

**LES ARTICLES EN LIGNE DE**

**KADATH**

**L'ACTION DU VENT  
SUR L'EAU PENDANT  
L'EXODE**

**Auguste Meessen**

**O c t o b r e 2 0 1 3**

## L'action du vent sur l'eau pendant l'Exode



*Auguste Meessen, physicien, professeur émérite à l'Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgique*

### Ce que disent les textes

Il y a plus de 3000 ans, les Hébreux ont traversé la mer des Roseaux d'une manière très étonnante, puisque la Torah et la Bible en disent que « Yahvé refoula la mer toute la nuit par un fort vent d'est et il la mit à sec » (Ex.14, 21). Quelle que soit l'interprétation de cet événement, il implique un mécanisme physique que nous essayerons de comprendre. Cela soulève toute une série de questions et nous permet aussi de vérifier si des récits de ce genre sont simplement légendaires et invérifiables ou si leur contenu peut être soumis à un examen rationnel. Cela relève du désir de chacun d'y voir plus clair et aussi, quand il s'agit de recherches plus spécifiques, de la curiosité scientifique.

Rappelons brièvement qu'un jeune Cananéen, appelé Joseph, faillit être tué par ses frères à cause d'un songe et parce qu'ils étaient jaloux de l'amour que leur père lui témoignait (Gen.37, 5-11, 20). Il fut sauvé et aboutit en Égypte, où il se fit remarquer par l'interprétation de deux rêves du pharaon et par ses capacités d'organisation (Gen.41, 25 et 48). Lors d'une famine en Canaan, ses frères vinrent en Égypte pour y acheter du grain. En fin de compte, ils purent s'établir « dans

la meilleure région » d'Égypte, avec leur père Jacob, leurs familles et leurs troupeaux (Gen.46, 5-27). Le nom du pharaon concerné n'a pas été mentionné, mais il s'agit très probablement d'un des Hyksôs qui ont régné sur l'Égypte de -1650 à -1550 environ. Leur capitale était Avaris, située dans la partie est du Delta du Nil. Ces Hyksôs étaient considérés comme étant des envahisseurs et furent chassés, mais les Hébreux restèrent.

Bien plus tard, un autre pharaon se mit à craindre qu'ils ne deviennent trop nombreux et s'allient à des ennemis (Ex.1, 8-10). Il ordonna de tuer leurs nouveau-nés masculins et de leur « rendre la vie insupportable par de rudes labeurs » pour bâtir les villes de Pithom et Ramsès (Ex.1, 11-22). Bien que ce pharaon n'ait pas été nommé non plus, la construction de Pi-Ramsès (demeure de Ramsès) fournit un bon indice. En effet, on sait que le fondateur de la XIX<sup>e</sup> dynastie, Ramsès I<sup>er</sup>, était originaire du Delta du Nil et que son fils Séthi I<sup>er</sup> décida d'ériger une nouvelle capitale sur les ruines d'Avaris. Le Grand Ramsès (Ramsès II) y fit construire un palais fastueux, de grands temples, des habitations, des silos à grains et toutes les installations militaires requises. Cet emplacement était effectivement mieux situé que Memphis pour protéger le pays des envahisseurs potentiels et surtout des Hittites, très guerriers. Il correspond au village actuel de Quantir, où l'archéologue autrichien Bietak a effectué des fouilles importantes<sup>1</sup>. Ramsès II a régné 66 ans (de -1279 à -1213) et est décédé à Pi-Ramsès à l'âge exceptionnel de 91 ou 92 ans.

Un petit enfant hébreu, appelé Moïse, eut la vie sauve et fut même recueilli par la fille du pharaon, ce qui lui procura probablement une éducation princière (Ex.2, 1-10). La Bible nous apprend seulement que « Moïse, devenu grand, alla rendre visite à ses frères ». Voyant qu'un Égyptien rouait de coups l'un d'eux, il s'y opposa. En fait, il le tua. Même si c'était en partie accidentel, il savait qu'il n'avait aucune chance de s'en sortir devant les juridictions du pharaon. Il prit la fuite et se rendit au pays de Madian, situé à l'est du golfe d'Aqaba dans l'Arabie Saoudite actuelle. Il y mena la vie d'un berger semi-nomade. « Au cours de cette longue période, le roi d'Égypte mourut. » (Ex.2, 11-23.) Moïse vécut alors une expérience qui le bouleversa profondément. Ayant gravi une montagne qui devait être assez singulière, puisqu'elle était appelée la montagne de Dieu, il y vit un buisson qui était en flammes, sans se consumer. Il s'en approcha pour examiner « cet étrange spectacle, et voir pourquoi le buisson ne se consume pas » (Ex.3, 1-3). Colin Humphreys, professeur en sciences des matériaux à l'université de Cambridge, a mené une enquête très approfondie sur les circonstances de l'Exode<sup>2</sup> et a fourni de bons arguments en faveur de l'idée que cette montagne était un volcan. Un de ses arguments était que des gaz combustibles pouvaient alors s'échapper d'une fente. Ils pouvaient s'enflammer sous l'effet de la chaleur et émettre de la lumière par combustion, tandis que le bois se carbonise simplement quand il reste à l'abri de l'oxygène de l'air. Moïse, ne pouvant pas comprendre ce phénomène, y vit une manifestation de la puissance de Yahvé et un signe qu'avec l'aide de Dieu, il parviendrait à libérer les Hébreux de l'oppression égyptienne. Cette inspiration lui donna une confiance inébranlable dans la réussite de ce projet, au lieu de le considérer comme étant absolument insensé.

La Torah n'a pas précisé le nom du pharaon que Moïse et son frère Aaron ont affronté, mais logiquement, il devait s'agir du fils de Ramsès II, appelé Mérenptah (Mineptah ou Ménéptah). En effet, le pharaon que Moïse avait connu était décédé et Mérenptah poursuivit la construction de Pi-Ramsès. Quand Moïse et Aaron lui demandèrent au nom de Yahvé : « Laisse partir mon peuple, qu'ils célèbrent une fête en mon honneur dans le désert », il refusa, parce qu'il ne reconnaissait pas ce Dieu auquel on lui demandait d'obéir (Ex.5, 1 et 2). Dans sa colère, il aggrava encore les conditions de travail des Hébreux. Les fameuses plaies d'Égypte qui se sont alors abattues sur le pays et ses habitants ont fortement soutenu les demandes répétées

de Moïse et d'Aaron. On peut les expliquer par une suite de catastrophes naturelles, mais il reste très remarquable qu'elles se soient produites justement à ce moment-là. Finalement, pendant une nuit particulièrement dramatique, « Pharaon convoqua Moïse et Aaron et leur dit : "Levez-vous et sortez du milieu de mon peuple... Allez rendre un culte à Yahvé, selon votre requête"... Les Égyptiens pressèrent le peuple pour hâter son départ du pays. » (Ex.12, 30 à 33.)

Les Hébreux partirent immédiatement avec leur bétail, en emportant de la pâte à pain, qui n'était pas encore levée, mais aussi des bijoux d'argent et d'or, ainsi que des vêtements demandés à leurs voisins (Ex.12, 35 et 39). Ils se rendirent d'abord à Sukkot et puis à Etam, en bordure du désert, pour arriver enfin à la « mer des Roseaux », près de Pi-Hahiroth (Ex.13, 18 et 14, 2). Dès que le pharaon apprit que les Hébreux n'avaient pas l'intention de revenir, il « fit atteler son char et emmena ses troupes ». Il faisait donc lui-même partie de l'expédition, pour faire « la chasse » à la main d'œuvre qui s'en allait. Le texte biblique ajoute que beaucoup de chars et des équipages d'élite y participèrent. Quand les Hébreux furent rejoints à leur campement au bord de la mer, ils étaient très effrayés (Ex.14, 5-10). On peut même justifier l'idée<sup>2</sup> que les stratèges égyptiens les avaient piégés. Or, c'est précisément à ce moment-là qu'il y eut un vent de forte tempête qui refoula l'eau. « Les enfants d'Israël s'engagèrent dans le lit asséché de la mer » et purent le traverser. Ils n'étaient pas encore sauvés pour autant, parce que « tous les chevaux de Pharaon, ses chars et ses cavaliers s'engagèrent à leur suite ». Il y eut un second événement, car « au point du jour, la mer rentra dans son lit... Les eaux, dans leur reflux, submergèrent les chars et les cavaliers de toute l'armée de Pharaon. » (Ex.14, 23, 27 et 28.)

Est-il possible que le vent puisse avoir des effets aussi importants et catastrophiques pour les poursuivants que ce très ancien texte l'affirme ? Nof et Paldor (NP) ont fourni une première réponse<sup>3</sup>, en supposant que la traversée eut lieu près de l'extrémité du golfe de Suez. Ils l'ont modélisé par un canal de largeur constante, suffisamment réduite pour qu'on ait uniquement à considérer un mouvement longitudinal de l'eau quand le vent souffle suivant son axe. Ils ont également supposé que le fond est un plan incliné à faible pente sur toute la longueur du golfe (figure 1). Puisqu'il débouche sur la mer Rouge, beaucoup plus large, le niveau de l'eau ne changea pratiquement pas à l'extrémité du golfe. Un vent très fort, soufflant assez longtemps dans cette direction conduit alors à un nouvel état d'équilibre. En fait, le niveau de l'eau sera abaissé sur toute la longueur du golfe, mais de manière inégale.

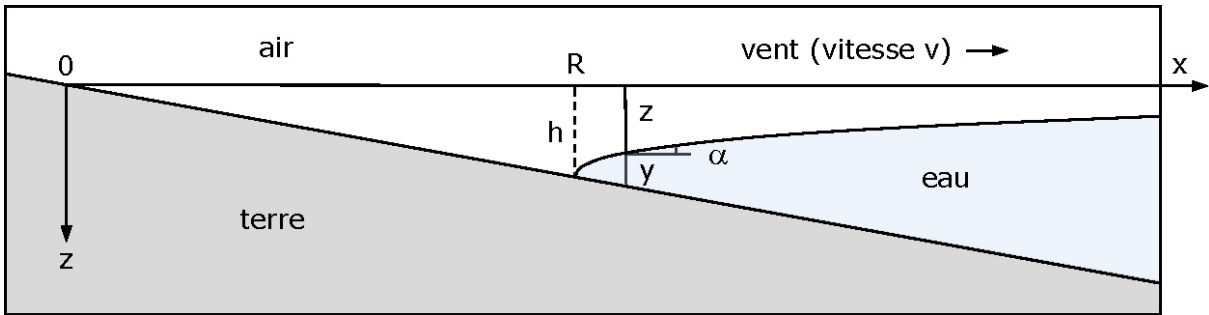


Figure1. Refoulement de l'eau dans un canal incliné sous l'effet d'un vent constant (© A. Meessen).

Cette figure définit le système de référence (x, z) et les paramètres que nous utiliserons pour expliquer les calculs de NP. L'axe des x correspond au niveau normal de l'eau et nous désignons sa profondeur effective par z (au lieu de  $-\zeta$ ). La surface de l'eau refoulée correspond donc à une fonction  $z = z(x)$ . Nous expliciterons le calcul de cette fonction, en précisant de suite que nous

le modifierons, parce qu'il y a d'excellents arguments<sup>2</sup> pour penser que le passage de la mer des Roseaux eut lieu à l'extrémité du golfe d'Aqaba et non pas à celle du golfe de Suez. Nof et Paldor n'ont pas justifié leur choix, mais il résulta sans doute du fait qu'on a généralement admis que les Hébreux se seraient rendus au mont Sinaï<sup>4</sup> dans la péninsule du même nom. L'hypothèse d'une traversée des lacs amers, plus proches de l'Égypte, pouvait être exclue, puisqu'un effet du vent et un reflux aussi puissant qu'on l'a décrit requièrent une surface d'eau très allongée.

La raison la plus importante pour abandonner l'hypothèse traditionnelle du Sinaï résulte du fait que Moïse s'était déjà rendu d'Égypte au pays de Madian, situé au-delà du golfe d'Aqaba. Il voulait quitter au plus vite la zone contrôlée par les Égyptiens. L'obstacle essentiel était alors le grand désert, mais Moïse a pu apprendre des caravaniers comment on peut le traverser. Il faut connaître les points d'eau et savoir comment on se rend de l'un à l'autre. Puisque Moïse avait suivi le même itinéraire pour revenir en Égypte, il le connaissait bien. Lors de l'Exode, il voulait mettre en sécurité le plus rapidement possible tous ceux qu'il venait de libérer. Il savait où c'était possible et il est également normal qu'il ait voulu les conduire à la montagne de Dieu, où il avait pris conscience de sa mission et acquis une confiance absolue dans sa réussite, avec l'aide de Yahvé.

Le professeur Humphreys a fourni des arguments liés aux données topographiques, les noms des lieux étant conservés à longue échéance. Il a aussi utilisé l'idée que la montagne de Dieu était un volcan. Nous y reviendrons, parce que nous devons d'abord comprendre la méthode de calcul utilisée par NP. Ensuite, nous rassemblerons des données concernant les vitesses possibles du vent et la configuration du golfe d'Aqaba. Il apparaîtra que le modèle NP doit être modifié ! C'est possible et nous en tirerons les conséquences qui s'imposent. Nous ajouterons aussi d'autres informations, en particulier pour confirmer que Mérenptah était le pharaon de l'Exode, ce qui précise aussi la datation. Enfin, nous indiquerons deux autres pistes à explorer, pour confirmer ou infirmer les idées proposées.

## Le refoulement de l'eau

Le modèle NP fait appel à des lois physiques concernant la circulation océanique au voisinage des côtes. Ces lois furent énoncées et appliquées par Csanady<sup>5</sup>, une autorité incontestée dans ce domaine<sup>6</sup>. Elles permettent de rendre compte de l'évolution temporelle des courants océaniques, de la forme du rivage et des effets de la rotation de la Terre, mais on peut les simplifier quand on ne considère que l'état stationnaire final pour le modèle considéré par NP. On a supposé que le vent souffle le long de l'axe d'un canal de largeur constante, mais à fond incliné (figure 1). Quand la vitesse  $v$  du vent est constante pendant un temps assez long pour aboutir à l'état stationnaire, la forme de la surface de l'eau est spécifiée par la fonction  $z = z(x)$  qui satisfait l'équation

$$Cpv^2 = \rho'gy \operatorname{tg} \alpha \quad \text{où} \quad \operatorname{tg} \alpha = -dz/dx \quad \text{et} \quad y + z = H = s x \quad (1)$$

L'angle  $\alpha$  définit l'inclinaison locale de la surface de l'eau. La constante  $C$  est le coefficient d'entraînement qui dépend de la vitesse du vent  $v$ . On doit faire intervenir la densité  $\rho$  de l'air qui balaie la surface de l'eau et la densité  $\rho'$  de l'eau qui exerce sur le fond une pression hydrostatique  $\rho'gy$ . La variable  $y$  désigne la profondeur de l'eau qui subsiste à l'endroit considéré et  $g$  est l'accélération de la pesanteur. Il était sous-entendu que le courant de surface qui résulte de l'entraînement par le vent requiert un courant sous-marin en sens inverse. On supposait aussi que ce courant suit la

pente du sol, formant un plan incliné sur toute la longueur du golfe. Quand  $L$  est la longueur du golfe de Suez et  $D$  sa profondeur à l'endroit où il débouche sur la mer Rouge, la hauteur du niveau normal de l'eau par rapport au fond est  $H = sx$ , où  $s = D/L$ . Puisque  $L = 350$  km et  $D = 70$  m,  $s = 0,0002$ .

La première relation (1) montre qu'au point de rebroussement ( $x = R$  et  $z = h$ ), la surface de l'eau est verticale ! En effet,  $\tan \alpha = \infty$  et  $\alpha = 90^\circ$  quand  $y = 0$ . L'angle  $\alpha$  diminue ensuite au fur et à mesure que  $H$  et  $y$  augmentent. La condition aux frontières résulte du fait qu'à l'embouchure du golfe, l'eau se déverse dans un réservoir beaucoup plus grand ( $z = 0$  pour  $x = L$ ). Pour déterminer  $z = z(x)$ , il faut résoudre l'équation (1), mais il est plus facile de trouver la fonction équivalente  $x = x(z)$ , puisque

$$dx/dz = (z - sx)/d \quad \text{où} \quad d = Cp v^2 / \rho' g \quad (2)$$

La forme de la surface d'équilibre ne dépend donc que de deux paramètres :  $s$  et  $d$ . D'après Csanady,  $C(\rho/\rho')v^2 \approx 10^{-4} \text{ (m/s)}^2$  pour des vitesses moyennes assez modérées ( $v \approx 7 \text{ m/s} \approx 25 \text{ km/h}$ ). Puisque  $\rho/\rho' \approx 1,3 \cdot 10^{-3}$ , il en résulte que  $C \approx 0,0016$  et  $d \approx 10^{-5} \text{ m}$ . Pour un vent extrêmement fort et pratiquement constant ( $v \approx 35 \text{ m/s} \approx 125 \text{ km/h}$ ),  $C$  serait au moins 30 fois plus grand. L'équation (2) est satisfaite par  $x(z) = A \exp(-az) + Bz + E$ , où  $A$ ,  $a$ ,  $B$  et  $E$  sont des constantes, mais par substitution, il apparaît que

$$x = A \exp(-sz/d) + z/s - d/s^2 \quad (3)$$

La distance de refoulement  $R$  est telle que  $x = R$  quand  $z = h = sR$ . Donc

$$A \exp(-R/\delta) = \delta \quad \text{où} \quad \delta = d/s^2$$

Il résulte de (3) et de la condition aux frontières ( $z = 0$  pour  $x = L$ ) que  $A = L + d/s^2$ . Donc

$$R = \delta \ln(1 + L/\delta) \quad \text{et} \quad h = sR \quad (4)$$

Cette formule est magnifiquement simple et équivalente à celle que NP ont écrite, en y explicitant les valeurs de  $d$  et de  $\delta$ . Quand nous admettons avec eux que la pente du fond est partout très faible ( $s = 2 \cdot 10^{-4}$ ), nous obtenons  $\delta \approx 250 \text{ m}$ ,  $R \approx 1,8 \text{ km}$  et  $h \approx 36 \text{ cm}$  quand  $v = 7 \text{ m/s}$ . La valeur de  $h$  est très petite, à cause de la faible pente, mais pour une vitesse  $v = 35 \text{ m/s}$ , les valeurs de  $d$  et  $\delta$  seraient 30 fois plus grandes. Alors  $R = 2,9 \text{ km}$  et  $h = 5,8 \text{ m}$ . Quand nous avons procédé à une résolution numérique de l'équation (2), nous avons constaté que l'eau est toujours abaissée sur une grande distance au-delà de  $R$ . Nous pouvons nous en rendre compte plus simplement, en utilisant l'expression (3) pour définir la distance  $x = R'$  où le niveau de l'eau est déprimé par rapport à son niveau normal d'une hauteur  $h/2$ . Il apparaît que

$$R' = \delta \exp(R/2\delta) - \delta + R/2$$

Pour un vent soutenu, très fort ( $v = 35 \text{ m/s}$ ),  $R' \approx 84 \text{ km}$ . L'écoulement du trop-plein dans la mer Rouge est indispensable. NP ont cependant remarqué eux-mêmes qu'un refoulement de l'eau sur une distance  $R \approx 3 \text{ km}$  est exagéré, puisque le fond descend plus rapidement près de l'extrémité du golfe que nous venons de le supposer. Si la pente moyenne était 10 fois plus grande, la valeur de  $\delta = d/s^2$  serait réduite de 7500 m à 75 m. Alors,  $R \approx 634 \text{ m}$  et  $h \approx 31 \text{ cm}$ , même pour un vent de vitesse proche de  $125 \text{ km/h}$ . Notons qu'une profondeur  $h$  aussi modeste aurait permis d'effectuer la traversée sans tempête, en se mouillant seulement les pieds, bien que cela aurait ralenti la traversée. Le texte implique que le vent produit un effet beaucoup plus

impressionnant que cela. Le résultat du reflux requiert aussi le déplacement d'une très grande masse d'eau. Le modèle proposé par Nof et Paldor n'est donc pas tout à fait satisfaisant. Ils ont évidemment raison quand ils font remarquer que la configuration du sol n'a aucune importance pour la partie dénudée ( $x < R$ ). Cela permet d'expliquer une particularité importante du récit biblique<sup>2</sup> : « les eaux se fendirent », ce qui a permis le passage « dans le lit asséché de la mer avec une muraille d'eau à leur droite et leur gauche ». (Ex.14, 22.) La configuration du sol pouvait effectivement être telle que les deux rives étaient reliées par un couloir transversal plus élevé, normalement situé au-dessous de la surface de l'eau (figure 2). En tout cas, la surface de l'eau refoulée devait toucher le sol de manière verticale du côté de la grande masse. Cela permettait de parler d'une « muraille », mais les délimitations du passage n'étaient pas aussi verticales et hautes que certains peintres et cinéastes l'ont imaginé.

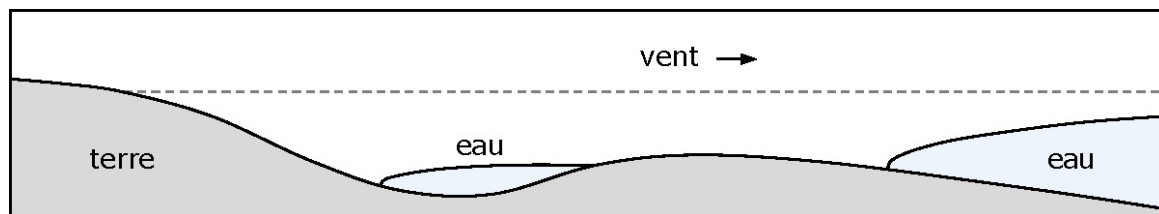


Figure 2. Le partage des eaux, dû à l'action du vent et à la configuration du sol (© A. Meessen).

Puisque la vitesse du vent n'était pas rigoureusement constante, l'équilibre n'était pas statique. La distance de refoulement  $R$  devait fluctuer et la surface de l'eau était sans doute agitée, mais ce qui compte ici, c'est l'effet moyen d'un vent très fort, soufflant de manière soutenue et assez longuement pour atteindre l'état d'équilibre considéré. Pour rendre compte du récit biblique quant à ce qui arriva lorsque les chars égyptiens empruntèrent le même passage, NP admettent que le vent s'arrêta en quelques minutes. En fait, il n'est pas nécessaire qu'il s'arrête totalement, puisque l'eau continua à refluer dès lors que l'équilibre était rompu, à la fois par inertie et par la force gravifique exercée sur l'énorme quantité d'eau déplacée. Comme sur toute plage, la vitesse de progression de l'eau décroît quand la profondeur diminue. Il y eut donc un empilement de l'eau et formation d'une très haute vague. Elle créa des turbulences irrésistibles et dépassa très largement la position d'équilibre. Les conséquences ont dû être catastrophiques, comme pour un tsunami.

## La météorologie et le passage au golfe d'Aqaba

La première question qui se pose maintenant concerne la chance qu'il puisse y avoir eu un vent aussi fort. Nof et Paldor ont examiné les données météorologiques au Moyen-Orient<sup>7</sup> et ils ont trouvé qu'un vent de seulement 20 m/s pourrait y souffler pendant une dizaine d'heures environ tous les 1400 ans. Le chef du Service climatologique de l'IRM en Belgique a signalé<sup>8</sup> qu'en 1953, une tempête provoqua un énorme raz de marée qui déferla sur la côte belge et aurait creusé dans la mer du Nord une dénivellation allant jusqu'à 60 m. Un observateur météo de Belgocontrol a précisé<sup>9</sup> que lors de la tempête du 31 janvier au 1<sup>er</sup> février 1953, la vitesse moyenne du vent se situait en Belgique entre 89 et 102 km/h (24 à 28 m/s), avec une rafale de 122 km/h. À la côte hollandaise, il y eut une rafale de 144 km/h. Les tornades sont rares à nos latitudes, mais le soir du 25 juin 1967, il y en eut une de type F3 (sur l'échelle



Fujita) avec des vitesses du vent entre 254-332 km/h (mesurés à Oostmalle, en Belgique). Dans le nord de la France, elle fut de type F4 (333 à 418 km/h) et même F5 (419 à 512 km/h).

Un vent soufflant toute une nuit à une vitesse  $v \approx 125 \text{ km/h}$  est donc très rare et il serait souhaitable de ne pas devoir admettre une hypothèse aussi extrême. Nous devons d'ailleurs nous demander si le passage a vraiment eu lieu à l'extrémité du golfe de Suez. Il existe en effet un ensemble d'arguments qui plaident en faveur d'un passage près de la pointe du golfe d'Aqaba. L'itinéraire proposé par Humphreys<sup>2</sup> (figure 3) diffère très nettement de la proposition traditionnelle<sup>10</sup> qui aurait mené au mont Sinaï (Djebel Musa). Puisque Moïse voulait arriver sans doute le plus rapidement possible au pays de Madian et à la montagne de Dieu, il doit avoir choisi la voie la plus directe, qu'il connaissait.

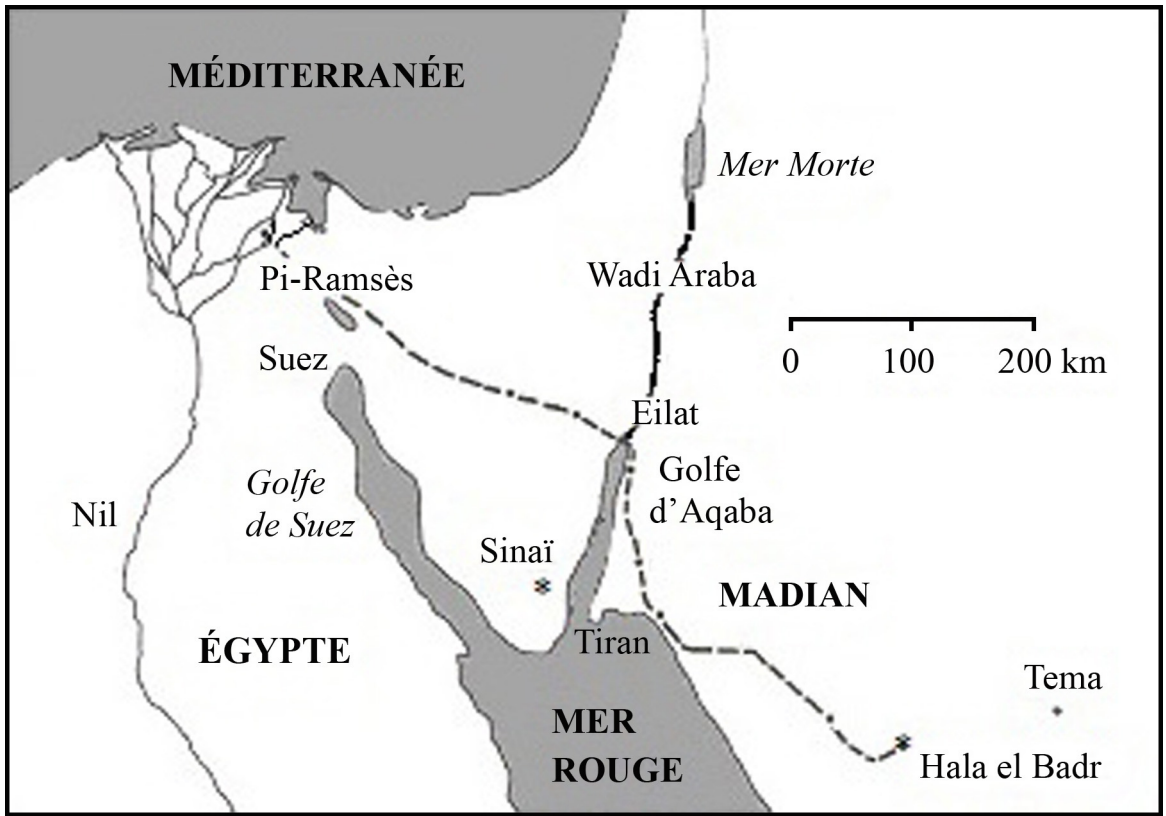


Figure 3. L'itinéraire suivi par les Hébreux au cours de l'Exode (© A. Meessen).

D'après Humphreys, la montagne de Dieu était l'ancien volcan Hala el Badr (ou Hala-’l Badr 27°15'N et 37°12'E, dans l'actuelle Arabie Saoudite). Un vent soufflant le long du golfe d'Aqaba venait davantage du côté est qu'un vent soufflant le long du golfe de Suez et dans la Bible, on ne mentionne que les quatre directions principales de la rose des vents. En fait, le Wadi Araba qui joint le golfe d'Aqaba à la mer Morte forme une vallée très encaissée, canalisant le vent. Un documentaire récent<sup>11</sup> concernant les débuts de la métallurgie du cuivre – bien avant l'Exode – mentionnait que les minéraux étaient amenés à la température de fusion dans des fours en limon. Cette technologie se développa surtout dans le Wadi Araba, qu'on appelait dans ce documentaire « la vallée des ingénieurs ». Des trous pratiqués dans les parois latérales des fours amenaient en effet de l'oxygène et conduisaient même à un effet de cheminée. C'était



possible là-bas, à cause de vents très forts à certaines périodes de l'année. Les fortes pentes latérales du golfe d'Aqaba renforçaient aussi l'action du vent sur toute la longueur de ce golfe.

Signalons qu'un roman historique très connu<sup>12</sup> situe l'Exode au temps de Ramsès II, mais modifie allègrement les données bibliques. D'après cet écrivain, Moïse aurait choisi de rejoindre Canaan par la voie directe, longeant la côte. La mer des Roseaux n'aurait été qu'une région marécageuse avec des sables mouvants et Moïse aurait choisi cette voie pour enlever aux Hébreux toute envie d'un retour en arrière. Or, la route longeant la côte était assez facile. Ramsès craignait à juste titre des invasions venant du nord-est, en suivant cette voie. Avec ses chars et ses nombreux cavaliers (Ex.14, 7), le pharaon n'aurait pas mis beaucoup de temps pour rattraper les évadés. D'après le romancier, glorifiant l'Égypte, les Hébreux n'auraient été suivis que par une petite escouade de chars égyptiens et uniquement quelques-uns d'entre eux se seraient embourbés à cause d'un vent d'est, inondant le passage.

Il n'y aurait même pas eu de désastre pour les Égyptiens et le pharaon en serait sorti indemne. Cela illustre les libertés que pas mal d'auteurs se sont accordées, en fonction des idées qu'ils aimaient défendre. Un autre exemple, plus récent et apparemment plus scientifique, est fourni par un livre qui prétend que les récits bibliques ne seraient que le fruit de rumeurs, parce que les plaies d'Égypte auraient été causées par l'éruption volcanique de Santorin<sup>13</sup>. Elle s'est pourtant produite environ 400 ans avant la fin du règne de Ramsès II<sup>14</sup>. L'intervention d'un volcan est importante à nos yeux, mais on ne peut pas se permettre de déformer à volonté les textes qui définissent le problème posé. La montagne de Dieu, où Moïse découvrit le buisson ardent, était même un volcan en pleine éruption au moment de l'Exode. En effet, quand les Hébreux marchaient dans le désert de la péninsule du Sinaï, il se manifestait « le jour sous la forme d'une colonne de nuée pour leur indiquer la route, et la nuit en la forme d'une colonne de feu ». (Ex.13, 21.) Ils marchaient pratiquement vers elle (figure 3). Quand les Hébreux avaient rejoint cette montagne, elle était « toute fumante... La fumée s'élevait comme d'une fournaise et toute la montagne tremblait violemment. » (Ex.19, 16-18.)

La proposition que le vrai mont Sinaï serait le volcan Halal el Badr fut déjà émise par Becke<sup>15</sup> et Musil<sup>16</sup>. Koenig<sup>17</sup> a fourni beaucoup plus de précisions et nous pouvons constater nous-mêmes (au moyen de Google Earth) que le Halal el Badr se trouve au bord d'une cuvette. Recueillant et retenant l'eau, elle était très fertile. Le berger Moïse l'avait déjà découverte au cours de son premier séjour au Madian, en recherchant de bons pâturages. C'était donc un lieu de séjour adéquat pour des Hébreux et leurs troupeaux. Humphreys a fourni d'autres arguments, en analysant l'itinéraire suivi<sup>2</sup>. Il a résolu en particulier le problème qui résulte du fait que le récit biblique parle d'une traversée de la « mer des Roseaux ». Il devait s'agir de papyrus, puisque le même terme (*souf*) fut utilisé pour le bord du Nil, où la corbeille imperméabilisée du petit Moïse avait été placée. Or, le papyrus ne peut pas pousser dans de l'eau salée, reliée à la mer Rouge, mais l'eau douce amenée par le Wadi Araba le rendit possible près de l'extrémité du golfe.

Humphreys a visité cet endroit et en a conclu que les Hébreux sont descendus des montagnes du côté ouest du golfe d'Aqaba. Ils campaient alors au bord de la mer (Ex.14, 2) pour reprendre des forces et permettre un regroupement. Puisque les chars égyptiens ne pouvaient pas emprunter un chemin aussi raide, ils furent obligés de faire un détour et sont arrivés par le Wadi Araba (figure 3). Peut-être ne sont-ils même pas passés par le désert. En tout cas, ils ont rejoint les Hébreux « à leur campement au bord de la mer » (Ex.14, 9). Constatant « l'approche de Pharaon ... [les évadés] furent saisis d'un grand effroi » (Ex.14, 10). Ils ont peut-être essayé de battre en retraite, puisque cela expliquerait que « la colonne de nuée se déplaça de l'avant vers l'arrière » (Ex.14, 19).



# Un modèle flexible pour le golfe d'Aqaba

La grande profondeur et le relief accidenté du fond du golfe d'Aqaba ne permettent pas une simple transposition du modèle NP. Ce qui importe et que ces auteurs n'avaient pas mentionné, c'est que le courant de surface qui résulte de l'entraînement par le vent requiert un courant sous-marin en sens inverse, puisqu'il faut nécessairement que l'eau qui part soit remplacée par de l'eau qui arrive. Quand le fond correspond à un plan incliné de pente assez faible, on peut admettre que le courant inférieur longe ce plan. Le golfe d'Aqaba ne s'y prête pas, mais cela n'est pas indispensable. En effet, il s'agit d'eau salée, où l'on doit s'attendre à une stratification horizontale. Malgré l'agitation thermique des molécules, tendant à rendre tout liquide plus homogène, la teneur en sel augmente avec la profondeur, puisqu'une molécule de NaCl est plus lourde qu'une molécule de  $H_2O$ . Il s'établit un équilibre, impliquant un gradient de densité et même une stratification. Par ailleurs, il est bien connu que les grands courants océaniques dépendent des variations de la densité qui résultent de l'échauffement par le Soleil et de la salinité. Comme pour l'atmosphère, la circulation de l'eau de mer est également influencée par la rotation de la Terre (parce que les courants sont déviés par les forces de Coriolis). Cet effet peut être négligé pour le golfe d'Aqaba, comme NP l'avaient déjà fait pour le golfe de Suez. Le phénomène El Niño montre bien l'importance des courants sous-marins, puisque la remontée d'eau froide près de l'une ou l'autre côte océanique peut avoir des répercussions énormes<sup>18</sup>.

Dans le golfe d'Aqaba, nous devons donc nous attendre à deux courants, comparables aux bandes supérieures et inférieures d'un tapis roulant. Ceci nous permet de considérer un modèle flexible, où la distance  $D$  entre le niveau normal de l'eau et la limite inférieure du courant n'est pas déterminée a priori (figure 6). En fait, nous distinguons trois parties. La partie I correspond au fond parabolique, dénudée par le vent. La partie II est celle où l'eau glisse le long de la surface, supposée être un plan incliné, ce qui permet l'utilisation des formules (1) avec  $H = sx$ . La pente du sol dans la partie II est identique à celle du sol parabolique en  $x = r$ . L'origine de l'axe des  $x$  est donc choisie de telle manière qu'elle se trouve sur le prolongement de cette pente. Dans la partie I, le fond du golfe varie pratiquement de manière parabolique. Sa profondeur  $H \approx (x+\lambda)^2/\mu$ , où  $\mu \approx 34$  km du côté ouest et  $\mu \approx 18$  km du côté est (figure 4). Pour la traversée, nous adoptons la valeur moyenne  $\mu \approx 26$  km. La pente  $dH/dx = 2(x+\lambda)/\mu$ , mais en  $x = r$ , elle devient égale à  $s$ .

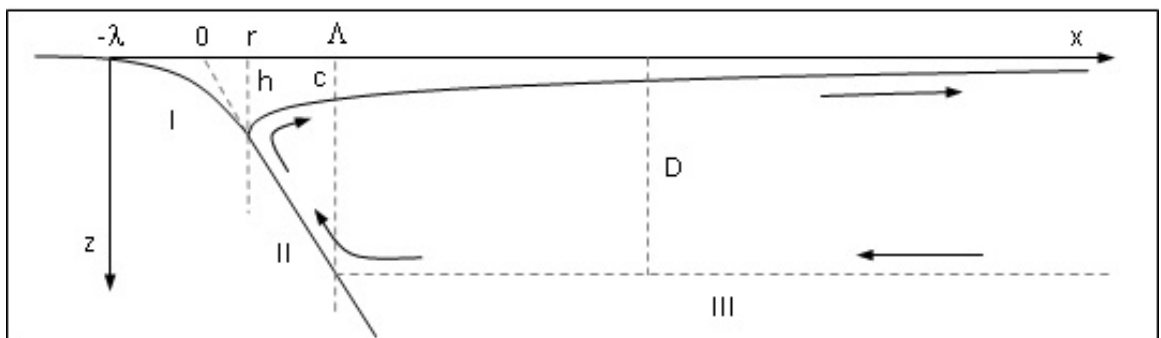


Figure 6. Un modèle du golfe d'Aqaba, fournissant une approximation raisonnable (© A. Meessen).

Dans la partie III, qui s'étend de  $x = \Lambda$  jusqu'à l'embouchure en  $x = L$ , l'eau pourrait être entraînée au-dessous du niveau  $D$  par le mouvement horizontal de la couche supérieure adjacente. En principe, il pourrait même y avoir formation d'une suite de « rouleaux », comme

cela arrive dans l'atmosphère terrestre, mais nous négligerons cet effet, parce que la viscosité de l'eau est assez faible et parce que son inertie est plus grande. Ce système étant adaptatif, il tend à évoluer vers un régime stationnaire tel que l'énergie requise soit minimale. Cela veut dire que la masse d'eau mise en mouvement sera aussi petite que possible, en tenant compte des restrictions imposées par les équations. Puisque  $H = D$  dans la partie III, l'équation (2) y conduit à  $dx/dz = (z-D)/d$ . Par conséquent  $x = (z^2/2d) - (zD/d) + L$ . Pour la partie II, nous pouvons reprendre la solution (3) qui doit être telle que  $z = c$  quand  $x = \Lambda = D/s$ , tandis que  $z = sr$  quand  $x = r$ . Donc

$$A \exp(-sc/d) = (D - c)/s + d/s^2 \quad \text{et} \quad A \exp(-s^2r/d) = d/s^2$$

En éliminant la constante A, nous obtenons la relation

$$\exp[s(sr-c)/d] = 1 + [s(D-c)/d] \quad \text{où} \quad c = D - [D^2 - 2d(L-\Lambda)]^{1/2}$$

La distance de refoulement  $R = r + \lambda$  est donc telle que  $2R = \mu s$ , tandis que  $R^2 = \mu h = \mu sr$ . Par conséquent,  $s = 2R/\mu$ ,  $r = R/2$  et  $\Lambda = D/s = \mu D/2R$  dans les deux dernières équations. En combinant ces relations, nous obtenons une seule équation pour R qui peut être résolue numériquement. Ensuite, nous déterminons la profondeur  $h = R^2/\mu$ . Il apparaît ainsi que h et R augmentent de plus en plus fortement quand D diminue. La limite correspond au cas où la largeur de la partie II se réduit à zéro ( $D = c = h$ ) et l'on trouve alors que  $R = 520$  m et  $h = 10,4$  m pour un vent soutenu très fort ( $v \approx 125$  km/h et  $d \approx 3.10^{-4}$ ). Cette valeur limite peut être obtenue aussi de manière directe, puisque l'équation pour R devient alors

$$R^4 + d\mu^2(R-2L) = 0 \quad \text{avec} \quad h = R^2/\mu \quad (5)$$

## Discussion et implications des résultats

Il apparaît qu'un passage près de l'extrémité du golfe d'Aqaba est parfaitement possible quand on modifie le modèle NP, en considérant une stratification horizontale. Le courant se limite alors à la partie supérieure du golfe, où l'eau était d'ailleurs plus chaude et donc aussi un peu moins dense pour cette raison. En fait, l'accord avec le texte de référence est fortement amélioré pour deux raisons. Près de l'extrémité du golfe, la descente du fond est pratiquement parabolique, ce qui augmente la valeur de h. En outre, l'action du vent sur l'eau fut telle que l'énergie nécessaire soit minimale. Donc  $\Lambda \rightarrow r$  et  $D \rightarrow h$ . Pour un vent très fort ( $v \approx 125$  km/h), on aboutirait même à une distance de refoulement R de l'ordre d'un demi-kilomètre et à un abaissement h du niveau de l'ordre de 10 m, au lieu de seulement 30 cm pour le golfe de Suez. C'est plus conforme à l'importance que la Torah et la Bible accordent à cet événement. Il n'est même pas nécessaire d'admettre un vent constant aussi fort, puisqu'un vent modéré ( $v \approx 25$  km/h) suffit pour que la distance de refoulement R égale 222 m et la hauteur h égale 1,9 m. Ces valeurs découlent directement de (5) pour la géométrie médiane ( $\mu \approx 26$  km). Bien que la valeur réelle de v ne soit pas connue, elle devient moins critique que pour le modèle NP et le golfe de Suez.

L'argument concernant le partage des eaux (figure 2), reste valable, mais nous devons nous demander si une distance de refoulement R comprise entre 200 et 500 m n'est pas trop petite. Les Égyptiens n'auraient-ils pas dû remarquer la traversée de l'eau ? Notons d'abord que les scribes bibliques ont trouvé nécessaire de parler d'une traversée de la « mer des Roseaux ». Il devait s'agir de

papyrus. Puisqu'il ne pousse pas dans de l'eau salée, il devait y avoir une zone marécageuse près de l'extrémité du golfe. Les Égyptiens ont campé devant ce marécage, ce qui suffisait pour empêcher son contournement par les Hébreux, mais ils n'ont pas vu que ceux-ci prenaient un raccourci à cause des plantes interposées. Il s'agissait sans doute du papyrus d'Égypte (*Cyperus papyrus*) qui atteint une hauteur de 2,5 à 3 m<sup>19</sup> ou même 4 m d'après d'autres sources. En outre, la traversée s'effectua au niveau du lit du golfe, encore mieux caché à leur vue. Cela s'est passé pendant une forte tempête. Puisque le vent soufflait des Égyptiens vers les Hébreux, il rendait la perception des bruits plus difficile. En outre, le pharaon et ses cavaliers ne s'attendaient pas à ce que cette tempête puisse favoriser la fuite des Hébreux.

Cela explique qu'au petit matin, avant que le vent n'ait faibli, ils se sont rendus du côté ouest du golfe et non pas du côté est. Le pharaon, connu pour son caractère colérique, devint furieux quand il constata que les Hébreux étaient partis. Il devait attribuer d'ailleurs le récent décès de son fils aîné, le prince héritier d'Égypte, au Dieu des Hébreux. Il donna donc immédiatement l'ordre de foncer : « Tous les chevaux de Pharaon, ses chars et ses cavaliers s'engagèrent à leur suite dans le lit de la mer. » (Ex.14, 23.) La voie directe semblait libre et une distance de 5,5 km à parcourir jusqu'à l'autre rive parut courte aux cavaliers aguerris. Pourtant, elle était trop longue pour atteindre l'une ou l'autre rive quand le vent a faibli. Cela ne s'est pas produit de manière instantanée, puisqu'on précise que les chars « n'avançaient plus qu'à grand-peine ». Les roues s'enfonçaient puisqu'ils concentraient la pression sur une petite surface et cela sema la panique : « Fuyons [...] Yahvé combat pour eux. » (Ex.14, 25.)

C'était trop tard : « Yahvé les culbuta au milieu de la mer. Les eaux, dans leur reflux, submergèrent les chars et les cavaliers [...] Pas un d'eux n'échappa. » (Ex.14, 27-28.) Ceci devait inclure le pharaon, puisqu'il était d'usage qu'il prenne part aux combats. « Les abîmes les recouvrirent. » (Ex.15, 4.) Même si certains Égyptiens, restés au camp, ont pu survivre, il n'était plus question d'aller attaquer ou de poursuivre les Hébreux qui se trouvaient maintenant du côté est du golfe et jubilaient. On peut bien comprendre qu'ils y chantèrent et dansèrent au son des tambourins pour remercier Yahvé (Ex.15, 1-21).

Paldor a étudié avec d'autres collaborateurs la dynamique du reflux des eaux dans le cas du golfe de Suez<sup>20</sup>. Utilisant deux méthodes différentes, ils ont trouvé qu'un arrêt quasi-instantané du vent aurait conduit à une remontée de l'eau sur le plan incliné jusqu'à une distance de l'ordre de 14 km au-delà du bord habituel du golfe de Suez, même si la vitesse du vent avait seulement été de l'ordre de 20 m/s. Au golfe d'Aqaba, le reflux n'était pas moins tumultueux, sans qu'il doive se prolonger aussi loin. Il nous semble essentiel, par contre, que l'embourbement des chars ne requière pas une cessation très abrupte et complète du vent. Nous avons cherché des renseignements sur la valeur du coefficient  $C$ , intervenant dans (2). Une évaluation statistique<sup>21</sup> montre que pour une vitesse  $v$  comprise entre 3 et 10 m/s, on trouve une valeur moyenne constante :  $C = 0,00114$ . Puisque  $C$  augmente linéairement quand  $v$  est compris entre 10 et 21 m/s, on trouve que  $C \approx 0,002$  pour  $v = 20$  m/s. Il faut s'attendre à ce que pour des vitesses supérieures,  $C$  devienne proportionnel à  $v^2$ , comme c'est normalement le cas pour les frottements de l'air. Cette idée et les données disponibles<sup>3</sup>, nous ont permis d'admettre que  $C \approx 0,048$  pour  $v \approx 35$  m/s. Il serait souhaitable de le confirmer, mais les valeurs de  $v$  et de  $C$  ne sont plus aussi critiques que pour le modèle NP.



# Le pharaon de l'Exode

Il est vrai qu'on n'a pas trouvé en Égypte de traces écrites ou figuratives de l'Exode et encore moins de la débâcle militaire qui en résulta, mais cela ne doit pas nous étonner. On avait l'habitude de glorifier les victoires du Pharaon et non pas de décrire ses défaites. La Torah n'est pas non plus un livre d'histoire. C'est un récit qui met en avant les relations avec Dieu et veut en préserver le souvenir. Les événements cités étaient évidemment importants à cet égard, tandis que le nom du pharaon de l'Exode ne l'était pas. Il y a pourtant des indications assez claires pour penser à Mérenptah, le successeur de Ramsès II. Cela n'a pu être établi qu'à partir du moment où l'on a réussi à déterminer la chronologie pharaonique. C'est l'égyptologue allemand Lepsius qui le fit<sup>22</sup>. Ce philologue s'intéressa dès 1833 au déchiffrement des hiéroglyphes et prit par la suite la défense de Champollion. Il s'engagea lui-même dans la lecture de nombreux documents et mit de l'ordre dans la chronologie des rois égyptiens. Par la suite, toute une série d'égyptologues ont pensé que Mérenptah devait être le pharaon de l'Exode : de Rouge (1867), Chabas (1873), Virey (1900), Groff et Maspero (1902), ainsi que Flinders Petrie (1911). Sur Internet et dans certaines revues, on trouve pourtant encore les avis les plus divers à cet égard et sur la datation de l'Exode.

Mérenptah était le treizième fils du Grand Ramsès et régna de -1213 à -1203±1. En l'an 5 de son règne, il a remporté une victoire qui fut commémorée par une inscription sur un mur du temple d'Amon-Rê à Karnak, mais il y a eu des divergences quant aux systèmes de datation<sup>23</sup>. Nous tenons compte des données récentes<sup>24</sup>, confirmées par un spécialiste<sup>25</sup>. Si Mérenptah était effectivement le pharaon de l'Exode, conduisant les opérations lui-même comme les textes le suggèrent, le passage de la mer des Roseaux coïnciderait avec sa mort. Peut-on le confirmer ou l'infirmier ?

Il est maintenant connu que la momie de Mérenptah fut placée dans sa tombe (KV8) de la Vallée des Rois et qu'elle fut déplacée vers -1000 avec dix autres momies, afin de les protéger des pillers de tombes. Les prêtres de cette époque ont procédé à quelques réparations de dégâts causés par ceux-ci. Pour Mérenptah, ils ont ajouté une couche de bandelettes, en plaçant une inscription avec son nom au-dessous de celle-ci. Victor Loret découvrit ces momies en 1898 dans leur nouvelle cachette (KV35), mais c'est seulement en 1907 que l'anthropologue anglais Elliot Smith eut l'autorisation d'enlever les bandelettes. Il identifia donc la momie de Mérenptah et découvrit qu'elle portait les marques de traumatismes multiples. Il fit prendre des photos<sup>26</sup> dont nous reparlerons.

En 1965, des Américains ont réalisé une étude radiologique<sup>27</sup>, mais sans grande perspicacité médicale ni vision historique. Ayant constaté que le corps de Mérenptah présentait des fractures, sans le moindre début de cicatrisation, ils les ont simplement attribuées à des interventions post-mortem de pillers de tombes ou à la maladresse des embaumeurs. Il a fallu attendre les



Figure 7. Le pharaon Mérenptah (Musée de Louxor, DR).

investigations médicales du Dr. Bucaille pour clarifier ces données. Il avait étudié le Coran en langue arabe et comparé ce texte à ceux de la Torah et de la Bible, en particulier au sujet de l'Exode<sup>28</sup>. En 1974, il soigna à Paris l'épouse du président égyptien Anouar el-Sadate. C'est une femme remarquable<sup>29</sup> et par son intervention éclairée, le Dr. Bucaille eut en 1974 et 1975 la chance de pouvoir examiner différentes momies au Caire. Il le fit avec des méthodes modernes et en collaboration avec des médecins égyptiens et des médecins légistes français, très compétents.

Ayant mis en évidence le mauvais état de conservation de différentes momies, il contribua au fait que le 26 septembre 1976, la momie de Ramsès II quitta le Musée du Caire pour être traitée en France et être examinée sous les auspices du Musée de l'Homme. Cela entraîna une publicité favorable à l'exposition Ramsès II, tenue au Grand Palais à Paris, du 15 mai au 15 septembre 1976. Elle attira d'ailleurs plus de 360 000 visiteurs. La momie de Ramsès II qui avait été exposée au Caire depuis les années 1880 sans les protections nécessaires, était victime d'une prolifération fongique désastreuse. En mai 1977, un traitement aux rayons gamma a été effectué au Centre d'études nucléaires de Grenoble. Après cela, le Grand Ramsès retourna presque immédiatement au Musée du Caire. Depuis peu de temps, les momies y sont exposées dans des vitrines hermétiquement fermées et protégées par une atmosphère d'azote, soigneusement contrôlée, pour les protéger comme il faut.

En 1975, le Dr. Bucaille avait déjà examiné la momie de Ramsès II et établi que son état de santé excluait toute participation à une campagne militaire au cours des dernières années de sa vie. Par contre, Mérenptah était mort avec d'importants traumatismes. La partie moyenne de son avant-bras comportait des fractures multiples. Le thorax était enfoncé, avec perte d'une partie de la clavicule et des deux premières côtes droites. La région lombaire présentait également un traumatisme, mais la cause immédiate de sa mort fut une lésion du cerveau. Le crâne a été enfoncé ! Il y a un trou de 2,3 cm sur 3,7 cm. Ces découvertes furent décrites dans un livre<sup>30</sup> qui a été couronné par le prix d'histoire de l'Académie française et le prix général de l'Académie nationale de médecine. Toutes les lésions de Mérenptah se trouvaient sur le côté droit de son corps et résultaient de chocs très violents, survenus de son vivant. En effet, si elles avaient été produites après sa mort, les radiographies auraient révélé d'autres fractures voisines. Ce n'était pas le cas. Des pilliers de tombes n'auraient pas endommagé la momie d'une manière aussi particulière et il ne s'agit pas non plus de traces d'une intervention chirurgicale. Les embaumeurs pratiquent leurs interventions du côté gauche et les règles de l'art n'autorisaient aucune négligence.

En 1975, le Dr. Bucaille effectua un prélèvement de tissu musculaire qu'il examina après des traitements spéciaux, en collaboration avec le professeur Michel Durignon de Paris. Ils constatèrent une conservation parfaite de détails anatomiques très fins, ce qui démontre que la procédure de momification commença très peu de temps après la mort. On peut penser que le pharaon se trouvait sur son char, probablement à l'avant de ses troupes. Le fait qu'on ait pu recueillir son corps prouve qu'il y eut quand même des survivants, du moins parmi ceux qui étaient restés au campement. Cela confirme surtout que la noyade eut lieu assez près de l'extrémité du golfe pour qu'on puisse retrouver le corps du pharaon. Il a d'ailleurs pu être emporté par l'énorme vague du reflux et déposé sur la terre ferme. Pour les Égyptiens, il était ensuite impérieux que le corps du pharaon soit momifié. On doit avoir commencé à le faire sur place.

Le Dr. Bucaille semble avoir attaché beaucoup d'importance au fait que le Coran affirme que le pharaon aurait participé lui-même à la poursuite des Hébreux<sup>31</sup>. Allah lui aurait adressé les paroles suivantes : « Maintenant, alors que tu as désobéi auparavant, [...] nous te sauvons, en ton corps, afin que tu sois un signe pour ceux après toi. » (Sourate 10, 91 et 92.) Les analyses des momies sont cependant conformes à une démarche strictement scientifique.



La lésion crânienne était la plus significative. Le Dr. Bucaille a reproduit dans son livre<sup>31</sup> la photographie qui fut prise en 1902 par Elliot Smith. Elle est particulièrement importante, parce que « la momie très atteinte par une dégradation progressive depuis le début du siècle n'était pas déplaçable [...] en 1975 ». Le Dr. Bucaille a cependant pris des radiographies qui confirment l'existence et les particularités de la lacune crânienne. En cherchant une copie de bonne qualité, nous avons pu localiser une reproduction de la planche originale, en haute résolution et libre accès, en passant par l'université de Chicago<sup>32</sup> (figure 8). Elle présente l'arrière du crâne de la momie de Mérenptah avec une série de détails importants (Planche XLIX du Musée du Caire, Catalogue des Antiquités égyptiennes, DT57. C2 vol. 59). Nous voyons que la grande lacune dans la partie pariétale droite du crâne présente une structure irrégulière. Comme Elliot Smith avait enlevé une partie du cuir chevelu pour qu'on puisse voir l'os sous-jacent, nous discernons même une écharde osseuse plus claire, située au bord inférieur droit de l'ouverture.

Le Dr. Bucaille l'a également détectée par radiographie. Nous constatons même la présence de lésions plus petites, mais significatives. Sur Internet et surtout chez les anglophones, on trouve encore l'affirmation absurde qu'il s'agirait du résultat d'une trépanation. Une photographie complémentaire, accessible sur Internet<sup>33</sup>, confirme l'emplacement de la grande lésion crânienne. Bien que Mérenptah fût le treizième fils de Ramsès II, il était déjà âgé quand il lui succéda<sup>34</sup>. Sa propre succession ne se déroula pas facilement, puisque le trône fut d'abord occupé par Amenmès, le fils d'une des filles de Ramsès II et d'un père inconnu. Amenmès fut considéré comme usurpateur, mais c'est seulement après son décès que le trône revint à Séthi II, fils de Mérenptah et de son épouse royale Isis-Nofret.



Figure 8. L'arrière du crâne de la momie de Mérenptah ;  
détail de la photographie prise en 1902 par Elliot Smith<sup>32</sup> ([www.lib.uchicago.edu](http://www.lib.uchicago.edu)).

# Résumé et conclusions

Cette étude portait essentiellement sur l'examen scientifique d'un événement extraordinaire qui se serait produit au cours de l'Exode. Les Hébreux auraient traversé la mer des Roseaux à pied sec, à cause d'un vent très fort. Il aurait refoulé l'eau de telle manière que le reflux causa une grande catastrophe pour les poursuivants. Nous nous sommes familiarisés avec le contexte historique et géographique. Nous avons rassemblé des données techniques et démontré qu'une action aussi remarquable du vent sur l'eau est effectivement possible. Nof et Paldor (NP) avaient déjà posé les bases d'une étude scientifique de ce genre, mais ils supposaient que le passage de la mer des Roseaux eut lieu près de l'extrémité du golfe de Suez. Il existe un ensemble d'arguments qui indiquent que cela ne s'est pas passé à cet endroit, mais au golfe d'Aqaba. Nous avons renforcé ces arguments. Ensuite, nous avons constaté que le modèle NP n'est pas directement transposable au golfe d'Aqaba, parce qu'il est beaucoup plus profond que le golfe de Suez et son fond est nettement plus accidenté. Nous avons modifié le modèle NP, en introduisant le concept d'une stratification de l'eau salée et nous y avons ajouté l'idée que l'équilibre correspondait à une circulation de l'eau exigeant aussi peu d'énergie que possible. Cela veut dire que le courant de surface, dû à l'entraînement par le vent, fut accompagné d'un courant sous-marin horizontal en sens inverse à une distance relativement faible au-dessous du niveau normal de l'eau. Cela ressemblait aux mouvements de la partie supérieure et inférieure d'un tapis roulant.

Le problème physico-mathématique qui en résulte a été résolu de manière générale, en considérant que le courant sous-marin aurait quand même pu longer le fond sur une certaine distance. Nous avons supposé que cette partie correspond à un plan incliné, mais sa largeur sera réduite à zéro pour que la masse d'eau mise en circulation et l'énergie correspondante soit minimale. Pour un vent très fort ( $v \approx 125$  km/h) et une variation parabolique du fond près de l'extrémité du golfe, la couche inférieure serait située à une profondeur  $D \approx 10$  m au-dessous du niveau normal de l'eau. Même pour un vent de vitesse moyenne nettement plus petite ( $v \approx 25$  km/h), on aboutirait encore à des effets très appréciables ( $D \approx 2$  m), ce qui n'était pas le cas pour le modèle NP au golfe de Suez. La crédibilité du récit biblique en sort renforcée. Nous soulignons aussi l'importance de l'étude médicale de la momie de Mérenptah, effectuée par le Dr. Bucaille. Bien qu'il s'agisse d'un argument indirect, c'est une preuve matérielle très significative. Mise en relation avec d'autres données, elle permet de dater l'Exode. La célèbre traversée de la mer des Roseaux aurait eu lieu en  $-1203 \pm 1$ .

Signalons que le problème de l'action du vent sur l'eau pendant l'Exode a également été traité en supposant que cet événement se serait produit tout près du Delta du Nil, à 75 km au nord de la ville de Suez<sup>35</sup>. Il s'agit du Lac Tanis, où le vent aurait libéré un passage, normalement recouvert d'eau. Cette proposition est basée sur des calculs numériques, mais elle n'est pas conforme au récit biblique. En effet, il a fallu un certain temps pour que les Hébreux traversent le désert et arrivent à la mer des Roseaux. Le pharaon a également mis du temps pour les rattraper, même si ses éclaireurs l'avaient informé du chemin suivi par les Hébreux. Ce n'était pas tout près de Pi-Ramsès et l'on ne tient pas compte du fait que Moïse savait bien où il fallait aller pour être en sécurité et comment on pouvait y arriver.

La proposition que la mer des Roseaux se situait à l'extrémité du golfe d'Aqaba est conforme au récit biblique et nous pensons avoir résolu la difficulté essentielle, en faisant intervenir la stratification de l'eau salée. Il importe cependant de poursuivre les recherches et d'effectuer d'autres vérifications. Deux voies s'offrent à nous pour en arriver à des progrès importants. On peut vérifier

si la montagne de Dieu correspond bien à l'ancien volcan Hala el Badr, en datant son éruption. Cela pourrait se faire par les méthodes de la glaciologie, si l'éruption volcanique fut assez forte. Il serait préférable de réaliser des fouilles géologiques en site propre, mais il faudrait pour cela que l'Arabie Saoudite le permette. Ce n'est pas impossible, puisque les musulmans attachent beaucoup d'importance à Moïse et à l'Exode. Ils pourraient aussi se réjouir, si les Hébreux s'étaient installés d'abord dans leur pays, près de cette montagne. La seconde voie nous semble la plus prometteuse dans l'immédiat. En effet, des fouilles sous-marines pourraient être effectuées près de l'extrémité du golfe d'Aqaba à partir de la zone israélienne. Puisque les chars engloutis comportaient des parties métalliques pour les essieux et les roues, il devrait être possible de les détecter, bien que le bronze ne soit pas magnétique. Nous espérons pouvoir intéresser des archéologues, scientifiques et chercheurs bibliques israéliens à entreprendre des fouilles dans ce sens.

En attendant les résultats de ce type de recherches, nous pouvons conclure qu'il est utile de combiner l'étude historique, philologique et exégétique des textes bibliques avec une approche scientifique. Les sciences bénéficient à leur tour d'un dialogue interdisciplinaire, parce qu'on est amené à se poser des questions d'un nouveau type. Enfin, il n'est pas sans intérêt de constater que des récits très anciens, qu'on pourrait être tenté de considérer comme étant purement mythiques ou légendaires, sont porteurs de messages à prendre au sérieux. Du point de vue religieux et même purement culturel, il est certainement utile de mieux comprendre les événements de l'Exode. Ils ont joué en effet un rôle important dans l'éclosion et le développement initial du courant monothéiste. C'était le fondement d'une des grandes religions. Nos connaissances à cet égard ne sont pas statiques et figées, mais dynamiques. Cette démarche s'inscrit d'ailleurs dans le cadre d'une découverte progressive du Monde dans lequel nous vivons. La méthodologie scientifique peut y contribuer très fortement, mais la capacité d'émerveillement et la quête de sens en font également partie. C'est même essentiel pour l'être humain. Qu'on interprète les grands événements de l'Exode de manière transcendante ou non est du ressort de la liberté individuelle. Pour que ce soit vraiment un facteur de progrès, cela doit pouvoir se faire en respectant cette liberté.

# RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Manfred Bietak : Die Identifizierung der Stadtanlage Tell el-Dabna - Quantir mit Avaris und der Ramsesstadt, Wien, 1975; Avaris the capital of the Hyksos, recent excavations at Tell el-Dabna, British Museum, 1996; Ausgrabungen in dem Palastbezirk von Avaris, in Ägypten & Levante, Bd. 11, 2002.
2. Colin J. Humphreys : The Miracles of Exodus, A scientist's discovery of the extraordinary natural causes of the biblical stories, HarperCollins, 2003.
3. Doran Nof and Nathan Paldor : Are There Oceanographic Explanations for the Israelites' Crossing of the Red Sea? Bulletin Amer. Meteorological Society, 73, 305-314 (1992).  
<http://doron-nof.net/files/46.pdf>
4. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Mont\\_Sinai](http://fr.wikipedia.org/wiki/Mont_Sinai)
5. Gabriel T. Csanady : Circulation in the Coastal Ocean, in Reidel, Dordrecht, 279 pages, 1982.
6. J.L. Pelegri et al. Gabriel T. Csanady : Understanding the physics of the ocean, Progress in Oceanography 70, 91-112 (2006), available online ([www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)).
7. Doran Nof and Nathan Paldor : Statistics of Wind over the Red Sea with applications to the Exodus Question. J. of Applied Meteorology, 33, 1017-1025 (1994).  
[http://earth.huji.ac.il/data/pics/np\\_jam\(1994\).pdf](http://earth.huji.ac.il/data/pics/np_jam(1994).pdf)
8. L. Poncelet : A propos du "raz de marée" du 1<sup>er</sup> février 1953, Ciel et Terre, 69, 93-96 (1953) et Internet.
9. Maurice Vandeput : communication privée.
10. <http://bible.archeologie.free.fr/itinerairesdesert.html>
11. ZDF / Terra X - Folge 78 : Die Minen des Hephaistos - Hightech in der Kupferzeit (2012).
12. Christian Jacq : Ramsès (Roman), Robert Laffont, 5 volumes, 1995-1997.
13. Barbara J. Siversten : The Parting of the Sea, How Volcanoes, Earthquakes and Plagues Shaped the Story of Exodus, Princeton Univ. Press, 2009.
14. [http://en.wikipedia.org/wiki/Minoan\\_eruption](http://en.wikipedia.org/wiki/Minoan_eruption)
15. Charles Becke : Mount Sinai, a Volcano, 1873.
16. Alois Musil : The Northern Hegâz. A Topographical Itinerary, Am. Geogr. Soc., 1926.
17. Jean Koenig : La localisation du Sinaï et les traditions des scribes, Revue d'Histoire et de Philosophie des Religions 44, 200-235, 1964 ; Le site de Al-Jaw dans l'ancien pays de Madian, 1973.
18. <http://www.meteobelgique.be/article/articles-et-dossiers/26/82-le-phenomene-el-nino.html>
19. <http://www.glf.dfo-mpo.gc.ca/os/bysea-enmer/ponds-etangs-f.php>
20. A. Gelb, D. Gottlieb and N. Paldor : Wind Set-down Relaxation on a Sloping Beach, J. Computational Physics 128, 644-664 (1997).
21. K.E. Trenberth et al. : The Effective Drag Coefficient for Evaluating Wind Stress over the Ocean, Journal of Climate, 2, 1507-1516 (1989).
22. Karl Richard Lepsius : Die Chronologie der Ägypter, Berlin, 1849.
23. <http://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9renptah>
24. Jürgen von Beckerath : Chronologie des pharaonischen Ägypten, 1997.
25. Claude Obsomer, professeur d'égyptologie à l'UCL : communication privée, 2010.
26. Elliot Smith : The Royal Mummies, 1912.
27. James Harris and Kent Weeks : X-Raying the pharaohs, Ch. Scribners's Sons, 1973.
28. Maurice Bucaille : La Bible, le Coran et la science, Seghers, Paris, 1986.
29. Jehane Sadate : Une femme d'Egypte, Mémoires, Simon and Schuster, trad. Presses de la Renaissance, 1987.
30. Maurice Bucaille : Les momies des pharaons et la médecine, Séguier, 1987.
31. Maurice Bucaille : Moïse et Pharaon Les Hébreux en Egypte Quelles concordances des Livres saints avec l'Histoire ? Seghers Pocket, 1995.
32. [http://www.lib.uchicago.edu/cgi-bin/eos/eos\\_page.pl?DPI=100&callnum=DT57.C2\\_vol59&object=175](http://www.lib.uchicago.edu/cgi-bin/eos/eos_page.pl?DPI=100&callnum=DT57.C2_vol59&object=175)
33. <http://www.facebook.com/notes/fitra-fir/ijazul-qouran-la-momie-de-pharaon/78920496922>
34. <http://en.wikipedia.org/wiki/Merneptah>
35. Carl Drews and Weiqing Han : Dynamics of Wind Setdown at Suez and the Eastern Nil Delta, Public Library of Science (PloS ONE), Sept. 2010. Exodus-Hydrodynamics: How the East Winds Parted the Red Sea (2010).

**KADATH ASBL**  
**Avenue des Armures, 91 Bte 8**  
**B-1190 Bruxelles, Belgique**  
**Éditeur responsable : Patrick Ferryn**