astronomes, aidés des historiens et des philologues (voir §2). Ainsi, toute étude archéoastronomique requiert la collaboration d'archéologues, d'historiens, de philologues et d'astronomes (Gadré, 2005). En cela, elle constitue un exemple de travail pluridisciplinaire.

## 2. Le principe de la démarche archéoastronomique

La collaboration avec des archéologues, des historiens et des philologues d'une part, mon travail de thèse effectué au Laboratoire d'Astrophysique de Toulouse-Tarbes (LATT) sous la direction de Sylvie Roques d'autre part (Gadré, 2008c), ont permis de définir le principe de la démarche archéoastronomique. Il est ainsi apparu qu'une étude archéoastronomique devait s'effectuer selon les étapes suivantes :

1. **constitution d'une base de données archéologiques exhaustive**. Cette base de données doit rassembler l'ensemble des vestiges présentant certaines similitudes : monuments érigés à une même époque historique ou en un même lieu, listes d'étoiles dans l'ordre de leurs levers ou de leurs culminations, etc. A ce stade, la contribution des archéologues est primordiale ;
2. étude de l'orientation ou du contenu astronomique des vestiges constituant la base de données archéologiques en vue de **déterminer les conditions spatiales, temporelles et optiques d'observation du ciel** : la latitude du site d'édification des monuments considérés ou latitude du site d'observation ; l'époque d'édification de ces monuments ou de constitution des listes d'étoiles en question ; enfin, l'acuité visuelle du ou des observateurs. Les résultats de ce travail effectué par les astronomes doivent être en accord avec les données historiques et philologiques dont nous disposons. La collaboration des historiens est donc indispensable ;
3. **conception d'un modèle de visibilité d'objet céleste** (étoile, Lune, planète) **à l'œil nu** en vue de recréer la réalité astronomique observée à l'époque historique considérée : le lever héliaque d'une étoile, par exemple. Ce modèle combine certains paramètres astrométriques (mouvement propre de l'objet considéré, mouvement de précession de l'axe du monde, mouvement orbital de la Terre autour du Soleil, etc.) et divers critères de visibilité de cet objet dans le ciel (augmentation de sa magnitude apparente sous l'effet de l'extinction atmosphérique, brillance du ciel en lieu et place de l'objet, acuité visuelle de l'observateur, etc.). La constitution de ce type de modèles incombe aux seuls astronomes ;
4. **application de critères archéologiques, historiques, philologiques et astronomiques aux résultats fournis par le modèle** en vue de réduire le nombre de résultats possibles : le nombre d'étoiles candidates à l'orientation d'un monument, par exemple. La définition et l'application de ces critères requièrent les compétences des historiens et des astronomes ;
5. **tests de validité du ou des résultats obtenus** :
  - examen de la résistance du ou des résultats fournis par le modèle à des variations réalistes d'époque historique, de latitude du site d'observation, de conditions météorologiques locales, d'acuité visuelle de l'observateur ;
  - examen de la compatibilité du ou des résultats fournis par le modèle avec diverses sources historiques : cérémonies de fondation de temples, par exemple.

Cette dernière étape requiert les compétences des astronomes et des historiens.

Appliquée à l'Égypte ancienne, cette démarche a permis d'identifier chacun des quatre-vingt dix décans égyptiens (voir §3) et de déterminer la source astronomique d'orientation de plusieurs édifices : les pyramides de l'Ancien Empire d'une part, les temples d'Isis et d'Hathor à Dendérah d'autre part (Gadré, 2009b). Elle a fait l'objet de plusieurs présentations orales, notamment au Bureau des Longitudes, Paris, et au Centre François Viète d'Histoire des Sciences et des Techniques, Nantes, en février 2008. Ces présentations sont disponibles en téléchargement sur le site Web de la radio Canal Académie (Gadré, 2008b).

### 3. Exemple applicatif : identification des décans égyptiens

#### 3.1. Constitution de la base de données archéologiques

Sur l'intérieur du couvercle de sarcophages, sur la surface extérieure de clepsydres, au plafond de temples et de tombes datés de l'an 2100 à l'an 50 BC et disséminés tout le long de la Vallée du Nil, entre Alexandrie au nord et Assouan au sud, figurent vingt horloges stellaires et quatre-vingt listes d'étoiles. Ces cent vestiges constituent la base de données archéologiques (Gadré et Roques, 2007).

L'examen de ces cent vestiges permet de dresser un catalogue de 90 étoiles (Gadré et Roques, 2008a) qui diffèrent les unes des autres au travers de leurs appellations hiéroglyphiques respectives (Table 1). Parmi celles-ci figure *spd*, identifiée à Sirius, ainsi que les étoiles définissant les contours de *s3h*, la constellation d'Orion (Brugsch, 1883 et Petrie, 1940). L'identification des 89 autres étoiles égyptiennes à des étoiles visibles à l'œil nu – c'est-à-dire de magnitude apparente inférieure ou égale à 6 – du catalogue *Hipparcos* (ESA, 1997) a constitué l'objet de ma thèse de doctorat (Gadré, 2008c).

Numéro	Désignation hiéroglyphique	Translittération	Traduction de l'appellation hiéroglyphique
28a		<i>msdr s3h</i>	L'oreille de Sah
28b		<i>iwn s3h</i>	La colonne (vertébrale) de Sah
29a		<i>wcr̄t hrt s3h</i>	La jambe inférieure de Sah
29b		<i>wcr̄t hrt s3h</i>	La jambe supérieure de Sah
30		<i>tpy-ᶜspd</i>	Le prédécesseur de Soped
31		<i>spd</i>	Soped
31a		<i>tpy-ᶜknmt</i>	Le prédécesseur de Kenmet
31b		<i>štwy</i>	Les deux tortues

Table 1 : Extrait du catalogue d'étoiles égyptiennes (Gadré et Roques, 2008a).

#### 3.2. Détermination des conditions temporelles, spatiales et optiques d'observation

La position qu'occupe l'étoile Sirius sur les vingt horloges stellaires dont nous disposons à l'heure actuelle permet de connaître leur principe de fonctionnement (Gadré et Roques, 2008d) et de constituer vingt listes d'étoiles dans l'ordre de leurs apparitions à l'est du ciel nocturne ou crépusculaire de l'Égypte ancienne (Gadré et Roques, 2009a). Au total, nous disposons donc de cent listes dont la comparaison de leurs arrangements stellaires respectifs aboutit à leur regroupement en six types de listes notés *tm3t*, *knmt*, *Senenmout*, *Séthi IC*, *Séthi IA* et *Séthi IB* (Gadré et Roques, 2008d et 2010). Toutes mentionnent les étoiles dans l'ordre de leurs levers héliaques successifs et de leurs levers nocturnes ou de leurs culminations dans le méridien du lieu, à dix jours d'intervalle. Ce qui explique la raison pour laquelle ces étoiles ont été qualifiées de décanales. Dans ce qui suit, nous parlerons donc de « décans » égyptiens.

La comparaison entre les arrangements stellaires caractérisant chacun des six types de listes permet de déterminer l'ordre et l'époque de conception des prototypes en question (Gadré et Roques, 2009a et 2010). Il apparaît ainsi que les six prototypes de listes ont été conçus dans l'ordre suivant : *ṯmʃt* puis *knmt* puis *Senenmout*, *Séthi IC*, *Séthi IA* et *Séthi IB*, entre l'an 2100 et l'an 1800 BC (Table 2).

Listes de type <i>ṯmʃt</i>	Listes de type <i>knmt</i>	Listes de types <i>Senenmout</i> , <i>Séthi IC</i> et <i>Séthi IA</i>	Listes de type <i>Séthi IB</i>
2101 – 2022 BC	1941 – 1862 BC	1901 – 1782 BC	1881 – 1842 BC
Dynastie XI	Dynastie XII (Moyen Empire)		

Table 2 : Datation astronomique des six types de listes d'étoiles, en relation avec la chronologie égyptienne (Gadré et Roques, 2009a et 2010).

L'étude de divers écrits mentionnant le lever héliaque de l'étoile Sirius dans le passé de l'Égypte (*Papyrus el-Lahoun*, *Calendrier Ebers*, *Texte de fondation du temple d'Hathor à Dendérah*, *De Die Natali de Censorinus*, etc.) permet de déterminer la valeur moyenne de l'acuité visuelle des astronomes égyptiens – paramètre connu sous le nom de *Rapport de Snellen* (Gadré, 2004).

Enfin, il apparaît que le contenu des six prototypes de listes d'étoiles s'adapte à tout lieu de latitude égyptienne (Gadré et Roques, 2010). Aussi, la détermination de la latitude du site d'observation requiert la prise en compte d'une donnée encore non exploitée : la période d'invisibilité annuelle des étoiles décanales ou laps de temps qui s'écoule entre leurs jours de coucher et de lever héliaques respectifs.

Les informations contenues dans le *Livre de Nout*, le *Texte Dramatique* et le *Papyrus Carlsberg I* (Neugebauer et Parker, 1960) révèlent que la période d'invisibilité annuelle de l'étoile Sirius<sup>1</sup> et des autres étoiles décanales<sup>2</sup> était de 70 jours aux lieux et époques historiques considérés.

1 PC V,44 : « (...) it happens that she (Sirius) customarily spends seventy days in the Duat and she rises again. » ; PC VI,4 : « (...) Orion and Sirius, who are the first of the gods (...) customarily spend seventy days in the Duat <and they rise> again. »

2 PC E.III,1-2 : « (...) a star dies and a star lives every decade (of days) (...) which goes around the year » ; BN V : « One dies and another lives every decade (of days). » ; PC E.III,26 : « One (star) dies and another lives every decade (of days). [One] sets while another rises every [decade] ; DT 6-12 : « (...) The one which goes to the earth dies and [enters the Duat. It stops in the House of Geb] seventy [days. It looses] its [impurity] to the earth in seventy days (...) They are pure, they live, and their heads are placed for them in the east. It happens that [one] dies and another lives [every decade (of days)] (...) They go forth from the Duat and they withdraw to the sky. (...) Their burial take place like (those of) men. Its duration in the Duat indeed takes place. This is <what is done by the dying>.(...) » ; PC V,16 : « (...) It happens that it is with Re that they rise from the House [of Geb]. » ; PC V,24 : « With this god (Re) they [enter] and with him they go forth. It is with the god that they set and it is with him that they rise again. » ; PC V,31-2 : « (...) The mother of the gods (Nut) – that is to say, because [she bore] them – that is to say, the stars. » ; PC V,35 : « The one which goes to the earth dies and enters the Duat. (...) » ; PC V,37-9 : « It stops in the House of Geb seven decades (of days). (...) It looses its impurity to the earth in seven decades. (...) It is said : It is [in] the Embalming-House that [it] is left for seventy days until ... » ; PC V,41 : « The name of « Living » is pronounced to the one having loosened (...) » ; PC V,43-4 : « It is pure and it comes into existence in the horizon like Sirius. It rises and it comes into existence in the horizon like Sirius – that is to say, every one of them (i.e., the stars). It means : Sirius – it happens that she customarily spends seventy days in the Duat and she rises again. » ; PC VI,1-4 : « They are pure, they live, and they show their heads in the east. They rise, they shine, and they appear in the east. It happens that one dies and another lives every decade (of days). The setting of one takes place and another rises every decade. These are the heads of the gods. These are the risings of the gods. Another version : these – that is to say, Orion and Sirius, who are the first of the gods – that is to say, they customarily spend seventy days in the Duat <and they rise> again. » ; PC VI,21-3 : « The life

Par ailleurs, une relation étroite lie la période d'invisibilité annuelle d'une étoile à sa magnitude apparente, à sa distance à l'écliptique et à la latitude du site d'observation. Connaissant la magnitude apparente de l'étoile Sirius ( $m = -1,44$ ) et sa distance à l'écliptique vers l'an 2000 BC ( $\beta \approx -35^\circ$ ), nous sommes en mesure d'établir une relation directe entre sa période d'invisibilité annuelle et la latitude du site choisi pour l'observation (Gadré et Roques, 2010).

Afin de déterminer la période d'invisibilité annuelle de toute étoile visible à l'œil nu, nous avons conçu un modèle de visibilité d'étoile à l'œil nu dans le ciel de l'Égypte ancienne (voir §3.3) (Gadré et Roques, 2010).

### 3.3. Conception d'un modèle de visibilité stellaire à l'œil nu

Le modèle de visibilité stellaire nous a permis de déterminer les dates de coucher et de lever héliaques de toute étoile – en d'autres termes, les instants auxquels chaque étoile devient visible à l'est ou disparaît à l'ouest du ciel crépusculaire. Pour ce faire, nous avons (Gadré et Roques, 2010) :

1. constitué une base de données stellaires. Cette base de données regroupe l'ensemble des étoiles visibles à l'œil nu – c'est-à-dire de magnitude apparente inférieure ou égale à 6 – du catalogue *Hipparcos* (ESA, 1997). Au total, ce sont 5041 étoiles ;
2. localisé les 5041 étoiles constituant la base de données sur la voûte céleste locale à l'époque historique considérée<sup>3</sup>. A cette fin, plusieurs éléments astrométriques ont été pris en compte : principalement le mouvement propre à chaque étoile et le mouvement de précession dont est animé l'axe de rotation de la Terre<sup>4</sup> ;
3. localisé le Soleil sur la voûte céleste locale en chaque instant de l'époque historique considérée. Cela nécessite de considérer divers éléments de l'orbite de révolution de la Terre autour du Soleil ;
4. déterminé les instants auxquels chaque étoile et le Soleil traversent l'horizon local en chaque jour de l'époque historique considérée ;
5. mis en place un test de visibilité de chaque étoile non circumpolaire entre les instants auxquels l'étoile et le Soleil apparaissent à l'est et disparaissent à l'ouest. Cette étape a nécessité la quantification préalable des effets de l'extinction atmosphérique sur l'augmentation de la magnitude apparente de chaque étoile, le calcul de la brillance du ciel en lieu et place de l'étoile considérée ainsi que la détermination du seuil de détection du point source que constitue chaque étoile par l'observateur égyptien.

---

of the stars. The rising of the stars (...) <They> go forth from the Duat (...) and they withdraw to the sky (...) - that is to say, and they rise in the sky, becoming distant from earth. » ; PC VI,38-42 : « <Their burials> take place like (those of) men (...) - that is to say, they are the likeness of the burial-days which are for men today - that is to say, the seventy days which they pass in the Embalming-House before the utterance of words by them. That is their way of rest. It (the star) is « Chief of the Book » when it praises in order to recite the 42 utterances, so that it may withdraw. Its duration in the Duat indeed takes place. It is the taking place of its duration in the Duat - that is to say, every one of the stars - that is to say, seventy days. This is what is done by the dying. The one which sets is the one which does this - that is to say, the stars among them which goes to the Duat. »

3 Les étapes 3, 4 et 5 du test de visibilité concernent uniquement les étoiles non circumpolaires. Cette deuxième étape s'accompagne donc de l'exclusion, de la base de données stellaires, des étoiles dont la période d'invisibilité annuelle est égale à 0 ou 365 jours aux lieux et époques considérés.

4 La précision recherchée sur la détermination des dates de coucher et de lever héliaques de chaque étoile est d'une journée. Cette imprécision nous permet d'ignorer divers paramètres astrométriques de moindre importance tels que la nutation, l'aberration, la parallaxe et la déviation gravitationnelle.

L'application, à ce modèle de visibilité stellaire, des contraintes temporelles et optiques définies au §3.2, nous a permis de constituer un échantillon de 1166 étoiles dont la période d'invisibilité annuelle était voisine de 70 jours – plus exactement, comprise entre 50 et 90 jours, en tout lieu de latitude  $\varphi$  comprise entre  $24^\circ$  (Assouan) et  $31^\circ$  (Alexandrie) (Fig. 1). Il est notamment apparu que la période d'invisibilité annuelle de Sirius était de 70 jours à Memphis ( $\varphi \approx 30^\circ$ ) en l'an 2000 BC. Pour cette raison, nous avons adopté  $30^\circ$  pour latitude du site d'observation des étoiles décanales.

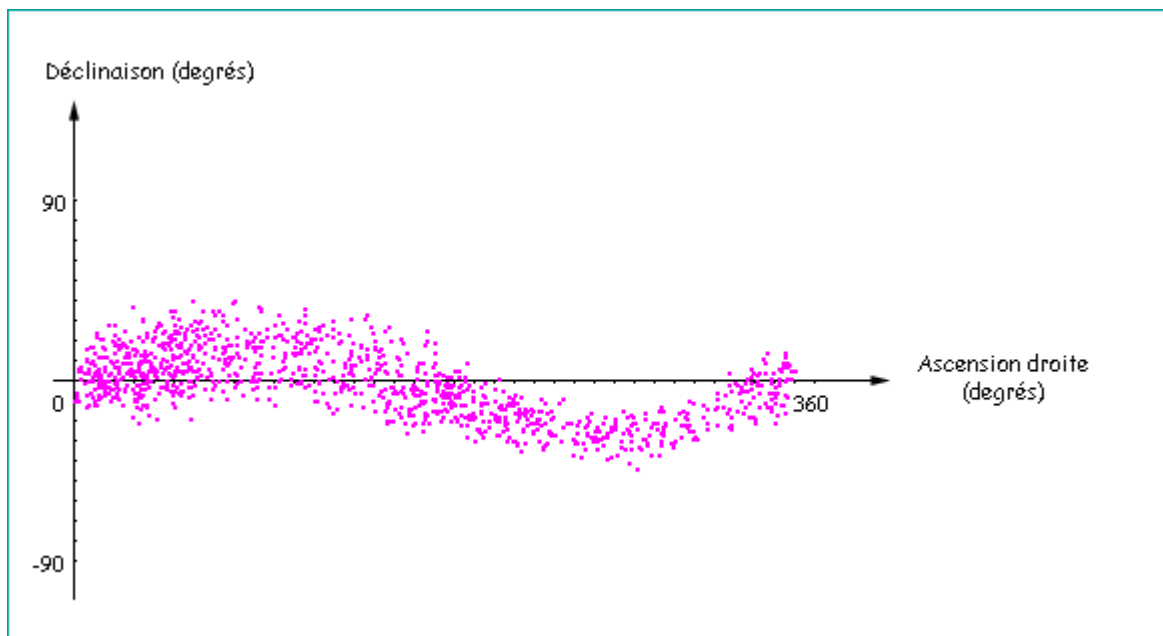


Figure 1 : Localisation spatiale des 1166 étoiles dont la période d'invisibilité annuelle était voisine de 70 jours – plus exactement, comprise entre 50 et 90 jours, à Memphis, en l'an 2000 BC. Ces étoiles se situent entre l'écliptique et la parallèle à l'écliptique passant par Sirius.

### 3.4. Restriction de l'échantillon d'étoiles candidates aux décans égyptiens

Afin de réduire la taille de l'échantillon de 1166 étoiles candidates aux 90 décans égyptiens, nous avons (Gadré et Roques, 2010) :

1. examiné la succession des apparitions à l'est et des culminations dans le méridien du lieu des 1166 étoiles dont la période d'invisibilité annuelle était comprise entre 50 et 90 jours à Memphis vers l'an 2000 BC, puis effectué une comparaison avec les six prototypes de listes d'étoiles dont nous disposons. Nous avons ainsi obtenu un échantillon d'étoiles candidates à chacun des 90 décans égyptiens ;
2. privilégié, à l'intérieur de chacun des 90 échantillons d'étoiles candidates, celles de faible magnitude apparente dont l'indice de couleur et la localisation spatiale expliquent au mieux la signification hiéroglyphique de chacun des 90 décans égyptiens et l'imagerie céleste associée.

Nous avons ainsi obtenu un échantillon de 175 étoiles candidates aux 90 décans égyptiens (Table 3). Ces étoiles sont caractérisées par une magnitude apparente inférieure ou égale à 5.

Numéro	Désignation hiéroglyphique	Translittération	Etoile(s) associée(s)
28a		<i>msdr s3h</i>	lambda Orionis
28b		<i>iw n s3h</i>	dzeta Tauri
29a		<i>w<sup>c</sup>rt hrt s3h</i>	kappa Orionis
29b		<i>w<sup>c</sup>rt hrt s3h</i>	beta Orionis
30		<i>tpy-<sup>c</sup>spd</i>	kappa Orionis
31		<i>spd</i>	alpha Canis Majoris
31a		<i>tpy-<sup>c</sup>knmt</i>	« tête de l'Hydre »
31b		<i>štwy</i>	27, 28 et dzeta Monocerotis

Table 3 : Propositions d'identification de quelques-uns des 90 décans égyptiens (Gadré et Roques, 2008b).

### 3.5. Tests de validité des identifications proposées

L'échantillon de 175 étoiles candidates aux 90 décans égyptiens a été soumis à des variations réalistes d'époque historique, de latitude du site d'observation, de conditions météorologiques locales et d'acuité visuelle de l'observateur. Nous avons montré (Gadré et Roques, 2010) que nos propositions d'identifications résistent :

- à un changement d'époque historique de l'an 2100 à l'an 1500 BC ;
- à une variation de latitude du site d'observation de 30° à 25° ;
- à une augmentation et une diminution du taux d'humidité de l'air ambiant de 25% ;
- à une augmentation et une diminution de la valeur moyenne de l'acuité visuelle de l'observateur de deux dixièmes.

Ainsi, d'éventuelles incertitudes sur l'époque de conception des six prototypes de listes d'étoiles, sur la latitude du site d'observation, sur le climat de l'Égypte ancienne et sur l'acuité visuelle de l'observateur (Gadré et Roques, 2010), ne remettent pas en cause nos propositions d'identification des décans égyptiens.

## 4. Conclusion

Le suivi de la démarche archéoastronomique exposée au §2 a permis d'identifier les 90 décans égyptiens à 175 étoiles de magnitude apparente inférieure ou égale à 5 du catalogue *Hipparcos*, et donc de dresser la cartographie du ciel méridional de l'Égypte ancienne (Gadré et Roques, 2010). Elle a également permis d'affiner les dates de début de règne des pharaons *Sésostris III*, *Amenhotep I* et *Thoutmosis III* (Gadré, 2004), de mieux comprendre la variabilité des heures de nuit égyptienne, d'établir une nette distinction entre les décans égyptiens et les décans grecs (Gadré, 2008c).

L'application de cette démarche archéoastronomique à divers édifices égyptiens aboutira, dans un prochain article (Gadré, 2009b), à la détermination de leur source astronomique d'orientation.

## Abbreviations

BC : années avant notre ère  
PC : *Papyrus Carlsberg I*  
BN : *Book of Nut*

## Bibliographie

- Brugsch H.**, « Thesaurus Inscriptionum Aegyptiacarum. Abtheilung 1 : Astronomische und astrologische Inschriften altaegyptischer Denkmaler », Leipzig, 1883.
- ESA (European Space Agency)**, « The Hipparcos and the Tycho catalogues », ESA SP-1000, 17 Volumes, 1997.
- Gadré K. et Roques S.**, « Correlation between the old Egyptian decanal stars and stars of the Hipparcos catalogue », soumis à publication, 2010.
- Gadré K.**, « Introduction aux méthodes de l'archéoastronomie. Seconde Partie : Application à la détermination de la source astronomique d'orientation d'édifices », *i-Medjat* n°4, 2009b.
- Gadré K. et Roques S.**, « Astronomical dating of the old Egyptian stellar clocks », *Revista de la Sociedad Uruguaya de Egiptologia*, n°26, 2009a.
- Gadré K. et Roques S.**, « L'année civile égyptienne et les horloges stellaires », *Revista de la Sociedad Uruguaya de Egiptologia*, n°25, 2008d.
- Gadré K.**, « Conception d'un modèle de visibilité d'étoile à l'œil nu. Application à l'identification des décans égyptiens ». Thèse de doctorat dont le manuscrit est disponible à l'adresse : <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00361227/fr/>, 2008c.
- Gadré K.**, « Introduction aux méthodes de l'archéoastronomie. Application à l'Égypte ancienne », Conférence disponible sur le site Web de la radio Canal Académie : <http://www.canalacademie.com/L-astro-egyptologie.html>, 2008b.
- Gadré K. et Roques S.**, « Catalogue d'étoiles peuplant le ciel méridional de l'Égypte ancienne », *Cahiers Caribéens d'Égyptologie* n°11, 2008a.
- Gadré K. et Roques S.**, « Préalable à l'identification des décans égyptiens : constitution d'une base de données archéologiques », soumis à publication dans *Göttinger Miszellen, Beiträge zur ägyptologischen Diskussion*, 2007.
- Gadré K.**, « Détail du projet de constitution d'un réseau international de chercheurs en Astro-Égyptologie », *Cahiers Caribéens d'Égyptologie* n°8, pages 5-14, 2005.
- Gadré K.**, « Le lever héliaque de Sirius, source de datation historique », *Cahiers Caribéens d'Égyptologie* n°6, pages 5-25, 2004.
- Neugebauer O. et Parker R.A.**, « Egyptian Astronomical Texts Volume 1 : The early decans », Brown University Press, Providence, Rhode Island, 1960.
- Petrie F.**, « *Wisdom of the Egyptians* », London, 1940.