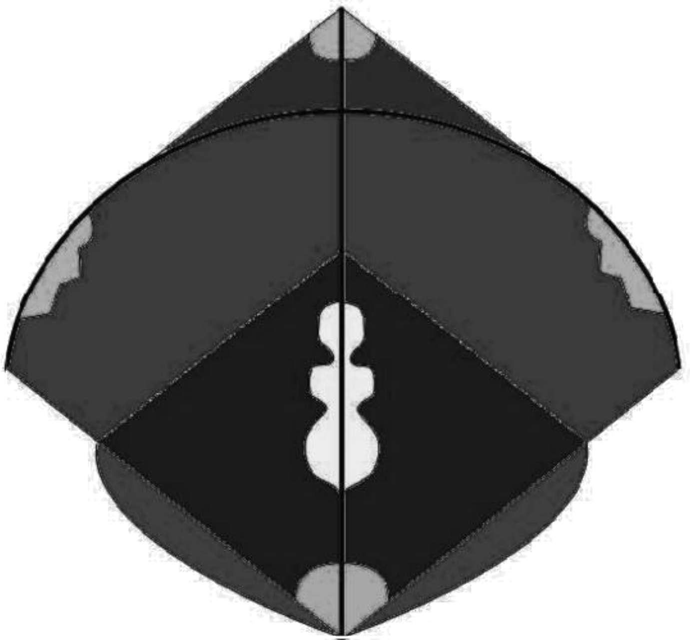
Le cerf-volant afghan

Marouf Ghegediban(*)

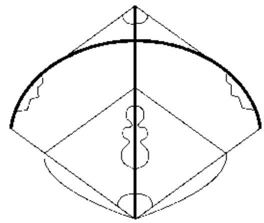
Histoire

Les cerfs-volants sont connus depuis quatre siècles avant J-C. Probablement du côté des gens connaissant le fil, la voile et le vent. Les Chinois pourraient donc bien en être les précurseurs. Les légendes chinoises et japonaises disent que les cerfs-volants servaient pour faire monter des hommes suffisamment haut pour observer la position de l'ennemi et transmettre des messages. Cette technique a d'ailleurs été utilisée pendant la première guerre mondiale pour faire des photos aériennes. Elle a aussi servi pour des sauvetages en mer. Alexander Wilson s'est servi d'un train de cerfs-volants pour mesurer la température dans différentes couches d'air en altitude. Au dix-neuvième siècle un cerf-volant, construit avec des structures verticales et horizontales, et qui était suffisamment stable en l'air, pourrait très bien être l'ancêtre de l'avion, qui est en soi un aérodyne ou un aéronef, c'est-à-dire un objet plus lourd que l'air, au contraire d'un aérostat. Le mot cerf-volant en français pourrait venir du mot occitan serp-volant, c'est-à-dire serpent volant.



(*) marouf.ghegediban@wanadoo.fr

Une histoire de symétrie axiale



– symétrie des formes
– symétrie des masses
– symétrie des forces

1. La forme d'un cerf-volant afghan

Le cerf-volant s'inscrit dans un losange, en général différent d'un carré, pour une question de stabilité dans le vent. Ceux dont nous donnons la construction ci-dessous seront presque des carrés, les diagonales étant dans un rapport strictement compris entre 1 et 1,1, c'est-à-dire : si D est la grande diagonale et *d* la petite diagonale alors $1 < \frac{D}{d} < 1{,}1$.

2. Les éléments constituants

Pour construire le cerf-volant on utilise du papier de soie, du bambou et de la colle. Pour la consolidation on utilisera du fil de coton et des « boutons » ou renforts en papier de soie.

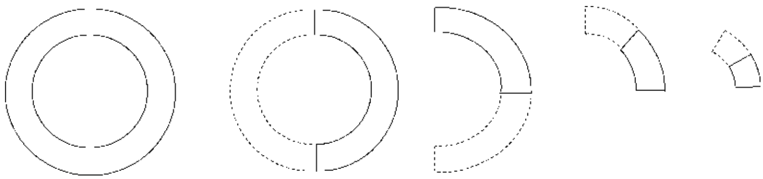
Construction

1. La taille de la flèche et de l'arc

a) La découpe

L'arc et la flèche d'un cerf-volant sont taillés dans des tiges de bambou. La section de ces bambous dépend de la taille du cerf-volant ainsi que de la maturité du bambou. Plus un bambou est âgé sur pied, plus il peut être rigide. Un autre facteur joue également sur la raideur : le temps écoulé depuis qu'il a été coupé de sa racine. Un tronc de bambou est dit mûr si le diamètre de sa section est compris entre cinq et dix centimètres.

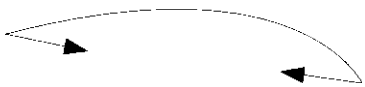
Un bambou vert manque d'élasticité mais, une fois sec, toujours moins rigide qu'un bambou mûr, il retrouve de l'élasticité. Concrètement, un tronc de bambou présente une section formée de deux cercles concentriques. Le cercle extérieur représente son écorce. On le coupe en deux dans le sens de la longueur ; on pose la lame d'un couteau rigide à un bout selon un diamètre de la section et on frappe avec un marteau ; une fois le bambou fendu, on continue jusqu'à l'autre bout. On recommence l'opération en coupant une moitié en deux et à nouveau en deux pour trouver à peu près la section voulue, comme on peut le constater sur les schémas suivants. Dans ces dernières tiges découpées, on taille la *flèche* et l'*arc* présentés dans le paragraphe suivant.



Si on travaille à main nue, il faut faire attention aux échardes du bambou, elles entrent sous la peau et cela fait très mal !

b) La taille de la flèche

Dans un cerf-volant afghan, on taille la flèche plus rigide que l'arc. On dit : « *Tir chakh o kamân sost* » (la flèche est rigide et l'arc souple). La flèche doit être plus rigide, sur une moitié que sur l'autre. Sous l'action de deux forces dans le sens des flèches, elle doit prendre la forme de la figure ci-contre.

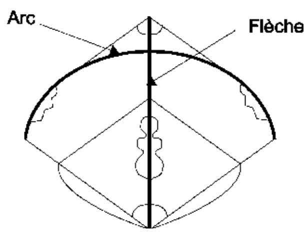


Pour cela on rabote, jamais du côté écorce, sinon on perd de l'élasticité, la moitié que l'on veut moins rigide. À titre d'exemple pour un cerf-volant construit à partir d'une feuille de soie au format A0, la section du coté rigide de la flèche doit être un rectangle de 7 à 8 mm de longueur sur une largeur de 5 à 6 mm et la section du côté souple doit être un rectangle de longueur 6 à 7 mm sur une largeur de 4 à 5 mm. La flèche doit être légèrement convexe côté écorce, sinon il faut la courber à la main ou éventuellement attacher les deux bouts par une ficelle pour la maintenir courbée quelques minutes. L'opération est plus rapide si on humecte le bambou.

Il faut veiller à ce que la face à encoller (pour coller le papier de soie) soit lisse, sèche et suffisamment plate (à l'aide d'un cutter par exemple).

c) La taille de l'arc

On travaille sur une tige dont la section est presque carrée. On rabote les arêtes de la tige davantage sur les extrémités qu'au centre de sorte que la tige obtenue soit plus souple aux extrémités qu'au centre. La section sera presque circulaire. Il faut éviter de raboter l'écorce pour ne pas perdre l'élasticité. L'arc, une fois installé, n'apparaît pas comme un arc de cercle comme le montre la figure ci-dessus. Sur les bords, le rayon de la courbure de l'arc est plus petit qu'au milieu de celui-ci. À titre d'exemple, un arc en bambou mûr et sec, correspondant à la flèche décrite au paragraphe précédent, doit avoir un diamètre de section d'environ trois à quatre millimètres sur les bords et six à sept millimètres au centre. Pour une meilleure adhérence entre le papier et le bambou grâce à la colle, les bambous doivent être taillés lisses et fins.



Remarque : pour les cerf-volants de petit format les bambous plus jeunes et moins rigides mais toujours secs (taille d'un roseau) sont mieux adaptés.

2. Choix des dimensions du papier de soie.

On peut construire un cerf-volant afghan à partir de feuilles de papier de soie aux formats A0, A1, A2, A3, A4, A5, etc.
Rappelons que les dimensions du format rectangulaire A0 ont été choisies de manière à ce que :

- La surface de la feuille soit égale à 1 m².
- Le rapport de la longueur L_0 à la largeur l_0 est égal à $\frac{L_0}{l_0} = \sqrt{2}$.

On obtient ainsi : $L_0 = 100 \times 2^{1/4} \simeq 118{,}9$ cm et $l_0 = \frac{100}{2^{1/4}} \simeq 84.1$ cm.

En découpant le feuille A0 au milieu dans le sens de la largeur on obtient deux feuilles au format A1 dont les dimensions L_1 et l_1 vérifient : $L_1 = l_0$ et $l_1 = \frac{L_0}{2}$. Le rapport *longueur* sur *largeur* est donc conservé puisque $\frac{L_1}{l_1} = \frac{l_0}{\frac{L_0}{2}} = \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}$.

3. La découpe de papier

Le papier est coupé selon les besoins et aussi selon la surface du cerf-volant voulu, avec un fil ou un couteau fin ; la découpe au fil est particulièrement bien adaptée au papier de soie qui est délicat à découper sur un pli. Le papier doit être plié selon la ligne de découpe puis on introduit le fil à l'intérieur du papier plié, les deux bouts du fil sont visibles aux deux bouts du papier plié. Pour couper une feuille de papier avec un fil, il vaut mieux être à deux. Une personne maintient un bout du fil, la seconde tire sur l'autre extrémité tout en maintenant le papier bien à plat avec une main.

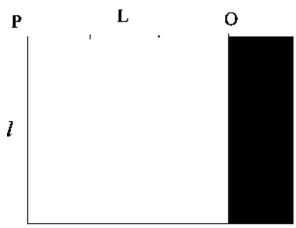


Figure 1

Quel que soit le format de la feuille A_n, pour des raisons d'équilibre et de maîtrise du cerf-volant, en vol et surtout au moment du combat, on le verra plus loin, on enlève un quart de celle-ci dans le sens de la largeur (Figure 1). Comment peut-on obtenir une figure admettant deux axes de symétrie perpendiculaires se coupant en leur milieu sans que celle-ci soit un rectangle ? Rappelons-nous du début de notre conversation, nous avons dit que les cerf-volants afghans ont la forme d'un losange. Toujours, pour la stabilité du cerf-volant, plus sa surface est grande, plus il est stable dans l'espace. Dans ce cas, comment faire pour obtenir un losange à partir de la partie non hachurée de la Figure 1 tel que sa surface soit maximale ? Pour obtenir le fameux losange, on procède de la façon suivante : on plie la feuille de sorte que les deux sommets opposés N et P de ce rectangle

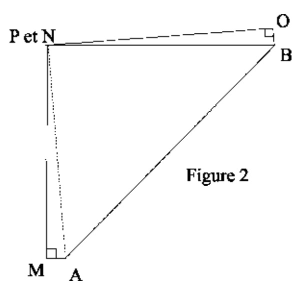


Figure 2

se superposent, comme sur la Figure 2. En enlevant les triangles rectangles AMP et BON, obtient-on le losange voulu ?

4. Quelques pistes pour une activité en classe

a) Le quadrilatère ANBP est un losange

En effet lorsqu'on plie la feuille rectangulaire MNOP de façon à amener N sur P, le pli coupe [MN] en A et [OP] en B. Alors :

- P et N sont symétriques par rapport au pli [AB].
- Le milieu I de la diagonale [PN], centre de symétrie du rectangle, se trouve donc sur (AB) et par conséquent A et B sont symétriques par rapport à I.
- Les diagonales de ANBP sont perpendiculaires et se coupent en leur milieu : c'est un losange.

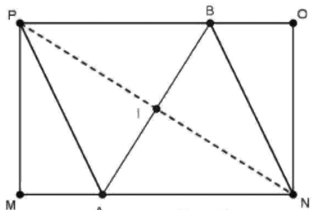


Figure 3

b) Un peu de calcul

En posant $\alpha = \widehat{\mathrm{NPO}}$ ($\alpha < 45°$) et δ la diagonale du rectangle MNOP on a :

- $\mathrm{L} = \delta \cos \alpha$; $l = \delta \sin \alpha$;
- $\cos\alpha = \dfrac{\mathrm{IH}}{\mathrm{IB}} = \dfrac{l}{\mathrm{AB}}$;
- $\tan\alpha = \dfrac{l}{\mathrm{L}}$, donc $\alpha = \arctan\left(\dfrac{l}{\mathrm{L}}\right)$;
- $\mathrm{AB} = \dfrac{l}{\cos\alpha} = \delta\dfrac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \delta\tan\alpha = \dfrac{l}{\mathrm{L}}\sqrt{\mathrm{L}^2 + l^2}$;
- $\text{aire ANBP} = \dfrac{1}{2}\mathrm{PN}\times\mathrm{AB} = \dfrac{1}{2}\delta^2\tan\alpha = \dfrac{1}{2}\dfrac{l}{\mathrm{L}}\left(\mathrm{L}^2 + l^2\right)$;
- $\mathrm{PB}^2 = \mathrm{PI}^2 + \mathrm{IB}^2 = \left(\dfrac{\delta}{2}\right)^2 + \left(\dfrac{\mathrm{AB}}{2}\right)^2 \dfrac{\left(\mathrm{L}^2 + l^2\right)^2}{4\mathrm{L}^2}$.

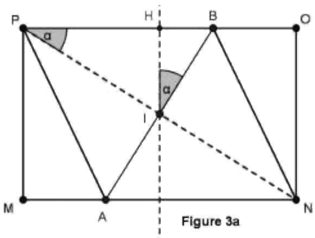


Figure 3a

Le côté du losange est donc : $\mathrm{PB} = \dfrac{\mathrm{L}^2 + l^2}{2\mathrm{L}}$.

c) Parmi tous les losanges inclus dans le rectangle MNOP, ANBP est celui d'aire maximum

En effet :

On voit sur la figure ci-contre qu'un segment de direction donnée, inclus dans le rectangle, est de longueur maximum si et seulement si ses deux

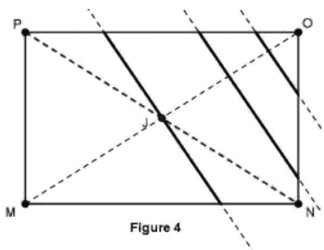


Figure 4

extrémités sont sur deux côtés opposés du rectangle. On peut donc se limiter aux losanges dont les sommets sont sur deux côtés opposés du rectangle.

Premier cas : un sommet sur chaque côté du rectangle

Le centre du losange est sur chacune des deux médianes du rectangle, donc en I, centre du rectangle. Si K et L désignent les milieux respectifs de [MN] et [MP], on voit que, lorsque l'on fait bouger le losange de sorte que R aille de K en A, U allant alors de L en P, les distances IR et IU croissent, donc aussi l'aire du losange, 2 IR × IU. Donc, pour ce type de configuration, l'aire maximale du losange est celle de ANBP (ou de son symétrique par rapport à une des médianes du rectangle)

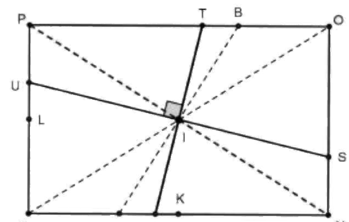


Figure 4a

Second cas : deux sommets sur un côté du rectangle, les deux autres sur le côté parallèle

Les sommets du losange ne peuvent être sur les petits côtés du rectangle, car, avec les notations de la figure 4a, on aurait RS ≤ l < L ≤ ST et RSTU ne serait pas un losange.

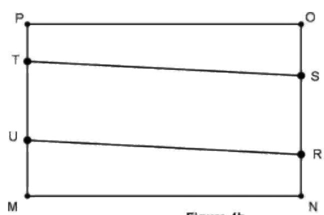


Figure 4b

Supposons donc les quatre sommets du losange sur les grands côtés du rectangle ; il n'est pas restrictif de supposer, au prix d'une translation, qu'un de ces sommets est un sommet du rectangle.

On obtient donc la configuration PQRS de la figure 4c. S est forcément sur]PB], sinon on aurait PS > PB, donc PQ > PA ; Q serait entre A et N, mais comme QR = PS, on aurait QR > PB, soit encore QR > AN, en même temps que $\text{QR} \subset \text{AN}$.

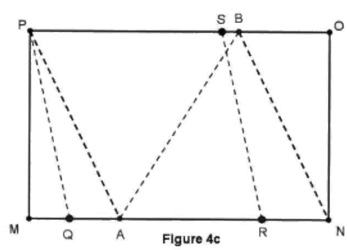


Figure 4c

L'aire de PQRS est PS × l (base × hauteur); si S est sur [PB[, elle est strictement inférieure à celle de ANBP.

d) Applications numériques

En partant d'une feuille de papier au format A0 :

Le rapport de la longueur à la largeur de la feuille A0 est $\sqrt{2}$ mais puisqu'on coupe un quart de la longueur, le rapport de la longueur à la largeur du rectangle utile est $\frac{\text{L}}{l} = \frac{3}{4}\sqrt{2}$ puisque $\text{aire ANBP} = \frac{1}{2}\frac{l}{\text{L}}\left(\text{L}^2 + l^2\right)$. En exprimant cette aire en fonction de

l on obtient : aire ANBP $= \dfrac{17\sqrt{2}}{24}l^2$. À partir d'une feuille au format A0, $l \simeq 84.1$ cm, d'où une valeur approchée de l'aire : 7 085,1 cm².

Pour le format A4 par exemple le rapport $\dfrac{l}{\mathrm{L}}$ restant le même on obtient, avec $l \simeq 21$ cm, la valeur approchée 441,8 cm², soit le seizième de l'aire obtenue pour le format A0, les dimensions étant divisées par 4.
Si on s'intéresse aux angles du cerf-volant, on obtient :

$$\widehat{\mathrm{APB}} = \widehat{\mathrm{ANB}} = 2\alpha = 2\arctan\left(\frac{l}{\mathrm{L}}\right) = 2\arctan\left(\frac{2\sqrt{2}}{3}\right) \simeq 86{,}6° \;;$$

$$\widehat{\mathrm{NAP}} = \widehat{\mathrm{NBP}} = 180° - \widehat{\mathrm{ANB}} \simeq 93{,}4°.$$

5. L'arc et la flèche

Avant de procéder au collage de la flèche et de l'arc, pour éviter le gaspillage et faire prévaloir la préservation de la nature, on peut se poser des questions sur leur longueur. Ainsi, peut-on prévoir la longueur du bambou entier dans lequel l'on doit tailler ces deux pièces. S'agissant du travail de bois (les menuisiers coupent le bois un peu plus long, ils peuvent toujours le raccourcir, le contraire serait plus délicat), on découpe le bambou un peu plus long que la longueur nécessaire.

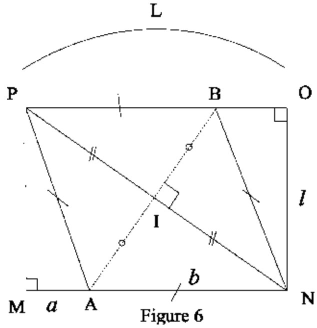


Figure 6

a) Longueur de la flèche

La flèche du cerf-volant correspond à la petite diagonale du losange. La grande diagonale du losange est une diagonale du rectangle MNOP et la petite est le segment [AB].
Dans le triangle IAN, par exemple, rectangle en I, d'après le théorème de Pythagore,

$$\mathrm{IA}^2 = \mathrm{PB}^2 - \mathrm{IN}^2 = \left(\frac{\mathrm{L}^2 + l^2}{2l}\right)^2 - \frac{1}{4}\left(\mathrm{L}^2 + l^2\right). \text{ Soit } \mathrm{IA} = \frac{1}{2}\frac{l}{\mathrm{L}}\sqrt{\mathrm{L}^2 + l^2}.$$

Ainsi la longueur de la petite diagonale du losange est : $\mathrm{AB} = \dfrac{l}{\mathrm{L}}\sqrt{\mathrm{L}^2 + l^2}$.

Remarque :

Puisque $\mathrm{PN} = \sqrt{\mathrm{L}^2 + l^2}$. le rapport des deux diagonales $\dfrac{\mathrm{PN}}{\mathrm{AB}}$ est donc égal à $\dfrac{\mathrm{L}}{l}$.
En construisant le cerf-volant à partir d'une feuille au format A4 (privée d'un quart de sa longueur) la longueur de la flèche est : $\mathrm{AB} = \dfrac{\sqrt{17}}{3}l \simeq \dfrac{\sqrt{17}}{3} \times 21 \simeq 28{,}9$ cm. .

b) Longueur de l'arc

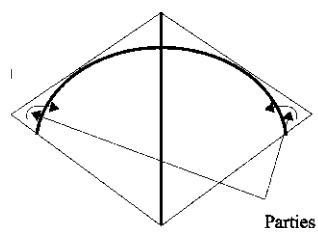
Pour connaître la longueur de l'arc, on imagine l'image homothétique de l'arc qui serait la moitié d'une ellipse circonscrite au losange (même si le périmètre de cette ellipse imaginée est plus longue que le double de la longueur de l'arc, n'oublions pas c'est une affaire de menuiserie...). Son grand axe est la grande diagonale du losange et son petit axe est sa petite diagonale.

Sans se lancer dans des calculs d'intégrales ou de série, on va utiliser un développement approximatif du calcul du périmètre d'une ellipse : $P = \pi\sqrt{2\left(IA^2 + IN^2\right)} = \sqrt{2}\pi\ AN$ approximation par excès proposée par Euler, où IA et IN sont les demi-longueurs des diagonales du losange (on remarquera que si IA = IN, on retrouve la formule du périmètre du cercle.)

Puisque $AN = \dfrac{L^2 + l^2}{2L}$ on obtient : $P = \pi\dfrac{L^2 + l^2}{L\sqrt{2}}$ ou encore $P = \pi\dfrac{17}{12}l$. Soit $P \simeq 93{,}5 \text{ cm}$ pour l = 21 cm correspondant au format A4. Puisque la longueur de l'arc est la moitié de celle de l'ellipse, cette longueur, arrondie au millimètre près, vaut 46,7 cm.

6. Collage

On encolle légèrement la tige sur son côté convexe et on la colle selon le segment de pliage, vu à l'étape précédente, sur la feuille de soie. Au moment du collage, il faut être vigilant de bien penser à coller le côté le plus rigide de la flèche en haut du cerf-volant, c'est-à-dire du côté où l'on collera l'arc. Et puis on présente l'arc de façon à ce qu'il ne dépasse pas la feuille de papier sur les côtés au-dessus de l'arc, comme on le voit sur la figure ci-dessus et sur ses extrémités, ils peuvent dépasser la feuille comme d'ailleurs pour la flèche mais, on pourra enlever les parties qui dépassent avec un sécateur. On ne peut jamais tailler un arc ou une flèche avec des longueurs précises au millimètre près.

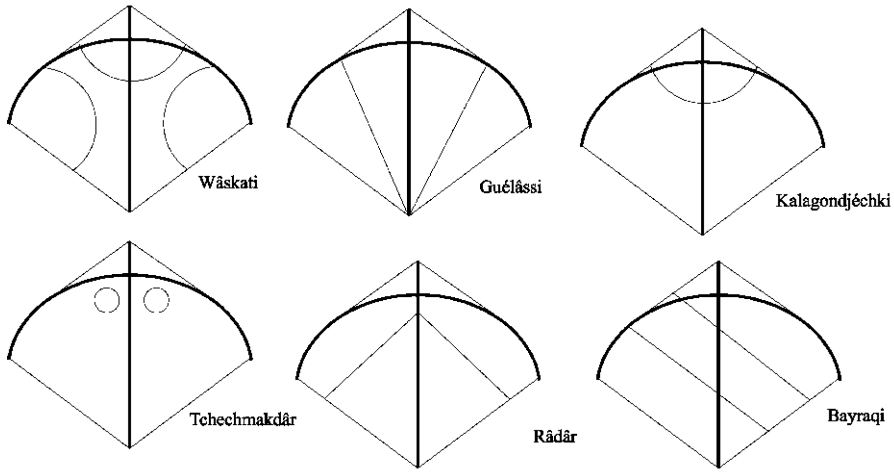


Parties à encoller

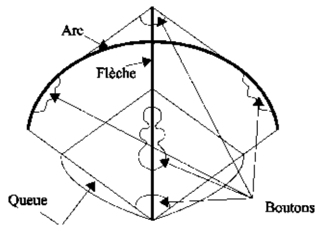
Selon la taille du cerf-volant, le papier dépasse de quelques centimètres l'arc, aux extrémités de celui-ci, sous forme d'un triangle comme on le voit sur la figure. On encolle cette partie qui dépasse l'arc et on la rabat, dans le sens des flèches courbées, par-dessus l'arc pour la coller sur la feuille en maintenant fermement les bouts de l'arc à leur position initiale. Maintenir quelques secondes pour que la colle agisse et que le papier ne cède pas. Pour le collage de l'arc, il vaut mieux être à deux.

7. Consolidation et décorations

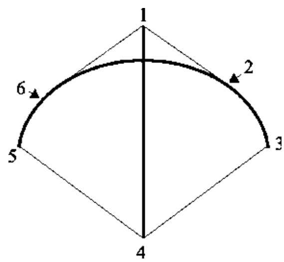
Par un jeu de couleurs, les cerf-volants peuvent avoir différentes décorations ; Râdâr, un chevron d'une couleur autre que le reste du papier est collé en tête, Bayraqi, sous forme de drapeau, Kalagondjéchki, tête de moineau, Guélassi, sous forme de gobelet, Wâskati, sous forme de gilet et Tchechmakdâr, avec des lunettes.



Pour construire les boutons de consolidation, on procède de la façon suivante. On plie une feuille de papier en soie en deux et le long du segment de pliage, on coupe avec des ciseaux la forme que l'on souhaite. Pour les décorations diverses que nous venons de voir dans les figures ci-dessus, on procède de la même façon. En dépliant la partie découpée, on a une figure parfaitement symétrique selon la ligne de pliage.



Les boutons doivent être de préférence de couleur différente de celle du cerf-volant. La ligne de pliage est l'axe de symétrie, lequel servira comme base pour un collage avec une symétrie parfaite.



L'autre élément de consolidation est un fil léger en général en coton qui entoure le cerf-volant. Il est attaché à chaque bout des pièces en bambou, il suffit de l'enrouler deux à trois fois autour du bois aux deux extrémités de la flèche et aussi à celles de l'arc. On attache le fil au point 1, on l'entoure autour de l'arc en faisant un nœud coulissant au point 2, on l'attache à nouveau au point 3, on va au point 5 pour l'attacher en passant par le point 4 et puis on fait un autre nœud coulissant au point 6 pour finir au point 1 par lequel on avait commencé. Pour que ce fil tienne à chaque extrémité des bambous, il faut utiliser un peu de colle. Ce fil de préférence en un seul morceau, entoure le cerf-volant de sorte que sur son périmètre tout entier, l'on puisse retourner le papier de soie sur lui-même en le collant, le fil à l'intérieur, sur une largeur de 5 à 8 millimètres. Pour un meilleur collage, le fil doit être à la surface de la feuille, particulièrement aux abords des extrémités des bambous. Une astuce : que l'on arrive ou que l'on parte d'un bout de bambou, il faut essayer de positionner le fil au-dessous du bambou. Ce collage se fera toujours sur la même face que celle où sont collés l'arc et la flèche.

Les boutons de consolidation sont aussi considérés comme éléments de décoration. On colle en général une « queue » sous forme d'un gros bouton en bas, à la face opposée où sont collés l'arc et la flèche, comme c'est visible sur la figure, ci-dessus.

Vol d'un cerf-volant afghan

1. Bridage du cerf-volant

Un cerf-volant afghan est maintenu par un seul fil mais, ce n'est pas pour autant qu'il n'est pas dirigeable. Pour le contrôler par un seul fil, il faudra donc le brider. Pour cela, on a besoin d'un fil solide constitué de plusieurs trames de fils de petit calibre, quatre à six. Sa longueur doit être une fois et demie celle de l'arc du cerf-volant. Un bout de ce fil est attaché au niveau du croisement de l'arc et de la flèche de sorte qu'il rentre par un petit trou, préalablement fait, par la face opposée où les bambous sont collés et il ressort, en entourant les deux tiges de bambous, à cette même face par un petit trou, diagonalement opposé au premier, comme l'on le voit sur la figure a ci-contre. On fait en sorte que le nœud que l'on noue pour attacher le fil soit toujours du côté opposé à la face où sont collés l'arc et la flèche.

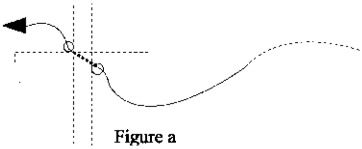


Figure a

On voit sur la figure b, ci-contre, une vue de face, le cerf-volant à l'horizontale. Attention, on veille à ce que ces trous soient proches de l'arc et de la flèche. L'autre bout est attaché avec le même procédé à partir du bas de la flèche à environ un tiers de sa longueur.

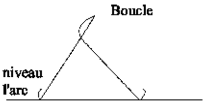


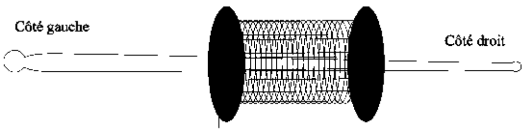
Figure b

Une fois ces deux bouts attachés, on forme une boucle sur ce fil de sorte que la distance entre la boucle et le point d'attache au niveau de l'arc soit deux à trois centimètres plus courte que celle entre cette même boucle et le point d'attache du fil en bas de la flèche. Plus le cerf-volant tourne involontairement sur lui même en l'air plus il faut réduire cette différence. Au contraire, s'il ne prend pas le vent en l'air et peine à monter, il faut l'augmenter, voir la figure b. Le fil avec lequel on fera voler le cerf-volant sera noué à cette boucle.

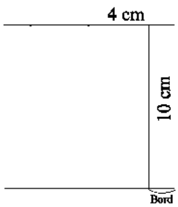
2. Position du cerf-volantiste et du cerf-volant

Se mettre toujours dos au vent pour faire voler son cerf-volant. Les débutants font prendre leur cerf-volant par un assistant, l'arc en haut et la « queue » en bas, à une distance d'une dizaine de mètres, fil tendu, attention, fil en coton et non en nylon, nous devons préserver l'environnement : le fil de nylon peut rester accroché aux arbres et blesser les oiseaux. L'assistant lâche le cerf-volant et à ce moment, le maître tire sur le fil ou court quelques mètres en arrière. Une fois le cerf-volant en l'air, il ne risque plus, en principe, de tomber, le débutant aura le temps de voir venir les événements.

3. Rembobinage du fil



L'enrouleur de fil est constituée d'une grosse bobine avec une tige en bois qui appartient à son axe de révolution. Cette tige dépasse la bobine des deux côtés d'une quinzaine de centimètres. Le fil doit débiter ou être rembobiné par le bas de la bobine. Si l'on est droitier, on pose le côté gauche de la tige sur l'avant-bras gauche et l'on tient le fil de la main gauche aussi et l'on tourne le côté droit de la tige avec le pouce et l'index de la main droite et ainsi on peut rembobiner. Si l'on est gaucher, les actions sont inversées de sorte que le fil se trouve en haut de la bobine au moment de rembobinage.



Une bobine est assimilée à un cylindre dont le rayon est 4 cm et la hauteur est 10 cm. Quelle peut être la hauteur h du bord de la bobine pour qu'un fil de longueur 500 m y soit entièrement rembobiné? On suppose que la section du fil est 0,25 mm^2 (on prendra le même rayon pour les différentes couches du fil.)

On considère une coupe selon l'axe de révolution de la bobine, comme la figure ci-contre.

Le périmètre de la base du cylindre est P = 2 × π × r = 8 × π cm. Le nombre de tours du cylindre que l'on peut faire avec les 500 m soit $50\,000$ cm est $50\,000 \div (8 \times \pi) \simeq 1989{,}4$ arrondi au dixième de tour. Sachant que 4 épaisseurs de fil occupent une section de 1 mm^2 et la hauteur du bord étant h l'aire du rectangle formé par les différentes couches du fil visible sur la coupe précédente est : 100 h mm^2 que l'on peut obtenir aussi par 1989,44 mm^2 donc $100h \simeq 1989{,}4 \div 4 = 497{,}35$ mm^2 donc $h \simeq \dfrac{497{,}35}{100} = 4{,}9735$ mm. La hauteur du bord de la bobine doit donc être au minimum 5 mm.

Réactions d'élèves

Dans le cadre de la « Semaine Autrement » organisée par mon collège j'ai animé huit ateliers, de trois heures chacun, consacrés à la construction de cerf-volants. Ces ateliers se sont déroulés sur huit demi-journées.

Il est évident que faire tout cela de façon efficace en trois heures n'est pas chose aisée, mais cela se passait en général sous forme de questions-réponses :

- Comment obtenir les trois quarts de la feuille de papier de soie que vous avez devant vous ?

- De quel nombre se rapprocherait le carré du rapport de la longueur sur la largeur de la feuille ?
- Et si on multipliait ce rapport par lui-même ?
- Etc.

Les groupes étaient très hétérogènes, il y avait 5 élèves de chaque niveau du collège, l'objectif étant que chaque élève quitte la séance avec un cerf-volant en format A5. Nous avons réussi à tenir parole !

La seule partie proprement mathématique que j'ai pu mener à terme avec des élèves de quatrième et troisième était le calcul approché du rapport des longueurs des différents formats de papier, la fameuse racine carrée de deux. Certains découvraient quelque chose d'*extraordinaire* qui les faisait dire parfois des choses non moins extraordinaires telles que : « *Alors Monsieur, ce sont les mathématiciens qui ont inventé le papier ?* »

La découpe du papier, la taille de la flèche et de l'arc prenaient une bonne partie du temps. Les élèves reconnaissaient les difficultés rencontrées pour obtenir une courbure régulière de l'arc. Certains d'entre eux ont eu du mal à manipuler un cutter ou un couteau pour couper ou raboter un bambou.

Combat de cerf-volant

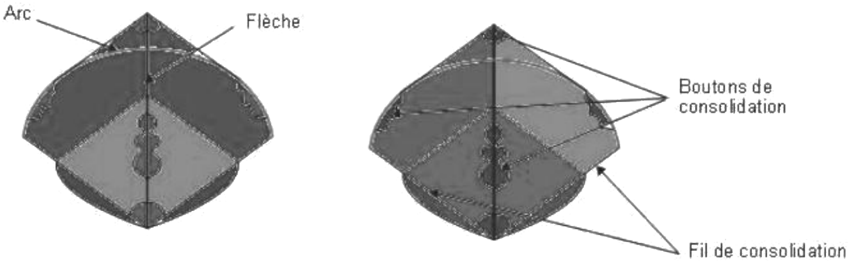
Les cerfs-volants afghans sont avant tout des cerfs-volants de combat. On doit pouvoir les diriger et les manier facilement. C'est au fil des expériences que les spécialistes ont opté pour enlever le quart des feuilles de formats choisis pour leur construction. Par exemple, on doit arriver en un laps de temps donné à leur faire faire des loopings et les mettre droits. Un cerf-volant en faisant des loopings débite plus vite du fil en le gardant le plus tendu possible. Cette situation est idéale au moment des combats. Pour les combats, on utilise particulièrement un fil enduit d'un produit conçu et préparé à base de poudre de verre avec d'autres ingrédients comme de la colle qui rendent le fil coupant. Le combat consiste à couper le fil du cerf-volant de son adversaire en l'air et à le mettre hors de son contrôle. D'où l'avantage à celui dont le cerf-volant débite plus vite du fil en le gardant tendu. Ces combats engendrent bien sûr des paris et des concours aux cours des championnats qui peuvent se dérouler maintenant toute l'année mais qui, il y a longtemps, n'avaient lieu que le vendredi, le jour férié de la semaine, pendant les mois d'hiver. Le lieu était choisi en fonction de ses vents réguliers et assez modérés loin de la ville de Kaboul.

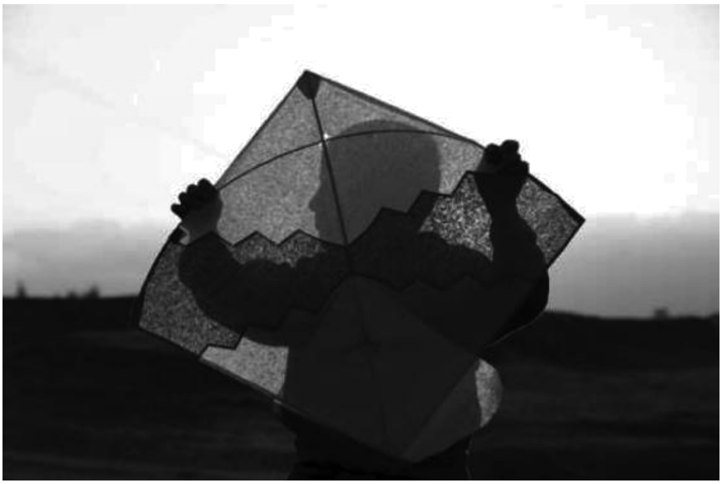
En France, en Alsace, une poignée d'Afghans ont apporté cette tradition et tous les ans ils organisent un rassemblement de cerfs-volantistes pour des combats de cerfs-volants.

Ce qui me plaît quand on fait du cerf-volant, c'est qu'on lève la tête vers le ciel. On observe un objet évoluer au-dessus de soi, le plaisir est encore plus grand si le ciel est bleu.

Le cerf-volant afghan dans la littérature

L'interdiction du cerf-volant par les Tâlebân à la fin des années 1990 a beaucoup marqué l'opinion internationale. C'était le symbole de la suppression de toute liberté, de toute joie, de toute échappatoire pour les enfants, mais aussi pour les adultes. C'est ce qui a inspiré à Khaled Hosseini son roman, *Les cerfs-volants de Kaboul,* qui a connu un succès mondial. Ce roman a lui-même été porté à l'écran, sous le même titre.





L'assistant du cervolantiste prépare l'envol du cerf-volant.