

telles les sphères et les ellipses. Les techniques de l'*enri* ont été mises en œuvre dans la réalisation de *sangaku*.

Des sphères dans des ellipsoïdes

Les premiers livres utilisant l'*enri* et les premiers *sangaku* attestés sont contemporains de Seki. Il ne s'agit pas là d'une coïncidence : les disciples de Yoshida et de Seki contribuèrent probablement au développement du *wasan* en même temps qu'ils en subissaient l'influence.

Certains racontent que Seki a rencontré son premier *sangaku* alors qu'il se rendait au château du shogun, dont il était le mathématicien officiel ; les tablettes votives l'auraient incité à approfondir ses recherches. Est-ce une légende ?

On ne le saura sans doute jamais, mais, au siècle suivant apparurent des livres contenant des problèmes typiquement japonais, mettant en jeu des cercles à l'intérieur de triangles, des

sphères à l'intérieur de pyramides, des ellipsoïdes entourant des sphères... Les problèmes trouvés dans ces ouvrages diffèrent peu de ceux qui ont été retrouvés sur les tablettes, les historiens ont conclu que l'engouement pour tous les problèmes de *wasan* – et la vogue des *sangaku* – résulta de la politique d'autarcie du Japon.

Cette autarcie fut-elle totale ? À l'exception des Hollandais, autorisés à accoster dans le port de Nagasaki, sur l'île méridionale de Kyushu, tous les commerçants occidentaux étaient interdits de séjour. De surcroît, les déplacements des Japonais étaient sévèrement limités : un voyage à l'étranger était un acte de trahison, passible de la peine de mort. L'autarcie fut suffisamment complète pour minimiser l'influence des mathématiques étrangères sur les mathématiques japonaises.

En revanche, au XIX^e siècle, le *wasan* fut progressivement supplanté par le *yosan*. Apparurent alors des manus-

crits mêlant des textes en *kambun* et des notations mathématiques occidentales. Puis, après l'ouverture du Japon et l'effondrement du shogunat des Tokugawa, en 1867, le nouveau gouvernement adopta le *yosan* et délaissa les mathématiques locales. Certains praticiens du *wasan* continuèrent de suspendre des tablettes (quelques *sangaku* datent même de la dernière décennie), mais la quasi-totalité des problèmes proposés durant le XX^e siècle sont des plagats.

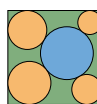
Qui étaient les auteurs des *sangaku* ? Les théorèmes merveilleusement dessinés sur les tablettes votives étaient-ils l'œuvre de mathématiciens professionnels ou de simples amateurs ? La question est difficile. Le traité d'histoire des mathématiques japonaises de David Smith et de Yoshio Mikami ne mentionne que quelques *sangaku*. Il cite le recueil *Shimpeki Sampo* («Problèmes mathématiques suspendus devant le temple»), publié en 1789 par le mathématicien profes-

Réponses aux problèmes de *sangaku*

Nous ne donnons ici que l'indication des solutions. Les lecteurs intéressés trouveront les solutions détaillées sur le site Internet de la revue *Pour la Science*, à l'adresse <http://www.pourlascience.com>.

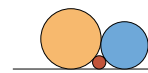


Réponse : Dans sa solution, l'auteur du problème trace un segment de droite qui passe par le centre du cercle bleu et qui est perpendiculaire au diamètre du cercle vert. Il suppose ensuite que ce segment est différent du segment décrit dans l'énoncé du problème. Ainsi, ces deux segments devraient couper le diamètre tracé en deux points différents. Il montre ensuite que la distance entre ces deux points est nécessairement nulle : autrement dit, les deux segments sont identiques et, donc, perpendiculaires au diamètre du cercle vert.



Réponse : Si a désigne le côté du carré et r_1, r_2, r_3 et r_4 sont respectivement les rayons des cercles supérieur droit, supérieur gauche, inférieur gauche et inférieur droit, alors :

$$a = \frac{2(r_1 r_3 - r_2 r_4) + \sqrt{2(r_1 - r_2)(r_1 - r_4)(r_3 - r_2)(r_3 - r_4)}}{r_1 - r_2 + r_3 - r_4}$$



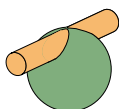
Réponse : $1/\sqrt{3} = 1/\sqrt{r_1} + 1/\sqrt{r_2}$, où r_1, r_2 et r_3 sont respectivement les rayons des cercles orange, bleu et rouge. On peut résoudre le problème à l'aide du théorème de Pythagore.



Réponse : $PQ = \sqrt{27} a^2 b^2 / (a^2 + b^2)^{3/2}$. On peut résoudre ce problème à l'aide de la géométrie analytique : on cherche une équation pour PQ ; puis on prend la dérivée de cette équation et on l'égale à zéro pour obtenir la valeur minimale de PQ. On ignore si les premiers auteurs de ce problème l'ont résolu en recourant au calcul différentiel.



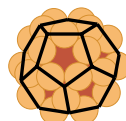
Réponse : $r_2^2 = r_1 r_3$, où r_1, r_2 et r_3 sont respectivement les rayons des grand, moyen et petit cercles bleus (autrement dit, r_2 est la moyenne géométrique de r_1 et r_3). On peut résoudre le problème en observant que les triangles verts délimités par les carrés orange sont tous semblables. La solution, telle qu'elle fut initialement proposée, consiste alors rechercher la relation unissant les trois carrés.



Réponse : $16t \sqrt{t(r-t)}$, où r et t sont respectivement les rayons de la sphère et du cylindre.



Réponse : Six sphères. Le théorème des six sphères de Soddy stipule que le nombre de sphères est égale à six. Curieusement, les rayons $t_1, t_2, \dots, t_6$ des diverses sphères bleues qui composent le collier sont liés par les relations : $1/t_1 + 1/t_4 = 1/t_2 + 1/t_5 = 1/t_3 + 1/t_6$.



Réponse : $R = \sqrt{5r}$, où R et r sont respectivement les rayons de la grande sphère et des petites sphères. On peut résoudre le problème en observant que le centre de chaque petite sphère se trouve au milieu d'une arête de dodécaèdre régulier – un solide régulier à douze faces pentagonales.



Réponse : $r / [(2n - 1)^2 + 14]$. La solution originelle de ce problème fait intervenir à plusieurs reprises la version japonaise du théorème du cercle de Descartes. On peut toutefois utiliser l'inversion, qui était à l'époque inconnue des mathématiciens japonais.



Hiroshi Umeoka

3. LES EX-VOTO MATHÉMATIQUES DU JAPON furent parfois l'œuvre de mathématiciens professionnels, mais, parfois aussi, ils furent réalisés par des commerçants, des samourais, des enfants... Sur

ces plaques de bois, sont généralement mentionnés le problème, le nom de celui qui a réalisé l'ex-voto, la date de l'offrande ; certains *sangaku* sont des chefs-d'œuvre.

sionnel Kagen Fujita. D. Smith et Y. Mikami mentionnent une tablette sur laquelle la solution proposée est suivie de la référence suivante : «District féodal de Kakegawa, province d'Enshu, troisième mois de 1795, Sonobei Keichi Miyajima, élève de Sadasuke Fujita, de l'école de Seki». Dans son ouvrage consacré au développement des mathématiques en Chine et au Japon, Y. Mikami mentionne le «problème du temple de Gion», qui fut suspendu au temple de Gion, à Kyoto, par Enkyu Tsuda, élève d'Enri Nishimura. En outre, ces tablettes furent rédigées en *kambun*, signe que leurs auteurs appartenaient à une classe sociale cultivée.

D'autres observations montrent toutefois que les tablettes votives ne furent pas l'apanage des mathématiciens professionnels. Notamment nombre de problèmes proposés sont élémentaires et ne sont pas de ceux qu'étudieraient des professionnels. Dans la préfecture de Mie, H. Fukagawa a trouvé une tablette signée par un marchand. Sur d'autres tablettes figurent des noms de femmes et d'enfants âgés de 12 à 14 ans. Selon H. Fukagawa, la majorité des problèmes furent inventés par les samourais, mais quelques uns furent proposés par des paysans : le mathématicien Sen Sakuma (1819-1896), par exemple,

enseignait le *wasan* aux fermiers de la préfecture de Fukushima et eut jusqu'à 2 000 élèves.

Ce type d'enseignement rappelle la période d'Edo, où le Japon n'avait ni lycées ni universités. Le peuple japonais venait alors apprendre à lire, à écrire et à calculer sur des bouliers dans des écoles privées ou dans des temples.

Des individus de toutes les classes sociales semblent donc avoir contribué aux *sangaku* : de nombreux Japonais s'adonnaient avec autant de plaisir aux mathématiques qu'à la poésie et à d'autres formes d'art, parce qu'ils étaient attirés par la beauté de la géométrie. Les maîtres, au terme de leur journée d'enseignement, ou les samourais qui avaient cessé de

combattre s'isolaient pour concevoir des problèmes mettant en jeu des sphères et des ellipsoïdes ; la sereine contemplation mathématique était alors un loisir. Quand la solution était trouvée, on l'écrivait sur une plaque de bois que l'on suspendait ensuite au temple local. Les visiteurs du temple remarquaient la tablette colorée et admiraient sa beauté. Nombre d'entre eux quittaient alors le temple en se demandant comment l'auteur du problème était parvenu à une telle solution. Certains décidaient de résoudre le problème ou d'étudier la géométrie afin de tenter de le résoudre. D'autres quittaient le temple en se demandant «Que se passerait-il si l'on modifiait légèrement le problème et que...»

Tony ROTHMAN est professeur de mathématiques à l'Université Harvard. Hidetoshi FUKAGAWA est professeur de mathématiques dans la préfecture d'Aichi.

Annick HORIUCHI, *Les mathématiques japonaises à l'époque d'Edo (1600-1868), une étude des travaux de Seki Takakazu et de Takebe Katahiro*, Librairie philosophique J. Vrin, Paris, 1994.

Yoshio MIKAMI, *The Development of Mathematics in China and Japan*, deuxième édition, Chelsea Publishing Company, New York, 1974.

H. FUKAGAWA et D. PEDOE, *Japanese Temple Geometry Problems*, Charles Babbage Research Foundation, Winnipeg, Canada, 1989.

David E. SMITH et Yoshio MIKAMI, *A History of Japanese Mathematics*, Open Court Publishing Company, Chicago, 1914 (également disponible sur microfilm).

H. FUKAGAWA et D. SOKOLOWSKY, *Traditional Japanese Mathematics Problems from the 18th and 19th Centuries*, Science Culture Technology Publishing, Singapour, à paraître.