Une façon d'inventer ?
Joseph Fourier et la chaleur, les Champollion, l'égyptologie et le déchiffrement des hiéroglyphes

Jean Dhombres
mathématicien et historien
EHESS
jean.dhombres@ehess.fr

I- Un décor d'idées sur les bords du Nil

Comme il faut que je boucle mon récit en une demi-heure, je dois adopter la tactique d'une intrigue facile, avec une unité de lieu, de temps et d'action sur la question de l'invention, englobant la physique mathématique et l'interprétation des langues anciennes. Je ne ferai aucune note, mais les références, abrégées, viennent à la fin de chaque citation, et en fin de texte une bibliographie est donnée.

Une seule scène réunit justement les trois personnages de mon titre : Jean-François Champollion, alors âgé de 15 ans, son frère aîné de douze années, Jacques Champollion-Figeac et Joseph Fourier âgé de 38 ans, que je n'ai plus besoin de présenter à Auxerre. Tant Tadeusz Sliwa agit au sein de la Société Joseph Fourier, sans oublier Robert Timon qui gère le site que je ne peux que vous conseiller de consulter et Jean Charles Guillaume qui traque les documents sur le préfet. La scène eut lieu le 31 août 1806 au lycée de Grenoble : ce fut une cérémonie de remise des prix, en présence à son habitude rendue très solennelle du préfet de Napoléon. Non que Jean-François soit en rien distingué dans les listes d'honneur ; il fait en quelque sorte mieux. Il commente la Genèse sur le texte hébreu vocalisé des massorètes. Ne l'entendons-nous pas prononcer lentement : *sefer bereschit a, bereschit bara elohim…*

ספר בראשית א

בְּרֵאשִׁית בָּרָא אֱלֹהִים אֵת־הַשָּׁמַיִם
וְאֵת־הָאָרֶץ ׃

Et si je donne la transcription française particulièrement savante de Fabre d'Olivet, sortie à Paris en 1816, c'est pour situer le renouveau des études bibliques de cette époque qui allaient être forcément impactées par la chronologie provenant de la mise en place de l'égyptologie à laquelle Fourier et Champollion allaient contribuer. On dirait que l'auteur a lu par avance Heidegger et sa manie des tirets entre les noms.

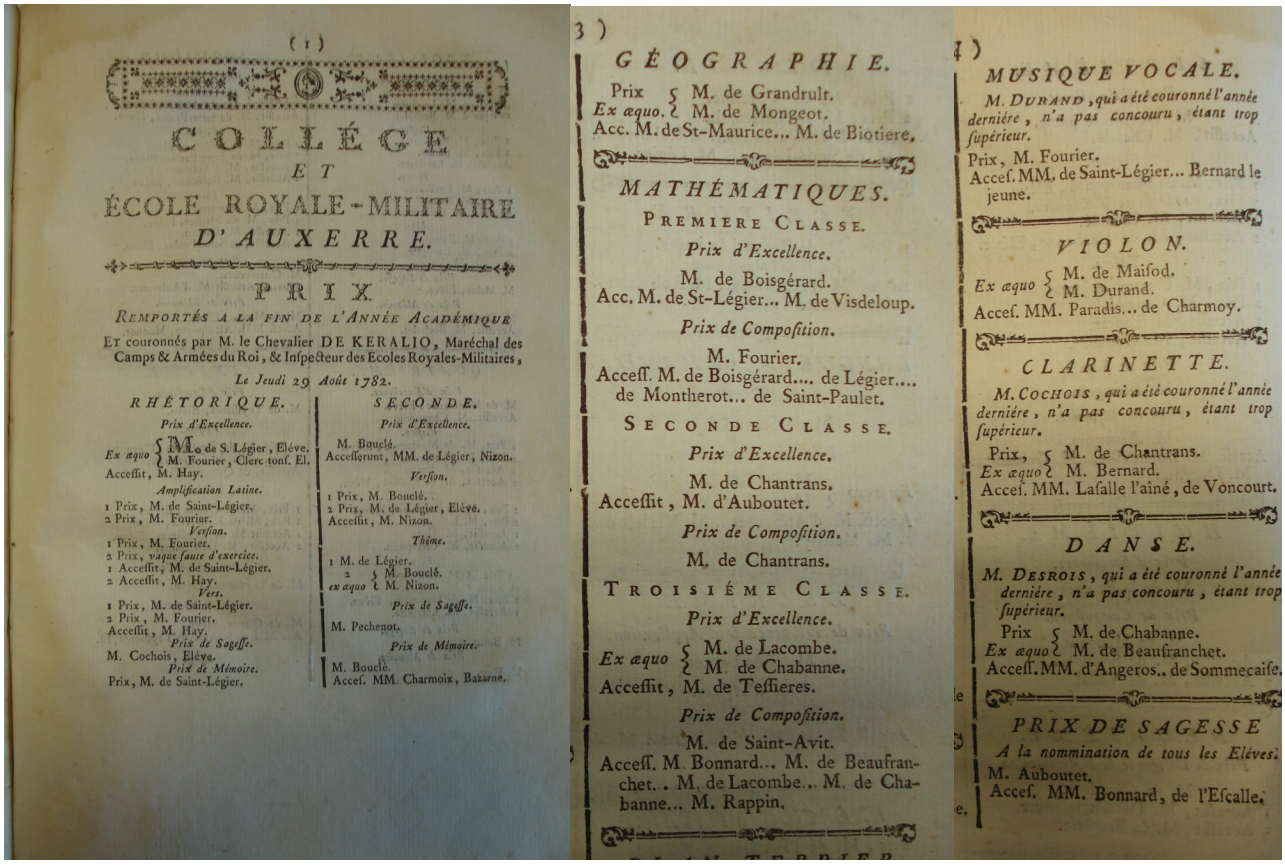
COSMOGONIE I.

I. PREMIÈREMENT-EN-PRINCIPE, il-créa, Ælohîm (il détermina en existence potentielle, LUI-les-Dieux, l'Être-des-êtres), l'ipséité-des-cieux et-l'ipséité-de-la-terre.

Le préfet en poste à Grenoble depuis déjà quatre années est ravi de constater l'émulation parmi « cette jeunesse intéressante », ainsi que le rapporte le journal dit administratif, les *Annales politiques et littéraires du département de l'Isère* où intervenait déjà le frère aîné des Champollion, sous le regard attentif et quelquefois alarmé du préfet. C'est bien à cette date que se noue mon récit. Car Fourier, qui avait vécu trois longues années en Egypte à partir de mai 1798, avait reçu la pierre de Rosette en tant que secrétaire de l'Institut du Caire, et en 1808 sera vraisemblablement responsable de la remise au jeune prodige si doué pour les langues anciennes d'une impression du document trilingue - hiératique, démotique et grec - dont Ahmed Youssef vient de nous parler et de ce Bouchard qui la découvrit, également formé à l'Ecole polytechnique par ce même Fourier. Je pense pourtant que si Fourier s'intéressa au jeune Champollion, c'est un peu par contradiction, parce que le jeune homme était sérieusement rebelle aux mathématiques. Il contrariait, sans doute sciemment, un courant pédagogique français poursuivi depuis 1795 et dont Bouchard est un témoin parmi beaucoup d'autres. J'évoquerai plus loin un épisode de l'égyptologie, ce qu'on appelle maintenant l'affaire du zodiaque de Dendera, où une sorte de scientisme mathématique conduisit de nombreux ingénieurs polytechniciens à un procédé fautif de datation des monuments d''Egypte, et pour lequel Fourier, d'abord enthousiaste, fit marche arrière et installa l'égyptologie dans une recherche bien plus globale sur les arts, la distinction des styles, la civilisation et la gouvernance, sans renier la mesure précise des temples et le rendu scrupuleux des alors incompréhensibles hiéroglyphes. Etrange connivence des temps qui fait que l'Ecole polytechnique, à laquelle on accédait sur seulement un examen oral de mathématiques, ait largement fourni les cadres de l'égyptologie, accompagné par leur professeur d'Analyse, Fourier donc, juste la trentaine à l'arrivée à Alexandrie, soit aussi l'âge du commandant en chef, cet encombrant Napoléon que notre aujourd'hui français ne célèbre plus, ou avec réticence, et que je vais inéluctablement retrouver.

Lors de cette journée du 31 août 1806 à Grenoble, Fourier devait se remémorer ses propres succès lors d'une cérémonie semblable au « collège et école royale militaire » d'Auxerre. C'était en 1782, et s'il était mis à l'honneur pour les vers latins, mais aussi pour la musique vocale, il obtenait seulement le « prix de composition » en mathématiques, comme le font voir ci-dessous les listes des prix (ill. 1, 2 et 3). Drôle de dénomination en effet que cette composition pour la science d'Euclide, dont on peut penser que l'attribution était faite pour récompenser le talent propre de Fourier, alors que le prix d'excellence en mathématiques ne pouvait aller qu'à des nobles, car justement seuls autorisés à concourir pour les écoles militaires comme l'Ecole royale du Génie de Mézières, et qui sont en conséquence appelés « élèves ». En raison de sa naissance, fils d'un tailleur, Fourier ne pouvait briguer une telle position, eût-il même été un nouveau Newton comme on fera courir l'amère remarque ! Ce n'est évidemment pas un préfet qui présidait la journée de 1782, mais le chevalier Agathon de Keralio, inspecteur des écoles royales militaires depuis la réforme de 1776. C'est ce même militaire qui, dans une autre tournée d'inspection l'année suivante, distingua le jeune Bonaparte à Brienne, ayant détecté chez le jeune homme comme « une étincelle ». L'entrée dans les écoles militaires requérait d'avoir à réussir un examen oral de mathématiques, et ce fut le savant Laplace qui interrogea Bonaparte ; une école royale militaire comme celle d'Auxerre, préparait les candidats à partir de manuels bien calibrés avec différents niveaux de compréhension, et Fourier, quoique condamné à rester un civil, put en profiter.

Pour les prix en 1806, une fois passée la Révolution, pareille discrimination n'était plus de mise, et les mathématiques étaient devenues la matière obligatoire dans tous les lycées créés en France en 1802, à égalité avec le latin. Qu'il n'est pas sûr que tous nos jeunes ingénieurs passés en Egypte aient alors pratiqué ; mais ils auront à apprendre le grec ancien. Nous avons vu, avec l'hébreu, que Jean-François Champollion faisait beaucoup plus. Cependant, caractère exceptionnel, ce jeune homme n'appréciait pas du tout la lecture des nouveaux manuels de mathématiques venus avec la Révolution, et exercices à la clef. L'imposition des mathématiques dans le curriculum français pour la minorité qui allait au lycée, comme la valorisation de cette discipline par le concours de l'Ecole polytechnique, a marqué une génération, à l'orée même du mouvement romantique français.



(1)

COLLÉGE
ET
ÉCOLE ROYALE-MILITAIRE
D'AUXERRE.

PRIX
REMPORTÉS A LA FIN DE L'ANNÉE ACADÉMIQUE
ET couronnés par M. le Chevalier DE KERALIO, Maréchal des Camps & Armées du Roi, & Inspecteur des Ecoles Royales-Militaires,
Le Jeudi 29 Août 1782.

RHÉTORIQUE.
Prix d'Excellence.
Ex æquo { M. de S. Légier, Eléve. M. Fourier, Clerc-tonf. El.
Acceſſit, M. Hay.
Amplification Latine.
1 Prix, M. de Saint-Légier.
2 Prix, M. Fourier.
Verſion.
1 Prix, M. Fourier.
2 Prix, vaque faute d'exercice.
1 Acceſſit, M. de Saint-Légier.
2 Acceſſit, M. Hay.
Vers.
1 Prix, M. de Saint-Légier.
2 Prix, M. Fourier.
Acceſſit, M. Hay.
Prix de Sageſſe.
M. Cochois, Eléve.
Prix de Mémoire.
Prix, M. de Saint-Légier.

SECONDE.
Prix d'Excellence.
M. Bouclé.
Acceſſerunt, MM. de Légier, Nizon.
Verſion.
1 Prix, M. Bouclé.
2 Prix, M. de Légier, Eléve.
Acceſſit, M. Nizon.
Thême.
1 M. de Légier.
2 ex aquo { M. Bouclé. M. Nizon.
Prix de Sageſſe.
M. Pechenot.
Prix de Mémoire.
M. Bouclé.
Acceſ. MM. Charmoix, Bazarne.

3)

GÉOGRAPHIE.
Prix Ex æquo. { M. de Grandrult. M. de Mongeot.
Acc. M. de St-Maurice... M. de Biotiere.

MATHÉMATIQUES.
PREMIERE CLASSE.
Prix d'Excellence.
M. de Boisgérard.
Acc. M. de St-Légier... M. de Visdeloup.
Prix de Compoſition.
M. Fourier.
Acceſſ. M. de Boisgérard.... de Légier.... de Montherot... de Saint-Paulet.
SECONDE CLASSE.
Prix d'Excellence.
M. de Chantrans.
Acceſſit, M. d'Auboutet.
Prix de Compoſition.
M. de Chantrans.
TROISIÉME CLASSE.
Prix d'Excellence.
Ex æquo { M. de Lacombe. M. de Chabanne.
Acceſſit, M. de Teſſieres.
Prix de Compoſition.
M. de Saint-Avit.
Acceſſ. M. Bonnard... M. de Beaufranchet.. M. de Lacombe... M. de Chabanne... M. Rappin.

4)

MUSIQUE VOCALE.
M. DURAND, qui a été couronné l'année dernière, n'a pas concouru, étant trop ſupérieur.
Prix, M. Fourier.
Acceſ. MM. de Saint-Légier... Bernard le jeune.

VIOLON.
Ex æquo { M. de Maiſod. M. Durand.
Acceſ. MM. Paradis... de Charmoy.

CLARINETTE.
M. COCHOIS, qui a été couronné l'année dernière, n'a pas concouru, étant trop ſupérieur.
Prix, Ex æquo { M. de Chantrans. M. Bernard.
Acceſ. MM. Laſalle l'aîné, de Voncourt.

DANSE.
M. DESROIS, qui a été couronné l'année dernière, n'a pas concouru, étant trop ſupérieur.
Prix Ex æquo { M. de Chabanne. M. de Beaufranchet.
Acceſſ. MM. d'Angeros.. de Sommecaiſe.

PRIX DE SAGESSE
A la nomination de tous les Eléves.
M. Auboutet.
Acceſ. MM. Bonnard, de l'Eſcalle.

Ill. 1-3. Palmarès des prix de 1782 au collège et école royale militaire d'Auxerre (Arch. Dép. Yonne)

Ce qui se passa en Grenoble en 1806 ne répétait pourtant pas ce qui a été raconté avec vivacité par Stendhal dans sa *Vie de Henry Brulard,* rédigée vers 1835, mais publié bien plus tard. L'autre scène que décrit le romancier se place encore dans un lieu d'enseignement, à l'école centrale qui remplaçait le collège, et que remplaça le lycée. Le jeune Beyle devait passer un oral public de mathématiques, en plus se présenter devant son grand-père Henri Gagnon, connu pour son esprit voltairien, défenseur militant des Lumières et de l'*Encyclopédie* qui donnait une bonne place aux mathématiques par la plume de Jean d'Alembert. Le jeune Stendhal monte donc au tableau, et dessine plus tard la scène, presque comme s'il s'agissait d'un montée vers la guillotine. Il s'habituera de fait à ces examens publics tout à fait nouveaux dans l'enseignement français. Preuve s'il en faut, plusieurs polytechniciens, dont Bouchard, passeront au Caire les examens de sortie de l'Ecole polytechnique en mathématiques, notamment devant le professeur Fourier

Ill. 4. Croquis dessiné par Stendhal de son examen de mathématiques en haut d'une estrade à Grenoble (*Vie de Henry Brulard*)

Stendhal reconnaît qu'il avait d'abord un préjugé trop exclusif en faveur des mathématiques, a la force de le reconnaître comme personnel, laissant entendre qu'il espérait disposer ainsi d'un argument irréfutable contre les croyances, notamment contre la bigoterie de son propre père.

> « Je me figurais à quatorze ans, en 1797, que les hautes mathématiques, celles que je n'ai jamais sues, comprenaient *tous* ou à peu près tous les côtés des objets, qu'ainsi en avançant, je parviendrais à savoir des choses sûres, indubitables, et que je pourrais me prouver à volonté *sur toutes choses*. » (*Vie de Henry Brulard*, éd. par V. del Litto, *Œuvres intimes*, t. II, La Pléiade, Gallimard, Paris,1982, p. 855.)

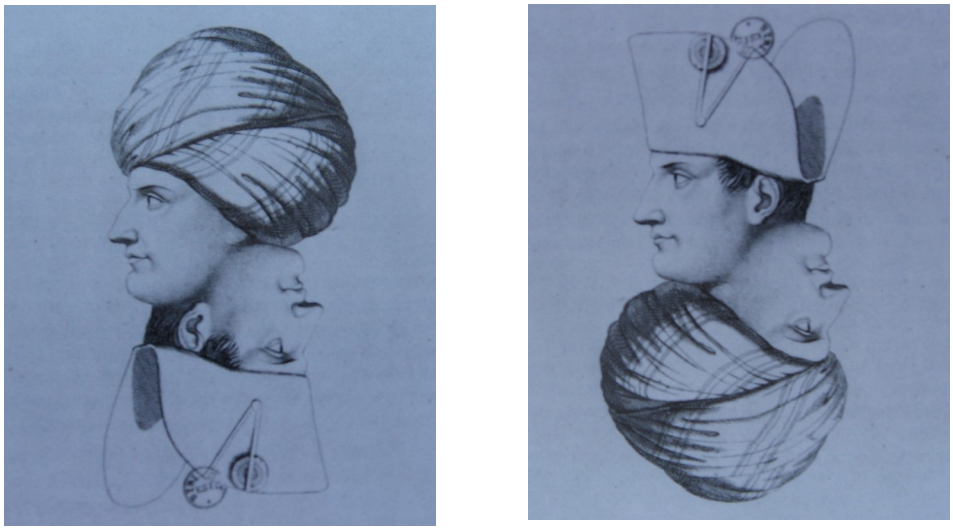
Nous sommes seulement quelques années avant la parution du *Génie du christianisme* de Chateaubriand, et l'esprit dogmatique décrit par Stendhal devait être celui de bien des jeunes ingénieurs emportés par l'expédition d'Egypte, et ayant vécu en France la période de déchristianisation de 1793. Fourier lui-même, quoique ancien novice bénédictin, avait dû organiser des « mascarades » à Auxerre (ill 5), des mouvements de violente dérision, condamnés d'ailleurs par la Convention et Robespierre qui fit célébrer la fête de l'Etre suprême. En Egypte, ces jeunes, et leurs professeurs qui représentent les Lumières militantes, sont confrontés à l'Islam que Napoléon impose de respecter. Comme devenu premier consul, il imposera en 1802 à ses généraux plutôt rigolards face à ces cérémonies religieuses rétablies, de respecter le concordat avec Rome.

Ill.5. Une mascarade révolutionnaire avec habits ecclésiastiques, calices servant pour la beuverie et « déesse de la raison » encensée (dessin de Etienne Béricourt en 1793).

En Egypte même, les relations de Bonaparte avec les savants et les jeunes ingénieurs ne furent pas faciles, s'il n'y avait eu la possibilité de penser des projets d'aménagements du pays, dont le fameux percement de l'isthme de Suez, mais aussi bien de se confronter par l'exploration à l'Egypte ancienne et à la grandeur des restes pharaoniques. Ils offraient la chance d'une recherche passionnée, un lieu d'exutoire romantique sur les aléas de l'histoire humaine, et nous allons voir le cas du zodiaque de Dendera. Mon propos ne peut pas être ici de discuter les buts effectifs de cette armée d'Orient contre la Turquie et la Grande-Bretagne, ou de situer un projet de colonisation, voire seulement une exportation en simultané des Lumières et de la République. Il y a de nombreux bons ouvrages à ce sujet, jusqu'à l'influence au long terme en Orient de cette expédition militaire et

culturelle, mais le lieu devenu commun est de constater la défaite militaire française et la postérité de la curieuse compagnie de jeunes polytechniciens et de savants embarqués par le général Bonaparte en Egypte.

Cette postérité est faite par la *Description de l'Egypte*, monumental ouvrage orné de magnifiques planches (voir ill. 16 ou 17). Il marqua la sensibilité européenne, peut-être autant que le fit l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert une cinquantaine d'années plus tôt. Je dois souligner que Fourier, aidé de Jacques Champollion-Figeac, fut le rédacteur de la préface historique sortie en 1810 : elle glorifiait le passé des seuls pharaons capables de juguler la pression religieuse en donnant un sens d'équilibre moral aux « fables » des dieux, mais aussi à ceux qui surent maintenir la paix, leçon donnée par delà les siècles au général devenu empereur en France, qui perdant en Espagne, allait se lancer dans la campagne de Russie. Il suffira seulement ici d'indiquer combien l'ambiguïté ressentie face aux religions chez les membres savants de l'expédition, et chez bien des officiers, fut utilisée par la propagande anglaise. Le prouve la caricature d'un Bonaparte au double profil, d'une part le sheikh au turban favorable à l'Islam, et d'autre part le général de la république française, portant bien visible sur le célèbre bicorne le compas, symbole possible d'une mathématique justifiant l'athéisme.



Ill. 6. Caricature anglaise du général en chef de l'armée d'Orient, diffusée vers 1800 auprès des pays gouvernés par les Ottomans.

Un travail littéraire d'il y a peu donne une idée de l'atmosphère locale, d'autant plus qu'il est supposé rédigé par un Egyptien. François Sureau tient la plume dans son roman, *Lambert Pacha*, publié chez Grasset en 1998 (p. 51-52).

> « Bonaparte lui-même était venu pour moi. Je l'attendais sur cette plage d'Alexandrie. Je l'ai vu s'avancer à travers le marais salant aux couleurs irisées, dans l'odeur de la vase, au milieu des fins tourbillons de sable qui ne s'élevaient pas et ressemblaient à des serpents. J'ai reconnu son teint jaune, sa maigreur, son habit de drap bleu, sa façon d'aller de profil, de bousculer monuments et fonctionnaires travaillés par les siècles. Je l'ai vu tenir diwan au Caire, entouré de ses généraux gamins, qui avaient renversé d'autres royaumes - et même davantage - là-bas, de l'autre côté de la mer. Ils avaient des visages d'affamés, prêts à faire un festin de pays, de couronnes, d'argent et d'honneurs. Ils étaient aussi gais, aussi libres que je voulais l'être. Je suis descendu avec eux vers le Sud, et quand les mamelouks chargeaient les carrés d'infanterie, ils plaçaient au centre les ânes et les savants, et Denon dessinait des batailles, batailles de pharaons, batailles de grenadiers. J'ai vécu à leurs côtés les lentes journées du Caire, où ils apprenaient à fumer dans les jardins, et le bruissement

des pipes à eau depuis me rappelle leurs jugements sur le sexe étroit des Nubiennes et l'oubli des droits imprescriptibles de l'homme. »(*op. cit.*, p. 51-52)

II- Cinq images, pour nos trois personnages avec un doublon, mais une autre liée à la langue égyptienne

J'aurais aimé vous présenter Fourier et les deux Champollion justement en 1806 à Grenoble, lors de cette distribution des prix où se singularisa le plus jeune des frères, et où il fut question d'Egypte. Au moins je peux vous montrer deux gravures des Champollion, réalisées dans le dernier tiers du XIXe siècle, les présentant assez jeunes (ill. 7 et 8). Je joins deux portraits de Fourier, sans doute du même pinceau. Celui de droite est de 1802, dès le retour d'Egypte (ill. 10), un Fourier plutôt mélancolique et l'autre date du temps de la préfecture, un fonctionnaire plutôt guindé, mais exhibant un signe scientifique majeur comme expliqué en légende (ill. 9)

Ill. 7. Portrait de Jean-François Champollion (gravure sur cuivre, fin XIXe siècle)
Ill. 8. Portrait de Jacques Champollion-Figeac (gravure sur cuivre, fin XIXe siècle)
Ill. 9. Portrait de Fourier en habit de préfet, tenant de sa main droite les *Principia mathematica philosophiæ naturalis* de Newton, ouvert sur la figure donnant la loi des aires du mouvement des planètes (BM d'Auxerre)
Ill. 10. Portrait de Fourier, daté de l'an XI, dû à Claude Gautherot, qui a été élève à l'Ecole normale de l'an III avec Fourier, et qui est vraisemblablement l'auteur du portrait de Fourier en préfet (BM d'Auxerre).

A ces quatre portraits, j'ajoute une dernière image, un détail pris dans le tableau fort connu de David, celui du couronnement de Napoléon auquel décidément on n'échappe pas ; le seul per-

sonnage barbu est le melkite dom Raphael de Monachis (Rufa'il Zakhûr, 1759-1831) - deuxième personnage sur la droite - qui passa par Grenoble avant d'aller à Paris pour le couronnement, et entretint Fourier et les Champollion sur la langue copte et l'Egypte où il avait été l'interprète officiel de Bonaparte, avant de devenir professeur d'arabe dialectal à l'Ecole des langues orientales récemment créée à Paris.

Ill. 11 Détail du couronnement de Napoléon empereur, Jacques Louis David, musée du Louvre.

III- L'invention d'analyse pour la chaleur chez Fourier

Moins de dix ans après l'arrivée en conquérants des polytechniciens au Caire, le jeune Jean-François Champollion, républicain certes, ne pense absolument pas comme eux le rôle des mathématiques, pas plus qu'il ne serait d'accord avec une remarque épistémologique de Stendhal qui vient dans son récit modifier la connaissance de « tous » les côtés des objets. La division du travail intellectuel, l'analyse en fait, celle requise par la pratique des mathématiques, a pour but de « réunir toutes ses forces sur un seul côté des objets, sur une seule de leurs qualités » (*Vie de Henry Brulard*, op. cit., p. 774.) Car Jean-François se voue à l'étude forcenée de plusieurs langues, l'hébreu, l'arabe, le persan, le syriaque, le chaldéen et le copte ; il suit les cours du Collège de France et l'Ecole des

langues orientales dès l'automne 1807, avec justement Dom Raphaël comme professeur d'arabe dialectal. Ce sont ainsi plusieurs « côtés » pour attaquer la question du déchiffrement qui le passionne. Son frère Champollion-Figeac a traduit la partie grecque de la pierre de Rosette en 1806, et se trouvera bientôt professeur de littérature grecque à l'université de Grenoble. Il survient quelque chose d'assez fascinant dans mon récit, car les années où Fourier suit de plus ou moins près Jean-François à Grenoble, et est en liaison fréquente avec le journaliste Jacques Champollion-Figeac, sont celles au cours desquelles il met en place ce qui va devenir son chef d'œuvre, la « théorie de la propagation de la chaleur dans les solides » selon le titre du long manuscrit envoyé pour jugement à l'Institut de France à Paris fin 1807, imprimé en 1972 (abrégé en Propag. Chal.). Fourier ne joue pas plus le seul « côté » mathématique, car la physique intervient à part égale dans sa quête ; il a *mutatis mutandis* le même souci exhaustif que son jeune protégé, auquel il a évité la conscription dans l'armée de Napoléon. Fourier expliquera ainsi que pour avoir les lois de la propagation de la chaleur, il a refait toutes les expérimentations disponibles sur la diffusion de la chaleur dans les solides dans son livre phare sorti seulement en 1822, la *Théorie analytique de la chaleur*[1], en abrégé TAC.

> « J'ai déduit ces lois d'une longue étude et de la comparaison attentive des faits connus jusqu'à ce jour ; je les ai tous observés de nouveau dans le cours de plusieurs années, avec les instruments les plus précis dont on ait encore fait usage » (*TAC*, 1822, p. iij)

D'une autre façon, on peut parler d'un seul « côté » du phénomène étudié, puisque Fourier n'évoque que la diffusion, s'interdisant de discuter la nature de la chaleur, un corps dit comme calorique qui se répand ou une agitation des molécules de matière. Cette attitude de distanciation sera grandement félicitée par Auguste Comte dans son *Cours de philosophie positive* paru en 1830, l'année de la mort de Fourier.

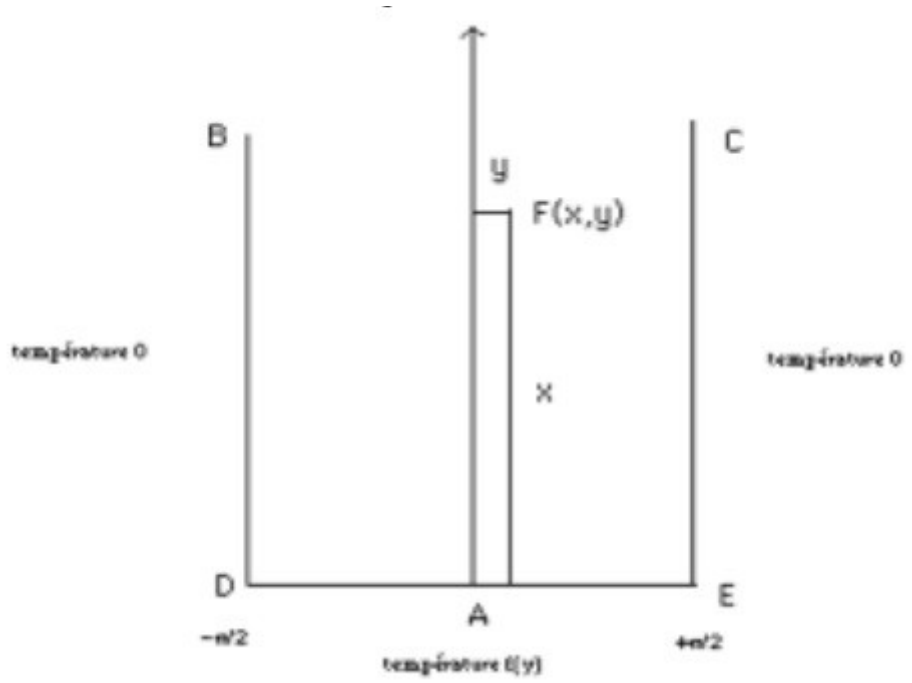
> « Pour fonder cette théorie, il était d'abord nécessaire de distinguer et de définir avec précision les propriétés élémentaires qui déterminent l'action de la chaleur. J'ai reconnu ensuite que tous les phénomènes qui dépendent de cette action, se résolvent en un très petit nombre de faits généraux et simples ; et par là toute question physique de ce genre est ramenée à une recherche d'analyse mathématique. J'en ai conclu que pour déterminer en nombre les mouvements les plus variés de la chaleur, il suffit de soumettre chaque substance à trois observations fondamentales. En effet, les différents corps ne possèdent point au même degré la faculté de contenir la chaleur, de la recevoir ou de la transmettre à travers leur superficie, et de la conduire dans l'intérieur de la masse. Ce sont trois qualités spécifiques que notre théorie distingue clairement et qu'elle apprend à mesurer. » (TAC, 1822, p. iij)

Ce sont les seuls « côtés » retenus, pour reprendre l'expression de Stendhal. Pourtant c'est par une façon très particulière que Fourier organise son travail, une fois qu'il a établi un concept majeur, celui du flux de chaleur, l'a relié mathématiquement à la température, et a pu obtenir une équation aux dérivées partielles du second ordre, aujourd'hui dite équation de la chaleur. Au lieu de procéder comme ses prédécesseurs du XVIIIe siècle sur de telles équations, Fourier met en place une « expérience de pensée ». Elle consiste à étudier la répartition de la chaleur dans une lame métallique dont l'épaisseur ne joue pas, infinie en longueur, parvenue à un équilibre thermique lorsque les côtés sont maintenus à une température constante nulle, température de la glace, et la base soumise à une température imposée. C'est cette température variable à la base qui devient la donnée, et ce qui est recherché est la température en un point de la lame. De fait Fourier suppose qu'un équilibre s'établit et que le temps n'intervient plus. L'expérience n'est pas possible, en raison irréaliste de la dimension deux de la lame, de la glace à maintenir, mais aussi parce qu'on ne sait pas obtenir

1

à la base une température variable, sauf éventuellement si celle-ci était constante. Pourtant, au terme d'une époustouflante « preuve » de type mathématique, il est capable d'affirmer un résultat physique, c'est-à-dire un phénomène qu'il exprime de la façon suivante :

> « La chaleur se meut uniformément par ondes perpendiculaires à la longueur de la lame, et en même temps par ondes parallèles à cette longueur. Les premières parcourent toute la lame en s'éloignant du foyer. Les ondes parallèles aux côtés s'éloignent de part et d'autre du milieu de la lame, en sorte que les deux dernières d'entre elles se perdent de chaque côté dans les corps environnants. » (Propag. Chal., 1972, p. 180, et folio 84 du Ms 1851 de 1807, Arch. Ecole des Ponts et Chaussées.)



Ill. 12. Le schéma de la lame plane de base *DE*, dont la longueur n'est que de π, sans pouvoir varier malgré les variations de température et les effets de dilatation, et sur laquelle est appliquée la température *f(y)*, les côtés *DB* et *EC* étant maintenus à la température de la glace.

Pour y parvenir, Fourier invente une question autre, objectivement pas plus réalisable, qui va s'avérer essentielle, mais sans que l'on puisse dire *a priori* qu'elle peut réussir à nous donner la liaison calculée entre la fonction de température à la base de la lame et la température en un point quelconque de la lame, entre *f* et *F*, soit entre *f* et *P(f)* comme on le noterait aujourd'hui sans peine. Fourier s'interroge sur des répartitions de température à la base de la lame, des *f*, qui fourniraient en régime devenu permanent une température à chaque hauteur *x* correspondant à une abscisse *y*, la même température que celle de la base, quoique multipliée par un facteur, qui dépend seulement de *x*. Il appelle « mode propre » une telle répartition de température : c'est un vocabulaire qui allait envahir l'algèbre linéaire, avant de triompher en mécanique quantique. Un « mode propre » est donc une fonction numérique *f*, température mise à la base de la lame le long de *DE* (ill. 12), qui pour *F* sur un segment horizontal quelconque de la lame, redonne la même fonction *f*, à un facteur multiplicatif près, soit ce que l'on peut noter $P(f) = \underline{l}f$. Le mot propre, ou intrinsèque, correspond au fait de dépendance de la seule chaleur se diffusant et de la géométrie de la lame. Or Fourier sait calculer de tels modes propres, avec même un degré de liberté qui est un entier *n* pouvant être nul,

$$e^{-(2n+1)x}\cos(2n+1)y,$$

et il explique la raison d'être de ce mode par une permanence phénoménale.

> « Ainsi chacune de ces équations constitue un « mode propre » ou élémentaire, suivant lequel la chaleur peut se propager dans l'intérieur d'une lame solide. Si l'un quelconque de ces modes est établi à l'origine, il subsiste de lui-même et se conserve à l'infini, jusqu'aux extrémités de la lame. » (Propag. Chal., 1972, p. 143, et folio 65 du Ms 1851 de 1807, Arch. Ecole des Ponts et Chaussées)

Objectivement, au terme d'un calcul que je ne fais pas ici, les fonctions qui représentent ces « modes propres » sont définies au-delà des restrictions sur les variables qui sont liées à la forme de la lame. Et notamment en y on a des fonctions périodiques et de période 2 π, alors que la base DE a pour largeur π, compte tenu du placement de -π/2 en D et π/2 en E. Ce sont des ondes en la variable y, tandis que l'aspect dissipatif en hauteur x est effectivement lisible sur les fonctions exponentielles en x. On ne pouvait pas prévoir ce résultat du calcul, mais on peut maintenant, et Fourier n'y manque pas, interpréter la diffusion thermique à l'aide de ces « modes propres ». Il appelle cela la « route de la chaleur », et cela surajoute la valeur du qualificatif « propre ».

Ces « modes propres », caractéristiques de la forme de la lame, doivent de surcroît permettre de reconstituer par addition toute fonction « arbitraire » f qui serait donnée à la base, et donc toute répartition de température. Fourier « pense » la diffusion de la chaleur dans une lame comme répondant à une infinité de modes propres : la nature de la chaleur serait de répondre à chaque mode propre par l'oscillation amortie correspondante, exactement la forme amortie en x, mais périodique en y. Il ne s'agit pas seulement d'une pensée : exploitant la linéarité de l'opérateur noté plus haut P, s'avère possible un calcul des coefficients qui doivent intervenir devant l'expression de chaque mode propre. Moyennant toutefois une adaptation de la fonction f qui devient définie sur une intervalle de longueur 2π. Là encore, les choses n'étaient pas prévisibles, ou plutôt au mieux comme un programme de recherche : le calcul les établit pourtant. L'analyse qui a établi les modes propres, devient une synthèse par laquelle on peut calculer toute fonction f. Voilà lancée ce qu'on appelle aujourd'hui l'analyse de Fourier, après avoir adopté au XXe siècle le nom d'analyse harmonique.
La pensée moderne, naturellement informée par la théorie des ensembles, ne peut accepter l'idée d'un total arbitraire de la fonction f, et impose une certaine régularité, ne serait-ce que parce qu'il faut bien la soumettre aux opérations de la dérivation selon l'équation de la chaleur. En fait, en généralisant suffisamment la notion de fonction, sans bien sûr aller jusqu'à l'arbitraire, la théorie des distributions tempérées inventée par Laurent Schwartz juste à la fin de la seconde guerre mondiale, est directement adaptée à l'analyse de Fourier. Ces idées ne sont pas chez Fourier, et en tout cas l'assurance d'un résultat ne peut pourtant pas *a priori* garantir que le calcul effectif des coefficients devait être facile. La surprise est que finalement il l'ait été. Fourier peut conclure :

> Les théories nouvelles, expliquées dans notre ouvrage sont réunies pour toujours aux sciences mathématiques et reposent comme elles sur des fondements invariables ; elles conserveront tous les éléments qu'elles possèdent aujourd'hui, et elles acquerront continuellement plus d'étendue. On perfectionnera les instruments et l'on multipliera les expériences. L'analyse que nous avons formée sera déduite de méthodes plus générales, c'est-à-dire plus simples et plus fécondes, communes à plusieurs classes de phénomènes. On déterminera pour les substances solides ou liquides, pour les vapeurs et pour les gaz permanents, toutes les qualités spécifiques relatives à la chaleur, et les variations des coefficients qui les expriment. On observera, dans les divers lieux du globe, les températures du sol à diverses profondeurs, l'intensité de la chaleur solaire, et ses effets, ou constants ou variables, dans l'atmosphère, dans l'Océan et les lacs ; et l'on connaîtra cette température

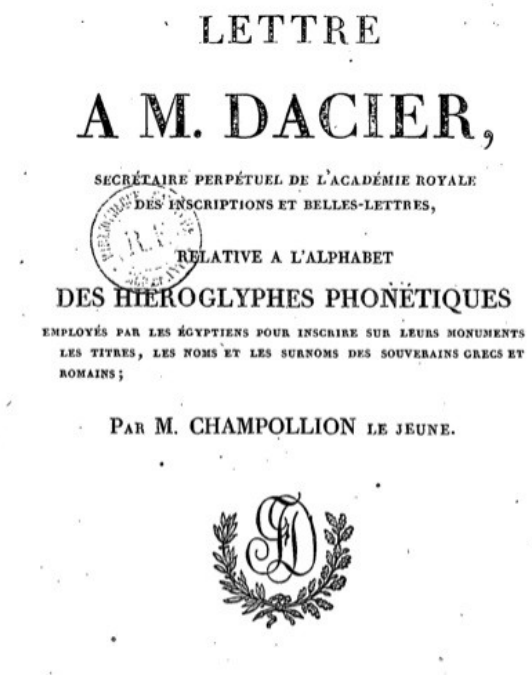
constante du Ciel, qui est propre aux régions planétaires. La théorie elle-même dirigera toutes ces mesures et en assignera la précision. Elle ne peut faire désormais aucun progrès considérable qui ne soit fondé sur ces expériences ; car l'analyse mathématique peut déduire, des phénomènes généraux et simples, l'expression des lois de la nature ; mais l'application spéciale de ces lois à des effets très-composés exige une longue suite d'observations exactes. (TAC, 1822, p. xxj)

IV - L'analyse du déchiffrement par Champollion

C'est en 1822, date aussi de la parution de la *Théorie analytique de la chaleur*, que Champollion réussit son déchiffrement. *Mutatis mutandis*, dans le titre même de sa lettre à un personnage important de l'Académie des Inscriptions et des Belles-lettres, Bon Joseph Dacier qui en est le secrétaire perpétuel. Jean-François Champollion ne regarde lui aussi d'abord qu'un « côté » du déchiffrement. Il envisage la seule lecture des cartouches qui indiquent un nom propre non égyptien, et ainsi lui donnent la prononciation possible associée à un hiéroglyphe.

> « Le monument de Rosette nous présente l'application de ce système auxiliaire d'écriture que nous avons appelé phonétique, c'est-à-dire exprimant les sons, dans les noms propres des rois Alexandre, Ptolémée, des reines Arsinoé, Bérénice, dans les noms propres de six autres personnages, Aétès, Pyrrha, Philinus, Aréia, Diogène, Irène, dans le mot grec SUNTAXEIS et dans OUHNN. » (Lettre à M. Dacier, 1822, p. 4)

La lettre est en effet toute tournée de ce « côté », « relative à l'alphabet des hiéroglyphes phonétiques employés par les Egyptiens pour inscrire sur leurs monuments les titres, le noms et les fonctions des souverains grecs et romains ».


LETTRE

A M. DACIER,

SECRÉTAIRE PERPÉTUEL DE L'ACADÉMIE ROYALE DES INSCRIPTIONS ET BELLES-LETTRES,

RELATIVE A L'ALPHABET

DES HIÉROGLYPHES PHONÉTIQUES

EMPLOYÉS PAR LES ÉGYPTIENS POUR INSCRIRE SUR LEURS MONUMENTS LES TITRES, LES NOMS ET LES SURNOMS DES SOUVERAINS GRECS ET ROMAINS ;

PAR M. CHAMPOLLION LE JEUNE.

Ill. 13. La page de titre de la Lettre à M.Dacier

Champollion explique les deux écritures égyptiennes sur la pierre de Rosette, celle rapportée par Bouchard au Caire, à l'Institut d'Egypte dont Fourier est le secrétaire perpétuel, précise que les hiéroglyphes, démotique ou hiératique, ne sont pas alphabétiques et ne donnent pas des sons. Mais

des signes du démotique sont utilisés pour les sons que l'on peut déduire d'un à-côté, les noms étrangers. Il s'exprime en précisant qu'alors la chose devient « naturelle ». Il agit en quelque sorte du même jeu que Fourier mène avec les « modes propres ».

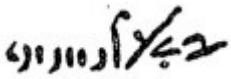
> « Car il s'agit de la série des hiéroglyphes qui, faisant exception à la nature générale des signes de cette écriture, étaient doués de la faculté d'exprimer les sons des mots, et ont servi à inscrire sur les monuments publics de l'Egypte, les *titres*, les *noms* et les *surnoms de souverains grecs ou romains* qui la gouvernèrent successivement. Bien des certitudes pour l'histoire de cette contrée célèbre doivent naître de ce nouveau résultat de mes recherches, auquel j'ai été conduit très naturellement. (Lettre à M. Dacier, 1822, p. 3)

L'analyse est faite alors sur le nom de Ptolemaios, le seul nom lisible sur la pierre de Rosette (ill. 14). Je la fais suivre de la synthèse qui devient un dictionnaire (ill. 15).

Ill. 14 . Décomposition d'un nom

PTOLEMAIOS

écriture démotique



PTO

L

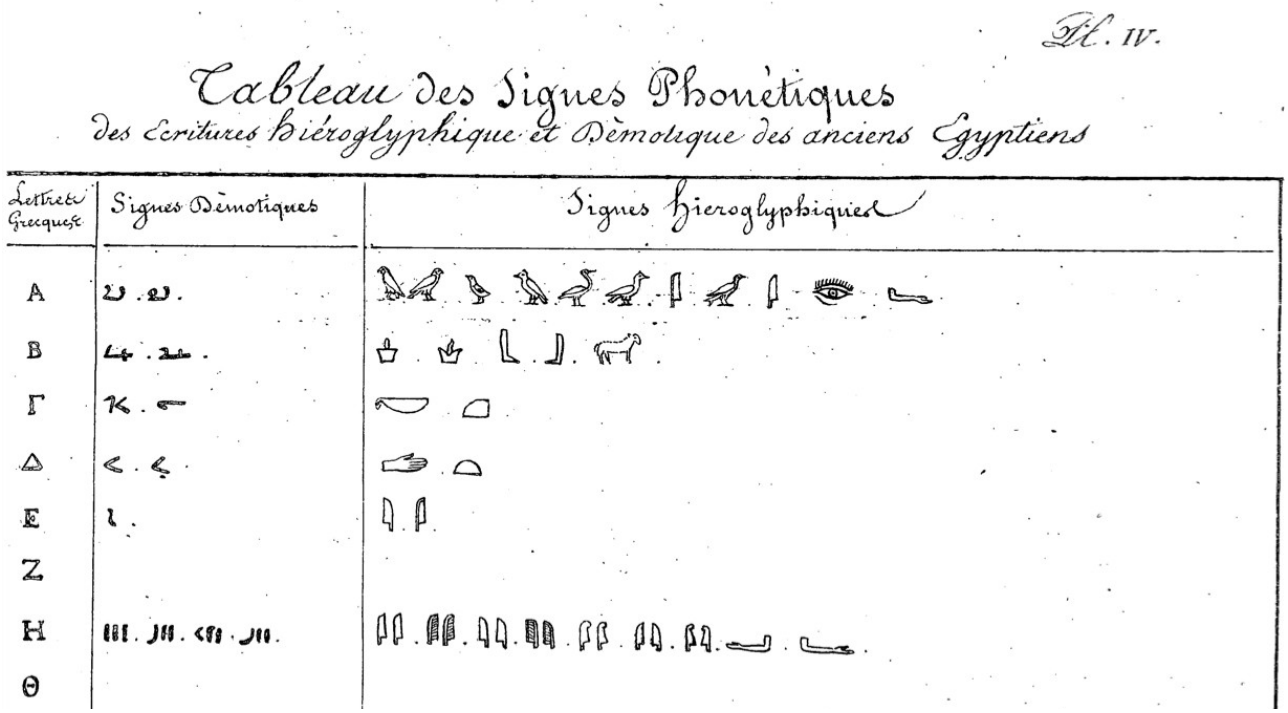
M

U,S

toujours vivant,

aimé de Ptah

T



Ill. 15. La planche IV de la Lettre à M. Dacier.

A la manière de Fourier qui assure qu'il fallait passer par sa méthode des modes propres, et ses longs calculs pour trouver ce qui au final devient simple pour la diffusion de la chaleur, Champollion fait mesurer la difficulté qu'il rencontrait pour le déchiffrement, et son rôle indispensable par rapport à ses prédécesseurs :

> « C'est un système extrêmement complexe, une écriture à la fois figurative [Le soleil pour Rê], symbolique [l'oiseau pour le dieu] et phonétique dans un même texte, une même phrase, je dirais presque un même mot. »

Comme Fourier qui minimise au nom de l'invention des modes propres les leçons des analystes précédents, Euler, d'Alembert, et Lagrange, Champollion minimise les schémas explicatifs de plusieurs érudits contemporains, dont Thomas Young. S'ils procèdent ainsi, c'est que les deux auteurs estiment que chacun de leur système analyse aussi bien qu'il synthétise, et se trouve donc complet.

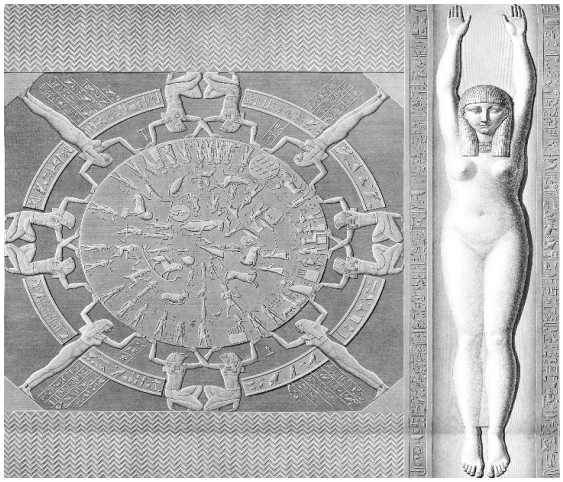
V- Les « côtés » religieux

Je ne prétends pas, bien sûr, vous avoir donné et la clef des hiéroglyphes et la pratique de l'équation de la chaleur. Mais comme une même date anniversaire, sans oublier Bouchard, avait l'avantage de nous réunir pour la semaine de la science à Auxerre, je peux terminer ce court exposé par trois remarques suscitée par l'Expédition d'Egypte, toutes les trois liées à la confrontation des Lumières et de la religion.

La première tient à une réaction de Fourier, à la suite de l'assassinat de Kleber par Soulaïman al-Halabi, devenu aujourd'hui un héros égyptien. Fourier s'est chargé en effet de faire le discours héroïque à la pompe funèbre organisée au Caire, et le rappelle une huile sur toile de E.F. Féron, datant de 1842, aimablement prêtée par M. Cattagni à l'abbaye Saint-Germain où se tient notre réunion. Fourier dit deux choses essentielles : d'une part la furie d'un homme instrumenté depuis la Syrie, d'autre part qu'il ne s'agit pas de l'indépendance de l'Egypte libérée d'une armée étrangère,

mais d'une lutte religieuse remontant aux Croisades pour maintenir l'Islam. Fourier, homme des Lumières, indique que lors de son supplice par le pal, Soulaïman harangue les spectateurs du Caire qui ne défendent pas assez la religion.

La deuxième remarque tient au zodiaque de Dendera, découvert par l'armée de Desaix dans le temple d'Hathor. Ce fut au début de 1799, alors que le général traquait le mamelouk Mourad Bey en Haute Egypte. On découvre au premier étage un zodiaque circulaire, et l'idée fuse vite, dans ce milieu si bien formé aux sciences, que l'écart entre une indication de date annuelle et la réalité géographique de l'Egypte, pourrait s'expliquer par la précession des équinoxes, calculée de façon magistrale par d'Alembert une cinquantaine d'années plus tôt. Mesures angulaires plus ou moins bien faites sur le zodiaque, l'écart donnerait environ une construction d'environ 20 siècles avant notre ère. Ce qui mettait à mal la chronologie de la Bible. Double effet donc, la science a la capacité de dater, le récit religieux peut être contredit par la science. Cette affaire excita beaucoup les esprits, et le débat allait durer quasiment un siècle ; Ernest Renan collectionnera même les contributions européennes à ce sujet. Patratas ! un helléniste comme Letronne indique que les inscriptions autour du zodiaque montrent sa réalisation contemporaine de l'Egypte romaine. Champollion lors de son voyage de 1828 en Egypte interprète dans le même sens les noms qu'il sait déchiffrer, et fait remarquer en plus ce qu'il appelle le style décadent du temple de Dendera. Mais chez certains savants ou polytechniciens, l'idée était que la précession des équinoxes pouvait avoir été connue de l'ancienne Egypte, donc que le zodiaque, symbole d'une religion secrète, même reconstruit plus tard, permettait de dater ! Fourier, en égyptologue sévère, mais après avoir été pris par le jeu de datation, estimait qu'il ne fallait pas tabler sur un monument religieux, au sens où il était astrologique, qu'il valait mieux faire l'histoire des styles égyptiens, bref que l'égyptologie méritait bien mieux qu'une assertion scientiste. Aujourd'hui l'interprétation du zodiaque par ses astérismes, et non ce début douteux de l'année solaire, permet une datation du temps en gros de Jules César.



Ill. 16. Dessin du zodiaque de Dendera dans la *Description de l'Egypte*, par Jollois et Devilliers, polytechniciens qui le rendent plus clair qu'il ne l'est en fait en effaçant bien des signes, gravé par Jean Joseph François Tassaert (DE, Antiquités, vol. IV, pl. 21)

La dernière remarque tient à cette espère de romantisme qui saisit bien des jeunes polytechniciens, devant les splendeurs des vestiges pharaoniques. Ils envisageaient alors l'Egypte religieusement organisée sur des cérémonies qui permettent aussi l'Etat. Et on a ainsi un dessin (ill. 17), magnifique quoique impossible par le jeu d'une perspective particulière qui donne à voir le temple de Dendera, celui au pronaos duquel il y a le fameux zodiaque : la statue d'Isis promenée serait un culte savant unifiant le pays. Cette représentation a exaspéré Fourier, qui reprochait une imagination débordante.

Ill. 17. Une cérémonie en l'honneur d'Isis dans le vestibule du temple de Dendera, imaginée par les dessinateurs polytechniciens, Jollois et Devilliers, dans la *Description d'Egypte* (*DE, Antiquités*, vol. IV, pl. 30).

Conclusion

Outre l'occasion de cet anniversaire pour nous remémorer la geste savante en Egypte, sans omettre les aspects de type religieux et scientiste qui ont pu entraîner des attitudes dont l'affaire du zodiaque de Dendera est un exemple notable, j'ai pu discuter deux moments d'invention dans des domaines bien différents, physique mathématique et égyptologie, mais où l'on peut reconnaître un même jeu de l'esprit d'analyse qui se justifie parce qu'il permet au final une reconstruction complète, ce que l'on appelle aussi une synthèse sur la langue hiéroglyphique ou sur la diffusion de la chaleur. Je veux alors conclure sur une conséquence qui marque formidablement notre temps, celle de l'effet de serre. Fourier peut, par sa méthode des modes propres, établir les équations pour les échanges de chaleur dans une sphère, comme la Terre. Il montre explicitement, avec certes des paramètres insuffisants, que l'âge de la Terre doit dépasser au moins des millions d'années, donc requiert autre chose que le récit de la Genèse. Il établit que l'effet d'un feu terrestre central est au fond peu considérable, en comparaison de l'effet solaire, mais aussi de la « température des espaces célestes ». Alors qu'il devrait appliquer ses formules aux températures à la surface de la Terre, il comprend que celle-ci radie, et que les les radiations sont en partie réfléchies vers la Terre par les plus hautes couches de l'atmosphère, alors que les radiations solaires passent aisément. Je le cite dans cet article de 1824.

> « La température est augmentée par l'interposition de l'atmosphère, parce que la chaleur trouve moins d'obstacle pour pénétrer l'air, étant à l'état de lumière, qu'elle n'en trouve pour repasser dans l'air lorsqu'elle est convertie en chaleur obscure. »

C'est donc pour pouvoir mettre sa théorie à l'épreuve des faits mesurés que Fourier devine un nouvel effet en 1824, sans certes mieux chercher à le préciser, mais lançant une piste pour le futur, qui est notre présent.

Bibliographie

Jean d'Alembert, Recherches sur la précession des équinoxes et sur la nutation de l'axe de la Terre, dans le systême newtonien, Paris, David l'Aîné (1749), in-4°.

Patrice Bret (dir.) *et al.*, *L'expédition d'Égypte, une entreprise des Lumières (1798-1801) : actes du colloque de Paris (8-10 juin 1998)*, Paris, Académie des sciences, 1999.

Jacques Champollion-Figeac, *Lettre sur une inscription grecque du temple de Dendérah, adressée à M. Fourier, préfet de l'Isère*, Grenoble, J.H. Peyronard, 1806.

Jacques Champollion-Figeac, *Fourier et Napoléon, l'Égypte et les Cent-Jours, mémoires et documents inédits*, Paris, F. Didot frères, 1844.

Jean-François Champollion, Lettre à M. le rédacteur de la Revue encyclopédique, relative au ZODIAQUE de Dendera, *Revue encyclopédique*, Paris, tome XV, 1822, p. 232 -239

Jean-François Champollion, *Lettre à M. Dacier relative à l'alphabet des hiéroglyphes phonétiques employés par les Egyptiens pour inscrire sur leurs monuments les titres, les noms et les surnoms des souverains grecs et romains*, Paris, Firmin Didot, 1822.

Jean-François Champollion, *Lettres écrites pendant son voyage en Egypte, en 1828 et 1829*, Paris, Firmin Didot, 1829.

Description de l'Égypte, ou Recueil des observations et des recherches qui ont été faites en Égypte pendant l'expédition de l'Armée française, publié par les ordres de Sa Majesté l'Empereur Napoléon le Grand, 9 tomes de textes dont 3 sur l'Etat moderne, et 13 tomes de planches, dont deux de très grand format, 1809 (en fit 1810)-1822. Une deuxième édition en format réduit est réalisée par Panckoucke de 1821 à 1829, et perd bien sûr la dénomination napoléonienne.

Auguste Comte, *Premiers cours de philosophie positive. Préliminaires généraux et philosophie mathématique*, Yann Clément-Colas (éd.), notes et postface de Jean Dhombres, PUF, Paris, 2007.

Stendhal, *Vie de Henry Brulard*, éd. par V. del Litto, *Œuvres intimes*, t. II, La Pléiade, Gallimard, Paris,1982.

Olivier Darrigol, The acoustic origins of harmonic analysis, *Arch. Hist. Ex. Sc.*, 2007, n° 4, p. 343-424.

Jean et Nicole Dhombres, *Naissance d'un pouvoir, sciences et savants en France (1793-1824)*, Payot, 1989, 942 pages.

Jean Dhombres, Jean Bernard Robert, *Fourier, créateur de la physique-mathématique*, Paris, Belin, 1998.

Jean Dhombres (dir.), *L'école normale de l'an III. Leçons de mathématiques, Laplace, Lagrange, Monge*, Paris, Dunod, 1992, repris par les éditions Rue d'Ulm.

Jean Dhombres, L'image du monde arabe dans le bilan des activités scientifiques dressé par l'Institut de France sous l'Empire, *Sciences et Techniques en perspective*, 1992, vol. 20, pp. 155-190.

Jean Dhombres, Un seul côté des objets. Stendhal et l'académisme mathématique, Entretiens de La Garenne Lemot, Académies, *Etudes littéraires,* 2005.

Jean Dhombres, Joseph Fourier égyptologue ? Une pédagogie sévère dans l'exercice de l'autorité intellectuelle au début du XIXe siècle, in *Les Bourguignons et le Levant*, Académie des sciences et belles-lettres de Dijon, Société des sciences historiques et naturelles de l'Yonne, colloque des 23-25 octobre 1998, p. 111-144.

Jean Dhombres, L'esprit de géométrie en Egypte, Monge et Jomard et Fourier, in Patrice Bret (dir.), 1999, pp. 307-350.

Jean Dhombres, Quelles postérités pour l'École normale de l'an III ? in Dominique Julia (dir.), *L'école normale de l'an III*, tome V, Paris, Presses de l'ENS, Paris, 2016, p. 581-606.

Jean Dhombres, History of a mathematical model and some of the criticism up to today: the diffusion of heat that started with a Fourier « Thought experiment, in Solym Mawaki Manou-Abi, Sophie Dabo-Niang, Jean-Jacques Salone (ed.), *Mathematical Modeling of Random or Deterministic Phenomena,* ISTE Ltd/ Wiley and Sons, 2020, p. 183-228.

Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une Société de gens de lettres. Mis en ordre et publié par M. Diderot, et, quant à la partie mathématique, par M. d'Alembert, Paris, Briasson, (1751-1780), 35 vol. in fol.

Jean-Baptiste Joseph Fourier, *Théorie analytique de la chaleur,* Paris, 1822 ; repris dans les *Œuvres de Fourier*, publiées par les soins de M. Gaston Darboux, sous les auspices du ministre de l'Instruction Publique, 2 vol., Gauthier-Villars, 1888-1890.

Joseph Fourier, Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires, *Mémoires Acad. Sc.*, 1824, [1827], p. 569-604.

Ivor Grattan-Guinness, en collaboration avec J.R. Ravetz, *Joseph Fourier 1768-1830*, *a survey of his life and work, based on a critical edition of his monograph on the propagation of heat, presented to the Institut de France in 1807*, MIT Press, Cambridge (Mass.)1972.

John Herivel, *Joseph Fourier. The Man and the Physicist*, Oxford, Clarendon Press, 1975.

Jean Lacouture, *Champollion. Une vie de lumières*, Paris, 1988.

Henry Laurens, *L'expédition d'Égypte*, Paris, Armand Colin, 1989.
Henry Laurens, *Orientales I*, *Autour de l'expédition d'Égypte*, CNRS-Editions, 2004.
Yves Laissus, *L'Egypte, une aventure savante 1798-1801*, Fayard, Paris, 1998.
Louis Reybaud, *Histoire scientifique et militaire de l'expédition française en Égypte, précédée d'une introduction présentant le tableau de l'Égypte ancienne et moderne, depuis les Pharaons jusqu'aux successeurs d'Ali-Bey, et suivie du récit des événements survenus en ce pays depuis le départ des Français et sous le règne de Mohammed-Ali d'après les mémoires, matériaux, documents inédits*, 10 vol., 1830-1836.
Société Joseph Fourier, *L'itinéraire de Joseph Fourier, 1768-1830*, De la révolution française à la révolution analytique, Hermann, à paraître.
Ahmed Youssef, *Le capitaine Bouchard, cet inconnu qui a découvert la pierre de Rosette,* Paris, L'Harmattan, 2021.