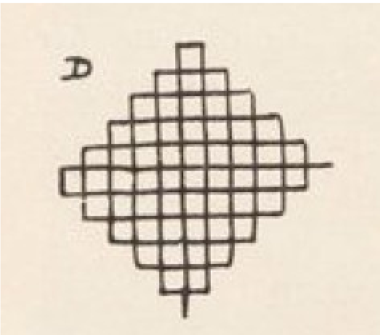
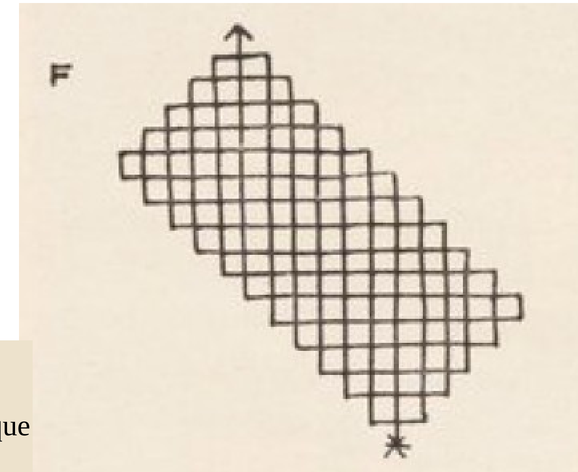
Les sona du peuple Chokwe

Patrick Perrin

Souvent nous avions vu des jeunes enfants assis en cercle jouant avec le sable, et un jour profitant d'un moment de loisir je m'approchai d'eux et m'enquis de ce qu'ils faisaient. Comme j'étais devenu ami de certains d'entre eux, ils m'invitèrent à m'asseoir. […] Les enfants étaient en train de dessiner, et ils me demandèrent immédiatement d'effectuer des tâches impossibles ; grande fut leur joie lorsque l'homme blanc échoua à les accomplir. Dessine ce dessin sans lever ton doigt ! Et celui-ci ! A la fin on me montra, et je fis les croquis suivants de ce que j'avais appris. [1]

(Emil Torday, *On the trail of the Bushongo*, 1925)

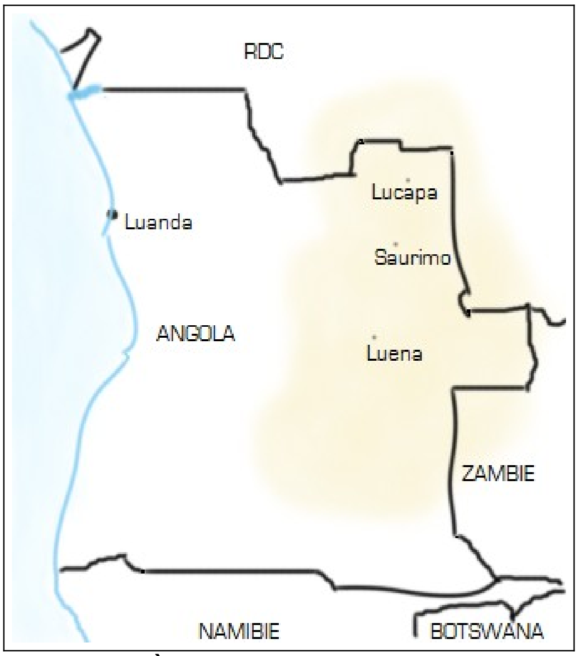




Emil Torday a reproduit les deux dessins que les enfants lui ont demandé de réaliser dans ses *notes ethnographiques* (source : gallica.bnf.fr / Bibliothèque de l'INHA / coll. J. Doucet)

Cette anecdote est rapportée par l'ethnologue hongrois Emil Torday qui au début du 20e siècle visita le sud du Congo (alors sous domination coloniale de la Belgique) pour rencontrer les peuples Kuba dont font partie les Bushongo.

La tradition des dessins sur sable est très répandue dans cette région de l'Afrique centrale. Les plus remarquables de ces œuvres éphémères sont celles des Lunda Chokwe, un autre peuple bantou voisin des Bushongo, dont l'ère culturelle s'étend sur l'Est de l'Angola et les régions limitrophes de la république démocratique du Congo et de la Zambie. (cf. carte ci-contre)



Ère culturelle Chokwe

1 Traduction de l'auteur

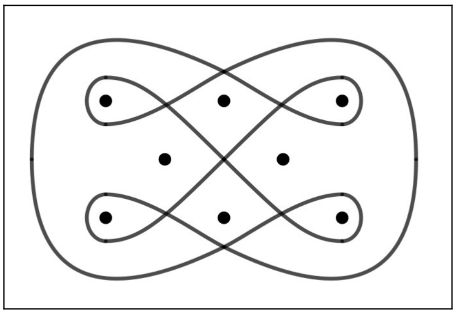
BY NC ND

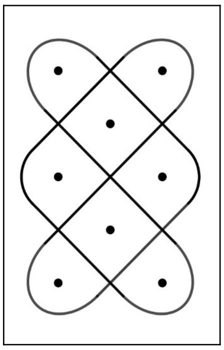
Une pratique culturelle

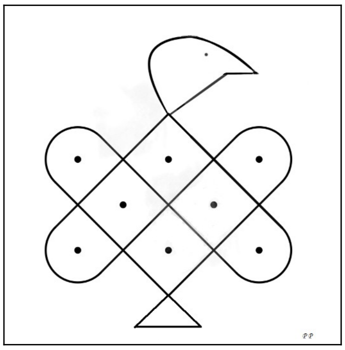
Pour le peuple Chokwe, ces dessins qu'ils appellent sona sont plus qu'un simple jeu. Ils remontent à une tradition très ancienne et peuvent se rapporter à des animaux, des proverbes, des fables, des mythes. Ils jouent un rôle important dans la transmission du savoir et de la sagesse.

Les jeunes apprenaient la signification et l'exécution des sona les plus simples lors de la mukanda (rite d'initiation). Les plus difficiles n'étaient maîtrisés que par les akwa kuta sona (maîtres du dessin) qui formaient une élite au sein des Chokwe. Le tracé des lignes devait être exécuté rapidement et sans interruption pour être considéré comme parfait. Cette pratique culturelle est toujours vivante de nos jours en partie grâce à leur utilisation dans des établissements d'enseignement. Elle a été inscrite récemment en 2023 au patrimoine culturel immatériel de l'humanité.

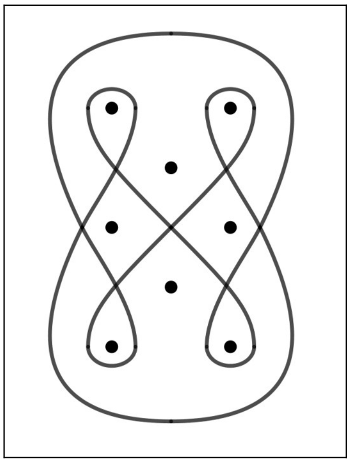
Il existe des centaines de sona différents. Ci-dessous quelques dessins représentant différents sona simples à réaliser.

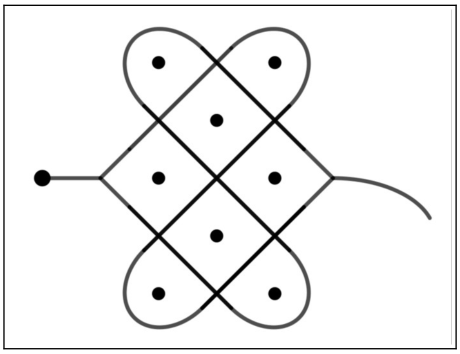

1 : une trace d'antilope

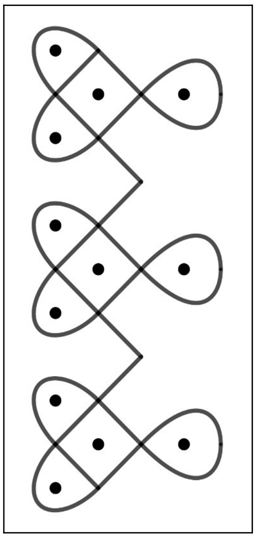

2 : oiseau kantiatia


3 : un oiseau mbemba

Pour commencer le dessinateur marquait un réseau de points dans le sable, puis il dessinait le *lusona*[2] en traçant une ou plusieurs lignes continues entourant les points.

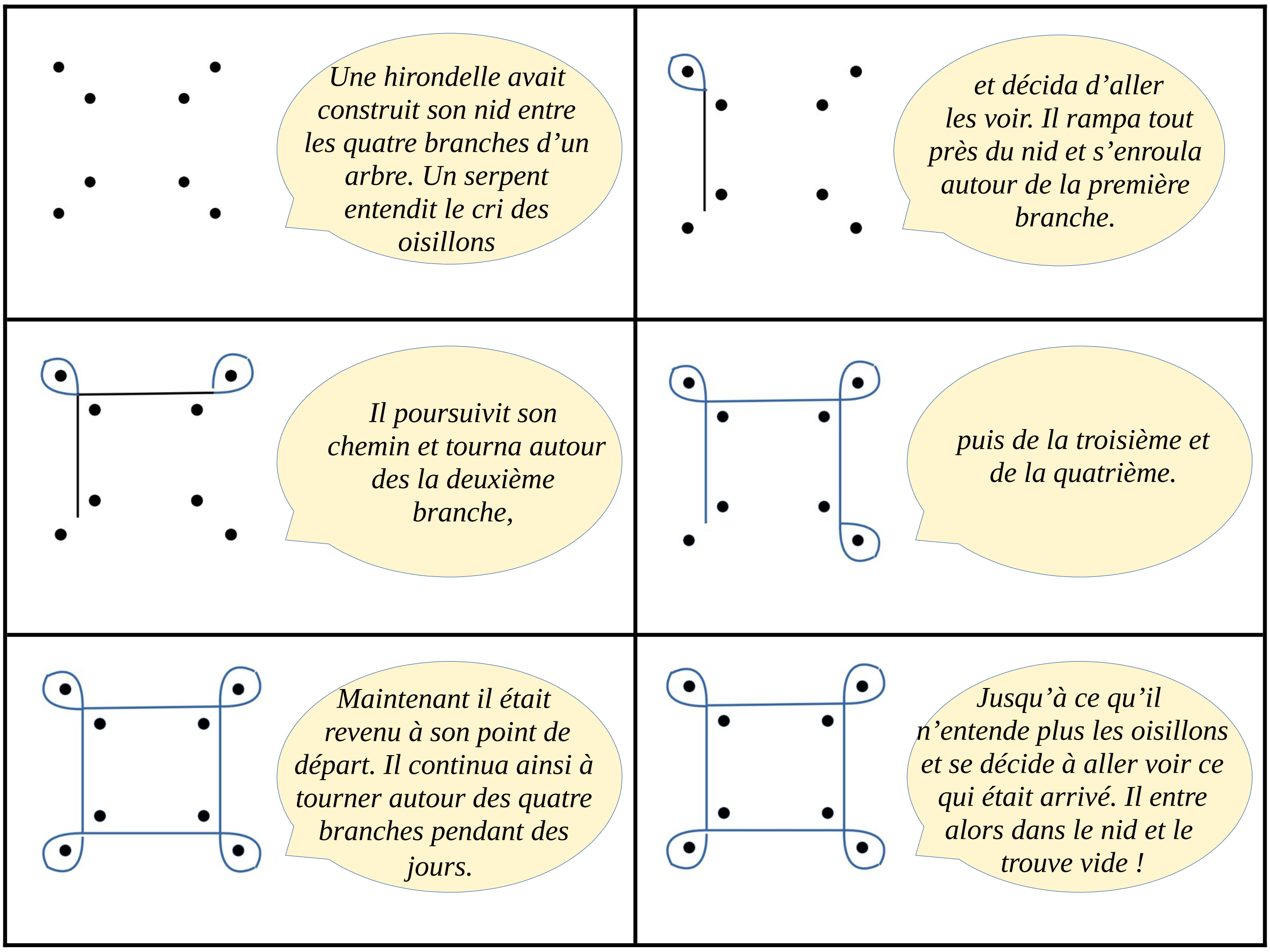

4 :Tamtam


5 : un rat


6 : Trois oiseaux kumbi

Les sona forment souvent le support d'un récit. Dans la tradition le récit accompagne la réalisation du lusona. Celui-ci s'appelle le serpent et le nid d'hirondelle :

2 Sona est la forme du pluriel, lusona celle du singulier



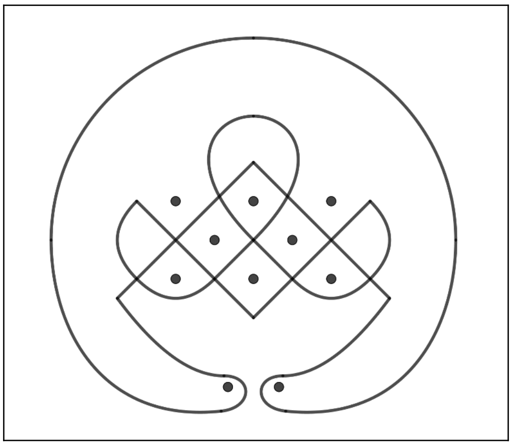
7 : Le serpent & le nid d'hirondelle

Le regard du mathématicien

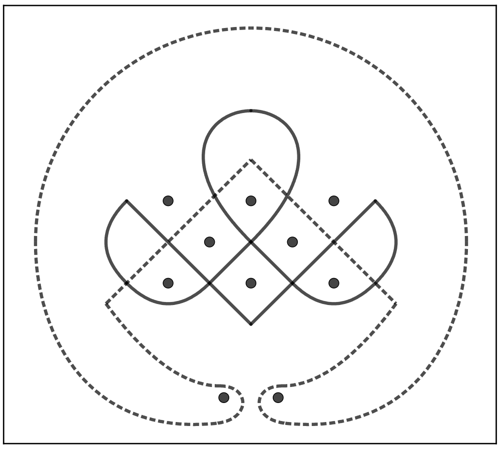
Comme dans la plupart des œuvres artistiques des peuples premiers la symétrie est présente dans de très nombreux sona (axes vertical et/ou horizontal le plus souvent et parfois des symétries de rotation). Les exemples ne manquent pas dans cet article.

On peut noter que les sona trace d'antilope et tam tam sont identiques à un quart de tour près mais n'ont pas la même signification. Certains sona comme les trois oiseaux kumbi sont obtenus par répétition d'un même motif.

La propriété la plus remarquable de la majorité des sona est d'être monolinéaire, ce qui signifie qu'ils ont été réalisés en traçant une seule courbe continue. Cette caractéristique était sans aucun doute très recherchée par les maîtres du dessin. C'est le cas de tous les exemples précédents y compris celui du rat si l'on ne tient pas compte du tracé de la tête et de la queue. Il existe cependant des sona dont le tracé utilise plusieurs courbes. Ainsi le lusona évoquant un esprit qui mange des fourmis est réalisé en traçant deux courbes fermées (cf. dessins 8 & 9).

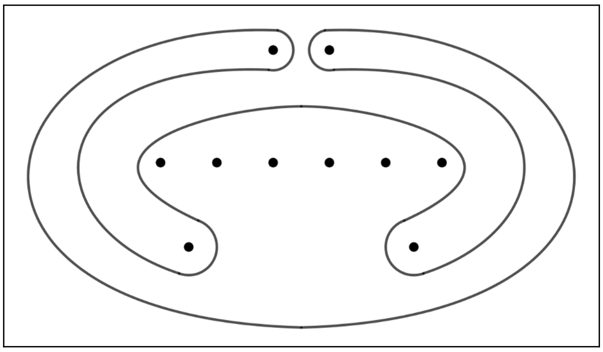


8 : un esprit qui mange des fourmis blanches



9 : les deux courbes utilisées

Parfois c'est une propriété topologique du dessin qui est utilisée pour illustrer l'histoire associée ; comme pour le lusona associé à la mukanda, le rituel d'initiation des garçons (cf. dessin 10). Ce rituel concernait les jeunes adolescents de 9 à 15 ans, qui étaient amenés loin de leurs parents dans un campement de brousse pendant plusieurs mois (voire plusieurs années). Après la circoncision ils apprenaient les règles de la communauté et les mythes de leur culture et s'exerçaient à différentes activités manuelles. Le lusona représente le campement, les 6 points au centre les garçons, les deux points en haut deux masques rituels gardiens du camp et les deux points du bas deux personnes non concernées par le rituel. Ces deux derniers sont placés à l'extérieur du campement pour illustrer la séparation des initiés du reste de la communauté pendant toute cette période.



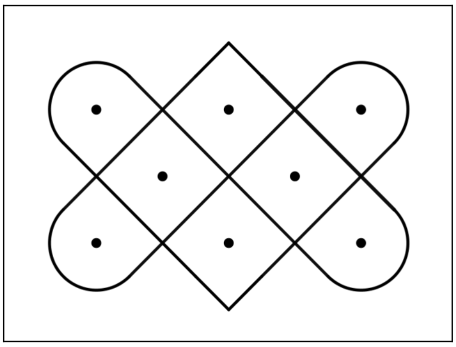
10 : lusona mukanda

Les motifs de « bandes tressées »

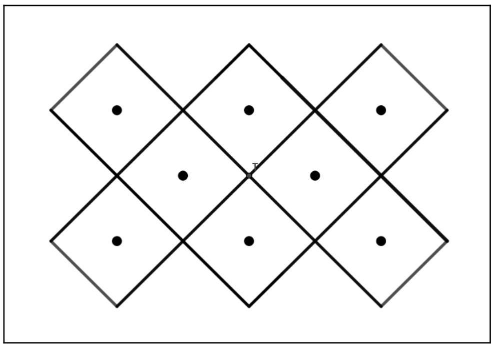
Paulus Gerdes a étudié les propriétés mathématiques de centaines de sona[3] et a remarqué qu'un motif particulier revenait souvent. Il s'agit de celui des bandes tressées ainsi nommé par analogie avec la technique de vannerie utilisée pour réaliser des paniers (cf. photo ci-dessous).

3 Dans son ouvrage *Une tradition géométrique en Afrique les dessins sur le sable* (cf. bibliographie)

Voici deux variantes de ce motif de bandes tressées dessinées autour d'un réseau régulier de 8 points (2 rangées de 3 points formant 2 carrés et les centres des 2 carrés)



11 : lusona amitié

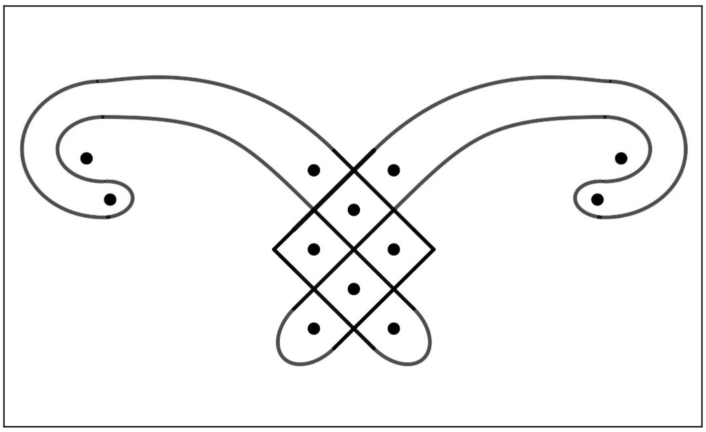


12 : lusona homme & femme

Dans un motif de bandes tressées les « bords » peuvent être arrondis ou à angle droit selon la signification du dessin : le lusona kantiatia (dessin 2) est une autre variante du motif précédent.

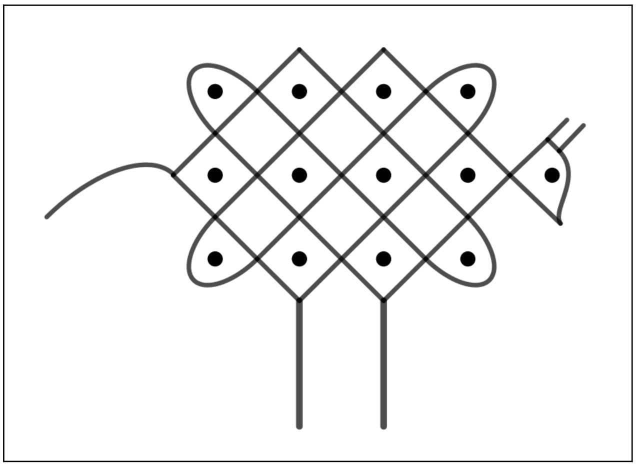
On remarquera que, parmi les exemples de sona déjà donnés, le rat et l'oiseau mbemba sont construits à partir de motif de bandes tressées 3 x 2 en ajoutant deux éléments figuratifs de l'animal.

Voici un autre lusona construit à partir de ce même motif 3 x 2 disposé verticalement. Les cornes du buffle sont obtenus en « déformant » deux arcs du motif.

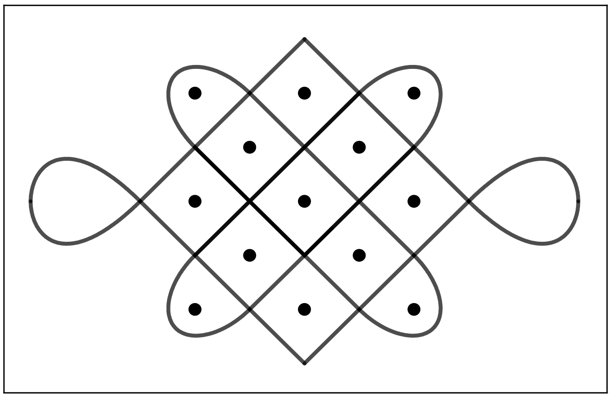


13 : un buffle

Ci-dessous deux autres sona construits à partir d'un motif de bandes tressées : le premier utilise un réseau 4 x 3 (3 rangées de 4 points formant 6 carrés), le second un réseau 3 x 3 (3 rangées de 3 points formant 4 carrés)



14 : une antilope



15 : danseur

On peut remarquer que les sona construits à partir d'un motif 3 x 2 ou 4 x 3 sont monolinéaires, mais que le lusona construit à partir d'un motif 3 x 3 utilise 3 courbes. Derrière cette simple constatation se cache une propriété générale qui est l'objet d'une étude détaillée en annexe à la fin de cet article.

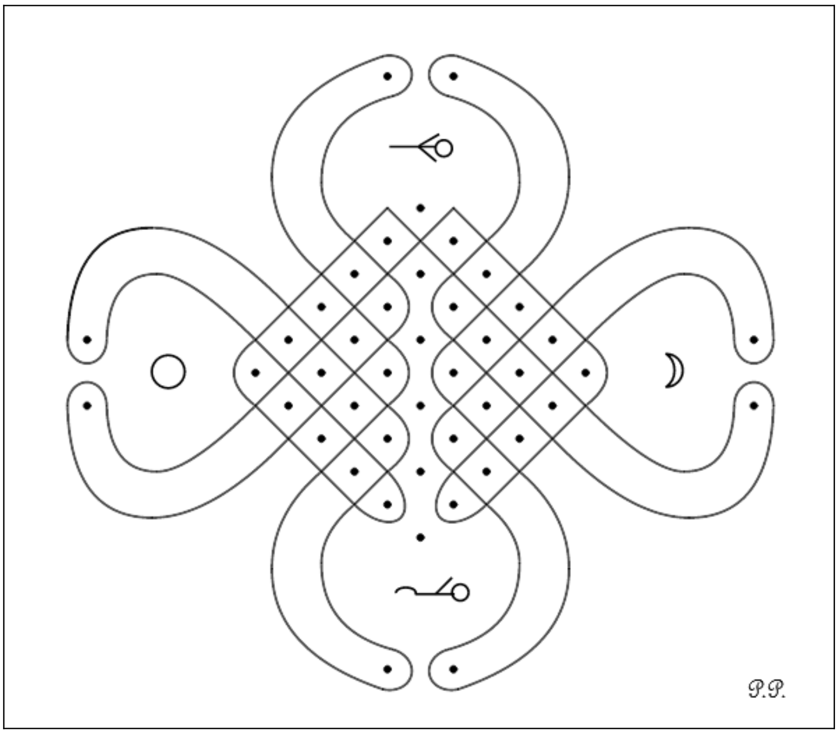
Les dessins reproduits par Emil Torday sont également des exemples de motif de bandes tressées de taille plus importante, mais sans réseau de points apparent (ce réseau est en fait d'un type différent des précédents).

Terminons cette présentation avec deux de mes sona préférés.

Kalunga ou le commencement du monde

Le dessin 16 reproduit le lusona appelé le dieu Kalunga. Ce lusona est associé à un récit mythologique du peuple Chokwe qui explique le cycle du soleil et de la lune ainsi que la condition de simples mortels des humains (cf. ci-dessous). Le dieu Kalunga est représenté en haut, le soleil à gauche, la lune à droite et l'homme en bas.

Le dessin est monolinéaire et s'appuie sur un réseau de 36 points. Il possède un axe de symétrie vertical ; chacune des parties gauche et droite possède un axe de symétrie horizontal et leur tracé repose sur un motif triangulaire de bandes tressées. Ces deux parties sont reliées en un seul point. En partant de ce point dans la direction Sud Ouest on parcourt toute la partie gauche avant d'y revenir et de parcourir toute la partie droite.



16 : Kalunga

Récit mythologique associé au lusona kalunga[4]

Le Commencement du Monde :

Il y a très longtemps le Soleil vint présenter ses respects au dieu Kalunga. Il marcha et marcha encore jusqu'à trouver le chemin qui conduisait à Kalunga. Lorsqu'il fut arrivé, Kalunga lui donna un coq et dit : « Viens me voir demain matin ».

Le lendemain matin le coq chanta et réveilla le Soleil. Alors le Soleil retourna voir le dieu Kalunga, qui lui dit : « j'ai entendu le coq chanter, celui que je t'avais donné pour souper. Tu peux le garder, mais tu devras revenir chaque matin. » C'est pourquoi le Soleil fait le tour de la terre et apparaît chaque matin.

La Lune aussi rendit visite à Kalunga. Elle reçut également un coq, qui la réveilla le matin suivant. Lorsqu'elle retourna chez Kalunga avec le coq sous le bras, il dit : « Je vois que tu n'as pas mangé le coq que je t'avais donné hier. C'est bien. Tu devras revenir me voir tous les vingt-huit jours ». C'est pourquoi nous voyons la pleine lune tous les vingt-huit jours.

L'Homme alla voir Kalunga et reçut un coq. Mais l'Homme était affamé après son long voyage. Il mangea un morceau du coq pour le souper. Le matin suivant le soleil était déjà haut dans le ciel quand l'Homme se réveilla. Il mangea rapidement le reste du coq et se dépêcha d'aller voir le dieu Kalunga. Celui-ci lui dit avec un sourire : « Où est le coq que je t'ai donné hier ? Je ne l'ai pas entendu chanter ce matin. »

L'Homme fut effrayé. « J'avais très faim et je l'ai mangé, » dit-il.

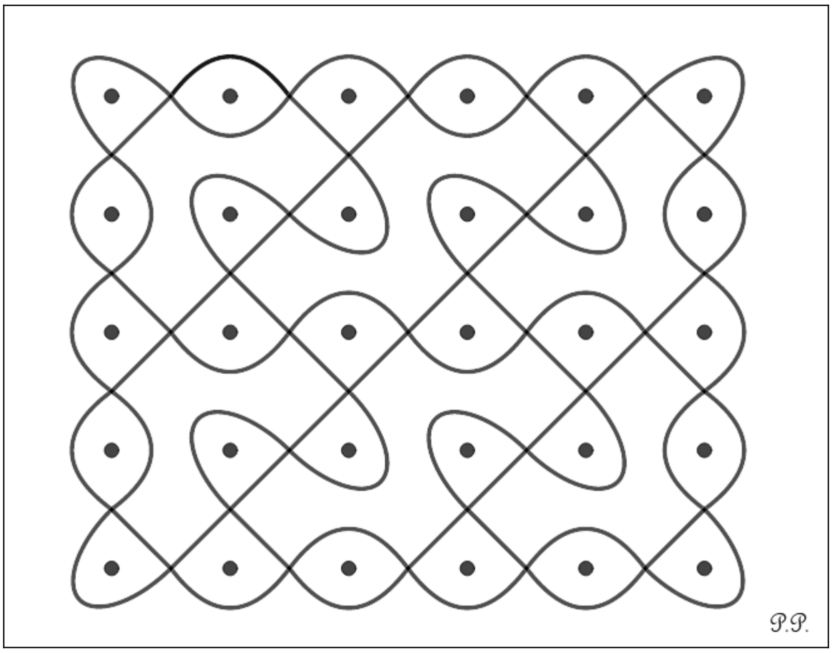
Alors Kalunga dit : « Très bien, écoute moi. Tu sais que le Soleil et la Lune sont venus me voir. Chacun d'eux reçut un coq comme toi, mais ils n'ont pas tué le leur. C'est pourquoi ils ne mourront jamais. Mais toi, tu as tué le tien, alors tu devras mourir comme lui. Et, après ta mort, tu reviendras me voir. »

Et il en est ainsi. Le soleil et la lune sont toujours là, comme au temps de nos arrière grands parents. Mais les hommes et les femmes, eux, ne vivent pas éternellement.

4 Le texte est une traduction de l'auteur d'après la version en anglais figurant dans l'ouvrage de C. Zaslavsky (cf. bibliographie)

La poule en fuite

Le dessin 17 reproduit un lusona remarquable tant par l'originalité de son tracé que par sa puissance évocatrice. Il représente le trajet d'une poule sauvage qui est poursuivie. Il est monolinéaire, ne possède pas d'axe de symétrie mais est invariant par symétrie centrale. Il s'appuie sur un réseau orthogonal de 30 points équidistants et utilise un algorithme de tracé de la ligne continue bien plus complexe que celui des motifs de bandes tressées.



17 : La poule en fuite

Des artistes mathématiciens

Longtemps les Européens n'ont vu chez les peuples premiers que des sauvages incapables d'avoir par eux-mêmes une pensée rationnelle très élaborée. Il a fallu attendre le milieu du 20e siècle avec l'accumulation des données ethnographiques et le développement de l'ethnologie pour que le regard de l'occident sur les sociétés indigènes évolue.

Pour peu qu'on accepte de prendre ses distances par rapport au savoir occidental traditionnel, on peut découvrir chez les peuples premiers des compétences mathématiques insoupçonnées. Ainsi chez les Chokwe les maîtres du dessin connaissaient plusieurs formes de symétrie, recherchaient la monolinéarité des tracés de sona, utilisaient certaines propriétés topologiques des courbes, inventaient des algorithmes pour réaliser les sona les plus complexes.

Dans la création de leurs œuvres les akwa kuta sona ont donc utilisé de nouvelles formes géométriques dont ils ont exploré les propriétés, alors oui ils étaient aussi bien mathématiciens qu'artistes.

A propos des illustrations

A l’exception des reproductions des deux dessins d’Emil Torday (p.1) toutes les illustrations de cet article (dessins de sona, photo de bandes tressées, carte du pays Chokwe) ont été réalisés par l’auteur. L’utilisation d’un logiciel fournit des dessins idéalisés de sona qui soulignent les propriétés de symétrie au détriment de la propriété de monolinéarité quand elle est présente. Pour mieux se rendre compte de la difficulté que représente la réalisation d’un lusona il faut essayer par soi-même de tracer chaque courbe fermée sans lever la main et sans s’arrêter. On pourra alors apprécier toute l’habilité des akwa kuta sona. On peut voir un de ces artistes à l’œuvre dans une video sur le site du patrimoine immatériel de l’UNESCO (cf. ci-dessous).

Bibliographie

Marcia Ascher, *Mathématiques d’ailleurs*, Editions du Seuil, 1998.

Paulus Gerdes, *Une tradition géométrique en Afrique les dessins sur le sable*, L’Harmattan,Paris, 1995.

Paulus Gerdes, *On mathematics in the history of sub-saharan Africa*, in Historia Mathematica 21, 1994.

Paulus Gerdes, *Les sona : des graphes sur le sable angolais*, in Pour la Science dossier n° 47 : Mathématiques exotiques, 2005.

Emil Torday, *On the trail of the Bushongo, Seeley,* London, 1925. Disponible sur archive.org

Emil Torday & T. A. Joyce, *Notes ethnographiques sur les peuples communément appelés Bakuba, ainsi que sur les peuplades apparentées. Les Bushongo*,.in Annales du Musée du Congo Belge, 1910. Disponible sur gallica.bnf.fr

Claudia Zaslavsky, *Math Games & Activities from around the world*, Chicago Review Press, 1998.

Sites consultés

Sona, dessins et figures géométriques sur le sable - patrimoine immatériel - secteur de la culture - Unesco :

https://ich.unesco.org/fr/RL/sona-dessins-et-figures-geometriques-sur-le-sable-01994

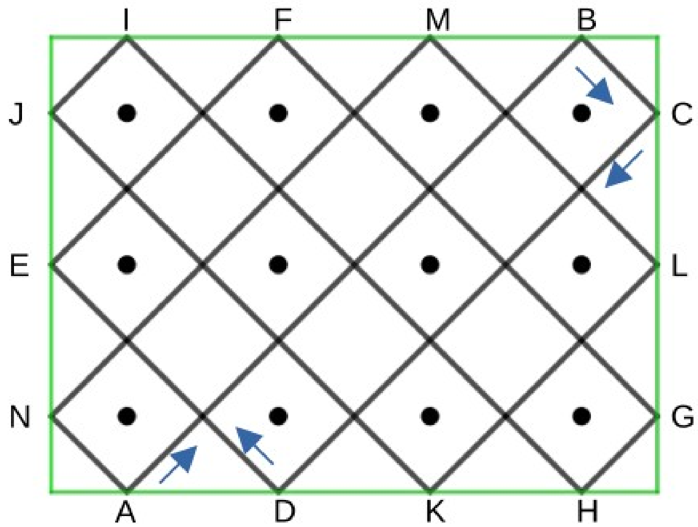
Les objets rituels de l’initiation mukanda au Royal Museum for central Africa (Teruven, Belgique) :

https://webarch.africamuseum.be/collections/browsecollections/humansciences/display_group?languageid=3&groupid=343&order=1&set_language=fr&cl=fr

cc BY NC ND

Sona et trajectoire d'une boule de billard

Il existe une procédure simple pour dessiner un motif de bandes tressées. Nous allons la présenter en utilisant l'analogie avec la trajectoire d'une boule de billard rebondissant sur les bords de la table. Les dessins ci-dessous vont permettre d'illustrer l'algorithme. Les bords de cette table de billard imaginaire sont représentés en vert.



Prenons d'abord le cas d'un motif 4 x 3 :

Si on démarre le tracé du lusona au point situé en bas à gauche (A sur le dessin) en partant dans la direction nord est et que l'on suit la trajectoire d'une boule de billard, elle rebondit en B, puis en C, puis en D ...etc…jusqu'à revenir au point A.

Sa trajectoire décrit parfaitement le tracé du lusona puisque celui-ci est formé d'une suite de segments orientés à 45° par rapport aux lignes du réseau de points.

Nous prouverons par la suite que tous les motifs de bandes tressées construits autour d'un réseau rectangulaire de *n* rangées de *n*+1 points sont monolinéaires.

Remarquons que le dessinateur possède un moyen simple de mémoriser le tracé du lusona en suivant la procédure décrite ci-dessus sans faire référence au trajet d'une boule de billard.

Partant d'un point quelconque situé au milieu de 2 points quelconques du bord du réseau, on traverse ce réseau de points en suivant une direction diagonale (par rapport aux lignes du réseau) ; lorsqu'on va ressortir du réseau on se retrouve au milieu de deux points d'un autre bord du réseau.

Si l'un de ces points est un coin du réseau on le contourne en effectuant un demi-tour pour repartir dans la même direction mais en sens contraire. (cf.figure 1)

Sinon on effectue un quart de tour en contournant celui des 2 points qui vous fait rentrer dans le réseau en repartant dans une direction perpendiculaire. (cf. figure 2)

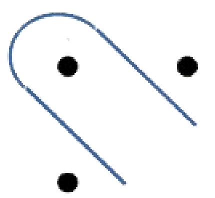


Figure 1

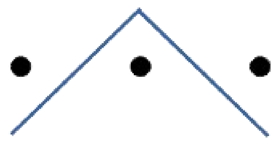


Figure 2

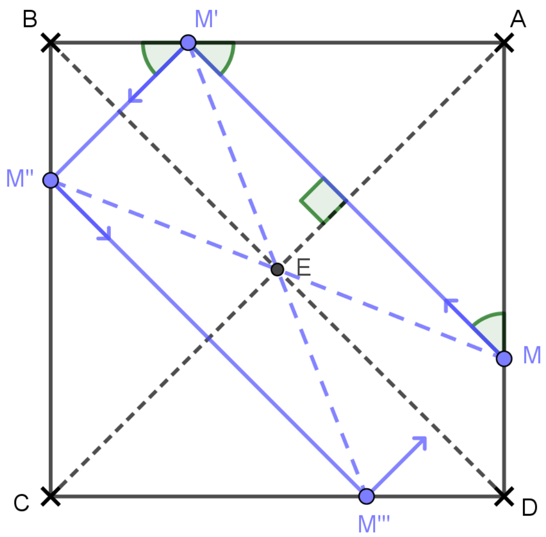
La trajectoire de la boule de billard décrite ci-dessus est souvent appelée chemin optique en référence au trajet d'un rayon de lumière qui se réfléchirait sur des miroirs plans disposés sur les côtés du rectangle.

Étude des motifs de bandes tressées construits autour d'un réseau de *n* rangées de *n* points.

Nous allons montrer qu'il faut *n* courbes fermées pour tracer ces motifs si l'on suit la procédure précédente.

La preuve s'appuie sur la figure suivante dans laquelle ABCD est un carré de centre E, M un point quelconque du segment AD et MM'M''M''' représente la trajectoire d'une boule de billard lancé du point M dans une direction faisant un angle AMM' de 45°.

En considérant la somme des angles du triangle AMM' il est clair que ce triangle est rectangle et isocèle.



Le triangle ABD est lui aussi rectangle et isocèle donc la droite MM' est parallèle à la diagonale BD et perpendiculaire à l'autre diagonale AC.

On en déduit que M' n'est autre que le symétrique de M par rapport à la diagonale AC.

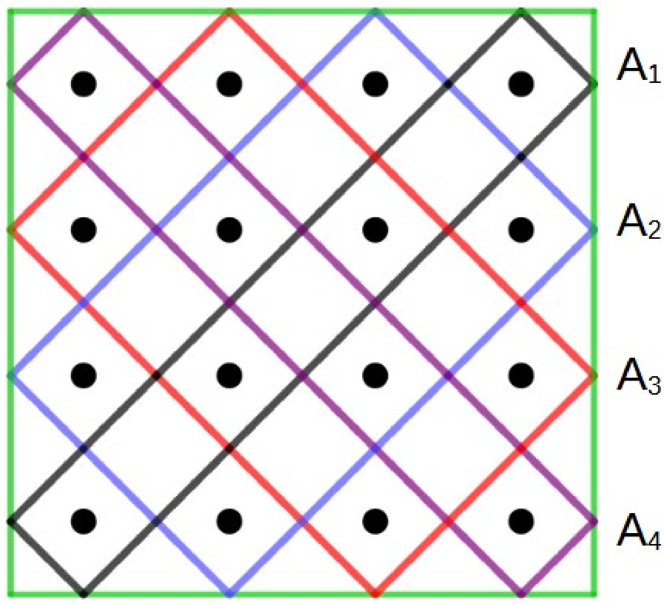
On démontrerait de même que M'' est le symétrique de M' par rapport à (BD) et M''' le symétrique de M'' par rapport (AC).

De tout cela il résulte que M est le symétrique de M''' par rapport à (BD) et que le quadrilatère MM'M''M''' est un rectangle de centre E.

Bref notre boule de billard reviendra en M après son troisième rebond !

Considérons maintenant un motif de bandes tressées construit autour d'un réseau de *n* rangées et *n* colonnes.et le carré dans lequel on peut l'inscrire. (cf. figure ci-dessous pour *n* = 4)

Tous les sommets du motif sont situés sur les côtés du carré. Sur chacun de ces côtés il y a *n* sommets que l'on peut noter A_1 A_2 A_3 ... A_n .



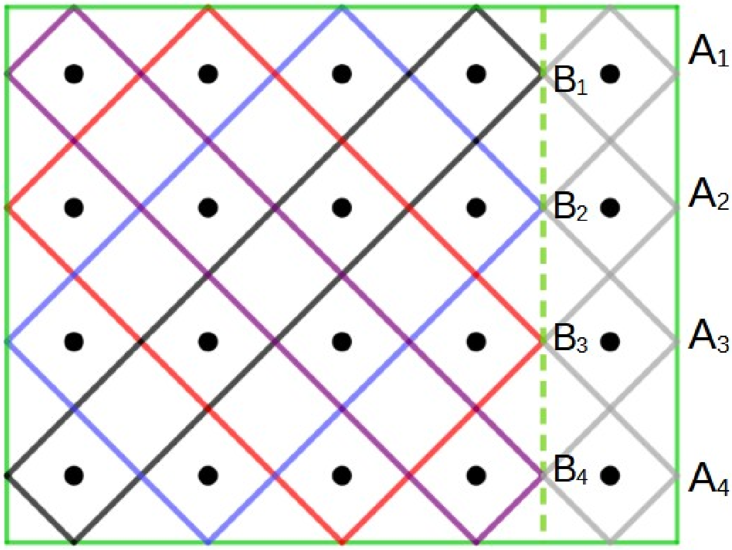
Que l'on parte d'un quelconque de ces points A_k pour tracer le motif on y reviendra après avoir parcouru les côtés d'un rectangle d'après la propriété précédente.

On en déduit immédiatement que le motif complet est formé de *n* rectangles représentant autant de trajectoires de boules.

cc BY NC ND

Etude des motifs de bandes tressées construits autour d'un réseau de *n* rangées de *n+1* points.

La méthode consiste à partager le motif en deux sous motifs le premier autour d'un réseau $n \times n$ et le second autour d'un réseau $n \times 1$ (cf. figure ci-dessous pour $n = 4$)



Les deux sous motifs ont en commun n points de jonction que l'on peut noter B_1 B_2 B_3 ... B_n .

Les n points du sous motif $n \times 1$ situés sur le côté du rectangle sont notés A_1 A_2 A_3 ... A_n .

On sait que le sous motif $n \times n$ est formé de n rectangles indépendants et il est facile de voir que le sous motif $n \times 1$ (en gris sur la figure) est monolinéaire . (On peut le décrire ainsi sur l'exemple de la figure :

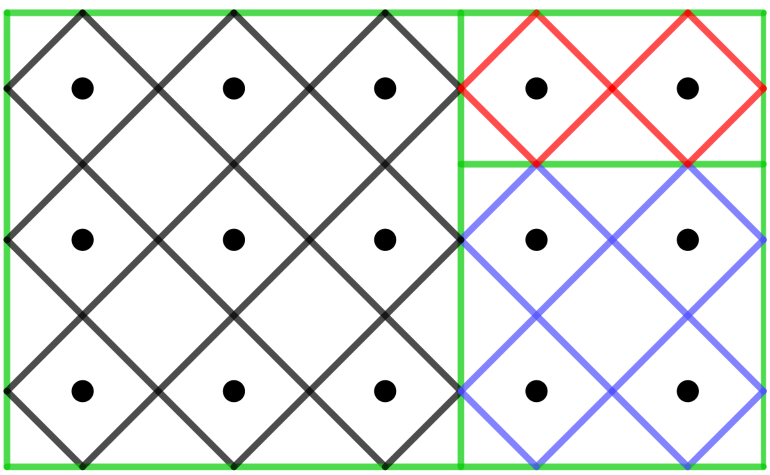
A_1 B_2 A_3 B_4 A_4 B_3 A_2 B_1 A_1.)

Plus généralement il faut imaginer que ce tracé monolinéaire partant de A_1 passera en « descendant » alternativement par tous les points A d'indice impair et tous les points B d'indice pair puis en « remontant » alternativement par tous les points A d'indice pair et tous les points B d'indice impair en terminant par B_1 avant de revenir en A_1 .

Il en résulte un tracé monolinéaire du motif $n \times (n+1)$ partant de A_1. En effet à chaque fois que le tracé arrivera à un point B_k il se poursuivra en décrivant un rectangle du motif $n \times n$ pour revenir au même point B_k avant d'emprunter la suite du motif $n \times 1$ et ainsi de suite jusqu'au retour au point A_1 .

On peut généraliser la méthode précédente de décomposition en sous motifs pour montrer que si n et p sont des entiers premiers entre eux le motif de bandes tressées $n \times p$ sera monolinéaire, la décomposition s'obtenant avec l'algorithme d'Euclide.

Voici par exemple la figure obtenue pour $n = 5$ et $p = 3$.



Le motif rouge 2 x 1 est monolinéaire. En suivant le raisonnement précédent on en déduit un tracé monolinéaire du motif 2 x 3 (rouge et bleu). Et de celui-ci on déduit un tracé monolinéaire du motif complet 5 x 3.

Sona et chemins eulériens

Vous avez tous rencontré un jour le problème suivant : *est-il possible de tracer les figures (a) et (b) sans lever le crayon et sans repasser deux fois sur le même segment* ? La théorie des graphes apporte la solution générale à ce type de problèmes. Un graphe est constitué de sommets reliés par des arêtes (le graphe associé à la figure (a) possède 5 sommets et 8 arêtes, celui de la figure (b) 6 sommets et 10 arêtes). Le problème revient à se demander s'il existe un chemin continu qui emprunte toutes les arêtes une fois et une fois seulement. Un tel chemin est dit eulérien en l'honneur du grand mathématicien suisse qui a résolu un problème de ce type concernant une promenade passant par tous les ponts de Königsberg. Pour répondre à la question initiale il suffit pour chaque sommet du graphe de compter le nombre d'arêtes ayant ce sommet pour extrémité (ce qu'on appelle le degré du sommet). En effet le théorème d'Euler affirme qu'il existe un chemin eulérien si et seulement si le nombre de sommets de degré impair est 0 ou 2. Par exemple dans le cas de la figure (a), le problème n'a pas de solution car il y a 4 sommets de degré impair (A, B, C et D); en revanche dans le cas de la figure (b), il existe des chemins eulériens puisqu'il y a 2 sommets de degré impair (C et D), ceux-ci étant nécessairement les points de départ et d'arrivée du chemin cherché (une des solutions est CDBFABECAED).

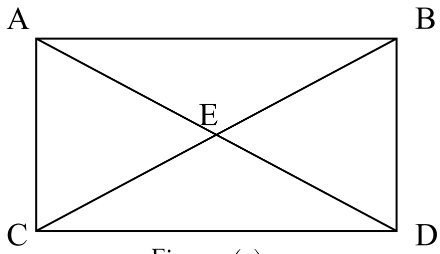


Figure (a)

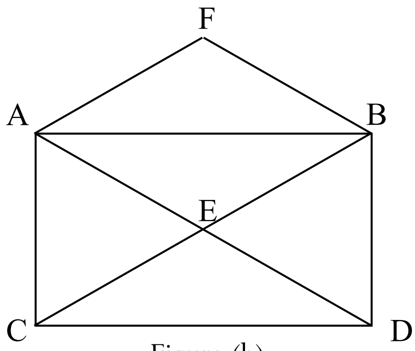
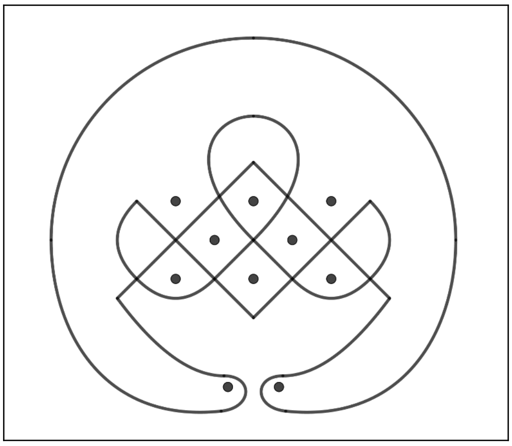
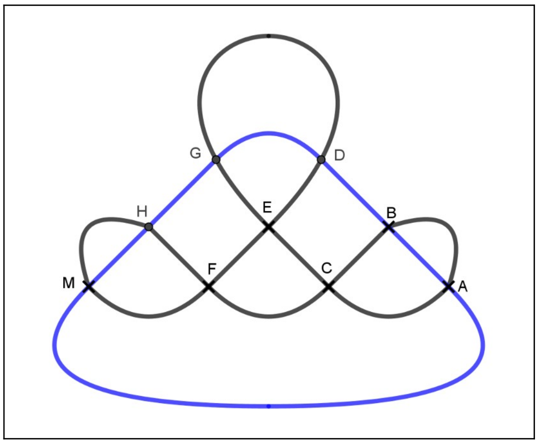


Figure (b)

A chaque lusona il est facile d'associer un graphe, il suffit de considérer que les points d'intersection du tracé sont les sommets d'un graphe. Par exemple le graphe associé aux sona oiseau kantiatia et amitié (dessin 2 & 11) possède 7 sommets et 14 arêtes. Celui associé au lusona esprit qui mange des fourmis possède 9 sommets et 18 arêtes (cf. dessin ci-dessous[5])



Un esprit qui mange des fourmis blanches



Graphe associé au lusona

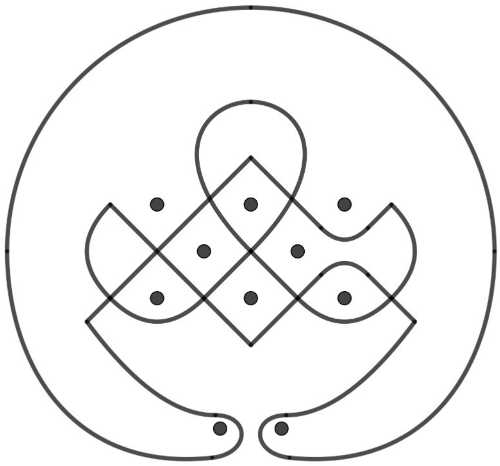
Il est tentant de faire le lien entre le problème de la monolinéarité d'un lusona et celui de l'existence d'un chemin eulérien. Nous allons expliquer en quoi ces problèmes ne sont pas équivalents. Il est

5 Dans un graphe la forme des arêtes est sans importance

clair que si le lusona est monolinéaire alors le graphe associé possède un chemin eulérien par exemple tous les sommets du graphe associé au lusona amitié sont de degré 4 . Mais on a vu que le lusona esprit mangeant des fourmis utilise deux courbes alors que tous les sommets de son graphe associé sont de degré 4. Il existe donc un chemin eulérien. Par exemple : EGDEFMHFCB par le chemin noir ; puis BAMHGDB par le chemin bleu ; puis BACE par le chemin noir.

Mais il ne faut pas oublier que les points d'intersection du lusona (donc les sommets du graphe) correspondent au croisement de deux traits rectilignes ayant eu lieu pendant la réalisation du dessin. Le chemin eulérien décrit ci-dessus ne peut donc pas correspondre à un tracé du lusona.

On peut cependant s'en inspirer pour trouver un lusona monolinéaire ressemblant à celui de l'esprit mangeant des fourmis. (cf. dessin ci-dessous)



Mais ce nouveau lusona a perdu une qualité très recherchée : la symétrie. Ce qui nuit à la valeur esthétique du dessin, sans parler de la difficulté supplémentaire introduite dans la mémorisation de son algorithme…

En revanche le théorème d'Euler fournit une indication précieuse pour résoudre l'énigme posée par les enfants à l'ethnologue Emil Torday (cf. page 1). En effet s'il existe un chemin eulérien comme l'affirment les enfants le graphe associé possède 0 ou 2 sommets de degré impair et c'est bien le cas pour les deux dessins ; il y a 2 sommets de degré impair et ils sont même signalés par un trait ou une flèche au bord du dessin ; par conséquent ce sont forcement les points de départ et d'arrivée du tracé monolinéaire. Pour le réaliser il suffit de suivre la procédure du chemin optique que nous avons décrite précédemment. Tout cela ne peut que renforcer notre admiration pour ces enfants d'Afrique centrale qui, à travers la pratique d'un jeu, avaient développé des compétences mathématiques remarquables.

Conditions de réutilisation de l'œuvre : attribution à son auteur en citant son nom. Pas d'utilisation commerciale. Pas de modification. Les termes complets de la licence sont disponibles ici : https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/