

# Un ordinateur antique

■ A. DEWDNEY

Dans cet ordinateur, des cordes et des poulies remplaçaient les composants électroniques.

Sur l'île d'Araphul, située au large de la côte Nord-Ouest de la Nouvelle-Guinée, les archéologues ont récemment découvert les restes pourrissant d'un dispositif ingénieux. Fait de cordes et de poulies, ce dispositif serait le premier ordinateur jamais réalisé par l'Homme. Le chef de l'expédition, Robert Ripley, du Collège Charles Fort,

dans l'État de New York, estime que l'appareil a été construit vers l'an 850 de notre ère.

Les Apraphuliens étaient d'excellents marins ; leurs bateaux étaient merveilleusement construits et comportaient un gréement extrêmement perfectionné. Comment l'idée de cet ordinateur leur est-elle venue ? Est-ce leur maîtrise du

maniement des câbles et des poulies qui les a conduit à l'inventer ? Les experts s'interrogent.

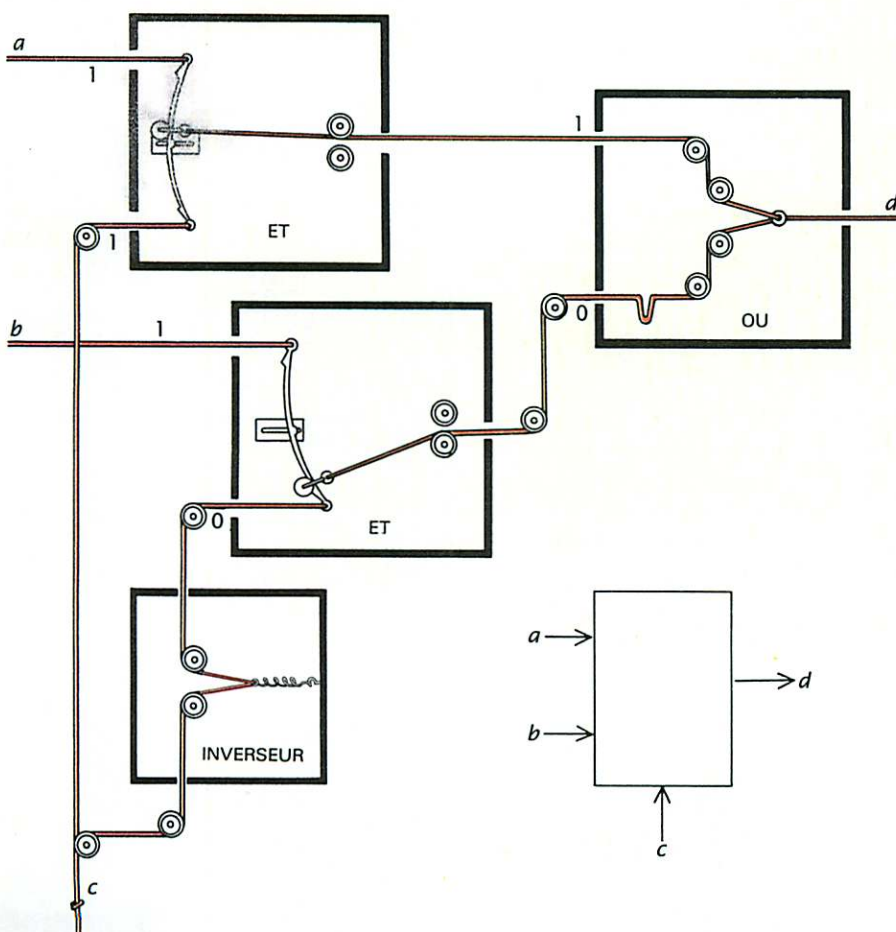
En fouillant un site qui s'étend sur plusieurs kilomètres à travers une jungle épaisse, à l'Est des monts Pulleg, les archéologues ont découvert des fragments de fibre de jute décomposée et ont relevé l'emplacement exact de poulies de bronze très corrodées et de leur accessoires. L'ordinateur antique qui vient d'être en partie reconstitué par R. Ripley et son équipe se trouve au Musée tropical des antiquités marines, à Sumatra. Cette reconstitution nous fournit une excellente occasion pour examiner les principes du calcul informatique, sans qu'il soit nécessaire d'imaginer des composants électroniques, microscopiques et mystérieux. Ici les portes logiques, les bascules et les circuits sont construits avec des cordes et des poulies ; tout est bien visible et facile à comprendre.

Comme nous, les Apraphuliens utilisaient un système de numération binaire, mais les nombres 0 et 1 correspondaient pour eux à des positions de cordes et non à des tensions électriques. Imaginons une boîte noire dont une face est percée d'un trou, et supposons que nous tenions l'extrémité d'une corde tendue qui sort de ce trou ; cette position de la corde correspond au 0. Si nous tirons sur la corde, la boîte grince et quelques décimètres de corde sortent du trou ; cette nouvelle position de la corde correspond au chiffre 1.

On représente les nombres avec plusieurs boîtes de ce type. Tout nombre compris entre 0 et 7 peut être représenté par trois boîtes (voir la figure 2). Pour les nombres supérieurs, il faut davantage de boîtes ; dix boîtes suffisent pour représenter tous les nombres compris entre 0 et 1023.

Je n'ai pas parlé d'une boîte fermée par hasard : il semble en effet que les Apraphuliens aimaient enfermer leurs réalisations dans des boîtes de bois noires et de taille variée. La construction des ordinateurs était peut-être l'apanage d'une caste technologique entretenant le respect et la peur du peuple avec de grands assemblages de boîtes noires.

L'un des dispositifs essentiels de l'ordinateur des Apraphuliens transformait le 0 en 1 et le 1 en 0 (il est plus commode de parler de 1 et de 0 que d'une corde sortie et d'une corde rentrée). Équivalent à ce qu'un électronicien appellerait aujourd'hui un inverseur, cet objet intéressant se composait d'une boîte munie d'un trou à l'avant et d'un trou à l'arrière ; quand on tire



1. Un multiplexeur : la position de la corde c détermine celui des signaux a ou b qui est transmis vers d.

la corde, sur la face avant, une longueur de corde égale sort à l'arrière. On comprend le fonctionnement de ce système quand on examine l'intérieur de la boîte : les deux cordes passent sur des poulies fixées sur un côté de la boîte et viennent s'attacher toutes deux à un même ressort.

Rectifions un point : les chiffres 0 et 1 ne correspondent pas au fait que la corde soit sortie ou rentrée, mais plutôt au sens dans lequel elle se déplace. Cela se comprend bien quand on considère une boîte qui ne contiendrait aucun mécanisme, une corde entrant par le trou situé à l'avant et ressortant par le trou situé à l'arrière. Lorsqu'on tire la corde vers l'avant, elle se déplace en direction du tireur, de la position 0 à la position 1, c'est-à-dire de la position « rentrée » à la position « sortie ». À l'arrière de la boîte, la corde se déplace de la position « sortie » à la position « rentrée » : de ce côté, c'est donc la position « sortie » qui correspond au 0 et la position « rentrée » qui correspond au 1 ; en revanche, des deux côtés de la boîte, le sens de déplacement de la corde est identique, et il constitue le paramètre pertinent.

Avec les mécanismes suivants, l'attirail informatique des Agraphuliers est presque complet. Le premier comporte deux cordes qui entrent dans une boîte. Quand au moins une de ces deux cordes est en position 1, l'unique corde qui sort à l'arrière vient aussi en position 1. Les Agraphuliers obtenaient ce résultat par des moyens ridiculement simples (voir la figure 4a). Chacune des cordes entrant sur le devant de la boîte passait sur une paire de poulies qui l'amenaient à proximité de l'autre corde ; les deux cordes s'attachaient à un même anneau, lui-même fixé à l'extrémité de la corde de sortie débouchant à l'arrière de la boîte. Quand on tire sur l'une des cordes d'entrée, ou sur les deux à la fois, le mouvement se transmet directement à l'anneau de la corde de sortie. Comme la sortie est égale à 1 si l'une des entrées au moins est égale à 1, ce système est analogue à nos portes « OU » modernes.

Les anciens Agraphuliers avaient aussi réalisé ce que l'on appelle aujourd'hui une porte « ET », au moyen de trois poulies et d'une tige cintrée (voir la figure 4b). L'une des poulies roulait sur la tige et son axe était attaché à l'extrémité de la corde de sortie. Les deux autres poulies, fixes, guidaient la corde de sortie en face du trou correspondant. Lorsque les deux cordes d'entrée sont en position 0, la tige coïncide avec un arc de cercle dont le centre est situé entre les poulies du guide de sortie. Si l'une des cordes d'entrée est tirée en position 1, l'extrémité correspondante de la tige s'écarte de sa

position antérieure et la poulie fixée à la corde de sortie roule vers l'extrémité de la tige qui n'a pas été tirée : la corde de sortie reste pratiquement dans la même position, puisque la poulie se trouve à l'extrémité de la tige qui est restée sur le cercle initial (la tige comporte en son centre une cheville glissant dans une rainure, pour éviter qu'elle ne se déplace latéralement lorsqu'une seule des deux cordes d'entrée est tirée).

Lorsque les deux cordes d'entrée sont tirées ensemble, la corde de sortie passe en position 1. Dans ce cas, la tige cintrée se translate globalement vers l'avant de la boîte ; la poulie mobile se trouve à la même distance du guide de sortie, qu'elle soit à une extrémité ou à l'autre de la tige. Ce système est une porte « ET », car la sortie ne prend la valeur 1 que si l'une et l'autre des cordes d'entrée sont en position 1.

Avec ces diverses boîtes, on peut construire tous les circuits d'un ordinateur, notamment ceux qui exécutent les opérations arithmétiques, ceux qui interprètent les codes d'instructions et ceux qui commandent la circulation des informations entre les différentes unités.

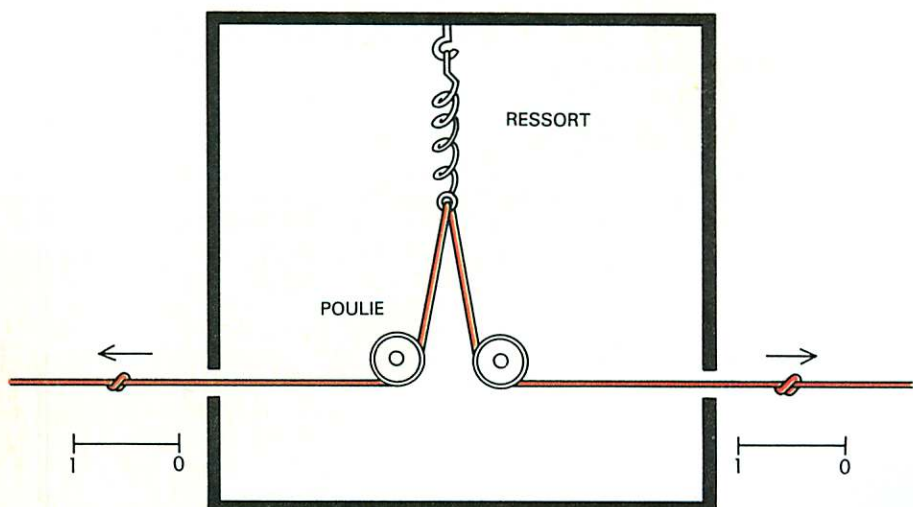
Les ordinateurs agraphuliers étaient-ils effectivement construits selon ces principes ? Les informations dont nous disposons sont trop fragmentaires pour que nous l'affirmions, mais les archéoinformaticiens de l'équipe de R. Ripley pensent avoir découvert, au cours de leurs fouilles, un multiplexeur simple. Dans les ordinateurs électroniques, un multiplexeur sert de commutateur et permet d'envoyer sur un même fil des signaux provenant de diverses sources. Le multiplexeur le plus simple aurait par exemple deux entrées désignées par *a*

BOÎTE 1	BOÎTE 2	BOÎTE 3	NOMBRE
ENTRÉE	ENTRÉE	ENTRÉE	0
ENTRÉE	ENTRÉE	SORTIE	1
ENTRÉE	SORTIE	ENTRÉE	2
ENTRÉE	SORTIE	SORTIE	3
SORTIE	ENTRÉE	ENTRÉE	4
SORTIE	ENTRÉE	SORTIE	5
SORTIE	SORTIE	ENTRÉE	6
SORTIE	SORTIE	SORTIE	7

2. Représentation des nombres chez les Agraphuliers.

et *b*. À tout instant, chacune des entrées peut se trouver dans l'état 0 ou dans l'état 1. Lequel de ces deux signaux sera dirigé vers la sortie *d* ? Tout dépend de l'état d'un fil de commande *c* : lorsque *c* reçoit le signal 1, c'est le signal provenant de l'entrée *a* qui est dirigé vers la sortie ; quand il reçoit un 0, c'est le signal *b* qui est transmis (voir la figure 1).

Le multiplexeur agraphulien à deux entrées qui a été reconstitué se compose de deux portes « ET », d'une porte « OU » et d'un inverseur. Cet objet est si simple que chacun pourrait en construire un chez lui ; il lui suffira de se précipiter chez le quincaillier pour y acheter la corde et les poulies nécessaires. Quoi qu'il en soit, il est facile de suivre le fonctionnement de cet ensemble sur la figure 1. En haut à gauche, les deux cordes d'entrée *a* et *b* entrent chacune dans leur porte « ET ». La corde de commande *c* se subdivise en deux : l'un des brins pénètre directement dans la seconde entrée de la porte recevant le signal *a* ; l'autre traverse un inverseur et pénètre ensuite dans la seconde entrée de la porte « ET » du signal *b*. Si l'on maintient la corde *c* en position 1, toute séquence de 0 et de 1



3. L'inverseur agraphulien.

appliquée à la corde *a* sera fidèlement transmise à travers la petite porte « ET », puis à la porte « OU » ; les signaux appliqués à la corde *b* seront bloqués par la porte « ET » du bas. Si la corde *c* revient en position 0, l'inverseur transmet un 1 à la deuxième porte « ET » ; ce sont donc les signaux de la corde *b* qui seront transmis et ceux de la corde *a* qui seront bloqués.

La porte « OU » sert simplement à regrouper les deux sorties des portes « ET ». Examinons la suite d'événements se produisant quand le signal *a* est transmis. Si la corde *a* est relâchée en position 0, la poulie mobile de la boîte « ET » roule à l'extrémité supérieure de la tige ; un signal 0 est alors transmis à la sortie en direction de la boîte « OU ». L'autre corde d'entrée de cette même boîte est déjà en position 0 (corde détendue). La tension naturelle de la

corde de sortie *d* entraîne celle-ci en position 0. Si l'on tire à nouveau sur la corde *a*, la tension se transmet par la voie qui vient d'être décrite, ce qui rétracte aussitôt la corde *d*.

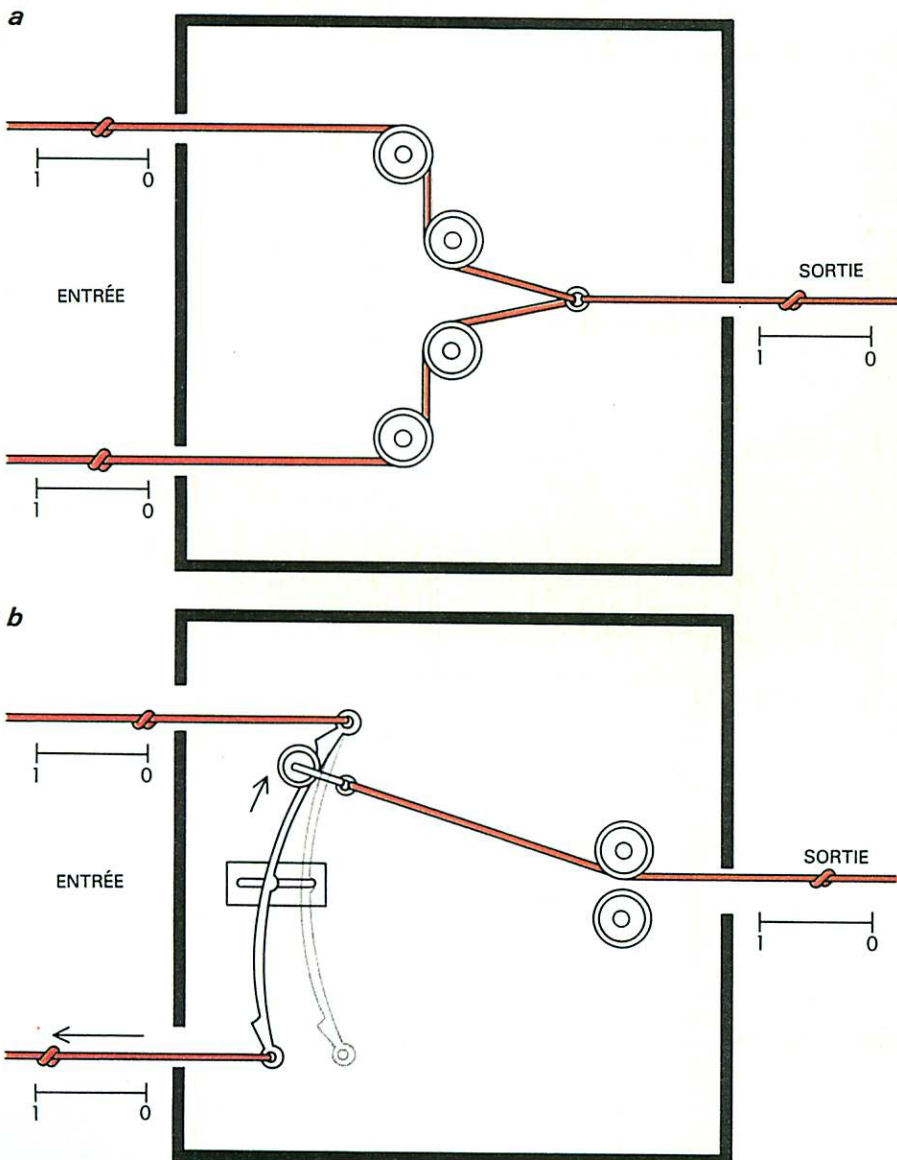
Cet aspect des cordes détendues m'oblige à envisager les moyens utilisés par les Agraphuliers pour assurer la tension des cordes de l'ordinateur. Parfois, comme dans le cas de la porte « OU » de l'exemple précédent, une corde est détendue. Il y a donc un risque que cette corde s'échappe des poulies sur lesquelles elle passe. R. Ripley m'a indiqué que les Agraphuliers avaient résolu ce genre de difficulté au moyen d'un inverseur spécialement modifié par l'emploi d'un ressort faible ; chaque fois qu'une corde risquait de se détendre, un « inverseur faible » était installé pour maintenir la tension minimum correspondant au signal 0.

Un ordinateur ne peut fonctionner sans mémoire. Celle de la machine agraphulienne se composait de centaines d'éléments que nous appellerions aujourd'hui des bascules. Là encore, la conception des Agraphuliers est très simple. Chaque bascule est actionnée par deux cordes, l'une de commande et l'autre de réinitialisation (voir la figure 5). Les deux cordes sont reliées par un ensemble de trois poulies, de telle façon que lorsqu'on tire la corde de commande en position 1, la corde de réinitialisation entre dans la boîte et prend la position 0. Cette dernière corde est couplée à une barre coulissant verticalement, à l'arrière de la boîte. La corde de sortie, qui prolonge la corde de commande, est munie d'une boule et passe dans une fente pratiquée dans l'extrémité supérieure de cette barre coulissante. Lorsque l'on tire sur la corde de commande, la boule passe par dessus l'extrémité fendue de la barre, et la corde de sortie est bloquée lorsque la corde de commande arrive à la fin de sa course.

La corde de sortie est alors maintenue dans sa position jusqu'à ce que l'immense ordinateur à câbles actionne la corde de réinitialisation. La barre coulissante se dégage en libérant la boule, et la corde de sortie revient en position 0 ; dans cet état, la bascule possède en mémoire la valeur 0.

Comment l'ordinateur agraphulien utilisait-il ces éléments de mémoire ? L'équipe de R. Ripley découvrit avec étonnement, au milieu du vaste complexe informatique agraphulien, un grand champ carré d'environ un kilomètre de côté, complètement envahi par la végétation. Plusieurs milliers de boîtes de bascule, aux trois quarts pourries, y étaient enterrées, en rangées de huit. Avec l'aide de ses archéoinformaticiens, R. Ripley comprit qu'il était en présence de la mémoire principale de l'ordinateur. Chaque rangée de huit boîtes formait un « mot » de mémoire de huit bits, de la même façon que les trois boîtes citées précédemment auraient constitué un mot de trois bits : une rangée de trois bascules, placées respectivement dans les positions 1, 0, 1, par exemple, représente le nombre 5.

Voici comment l'ordinateur à cordes et à poulies pouvait avoir accès au contenu de cette mémoire. Chaque bascule d'une même rangée avait sa corde de sortie reliée à l'entrée d'une porte « ET ». L'autre entrée de la porte « ET » recevait une corde particulière servant à connaître le mot mémorisé. Lorsqu'on tirait sur ces cordes, les signaux obtenus à la sortie des portes « ET » correspondaient exactement aux positions des bascules. Les cordes de



4. La porte « OU » (a) des Agraphuliers et la porte « ET » (b).

sortie des portes « ET » amenaient les signaux à un grand ensemble de portes « OU » et, de là, à un groupe particulier de bascules que l'on appelle un registre. Une simple traction sur la corde correspondant au mot que l'on souhaitait interroger permettait de retrouver dans le registre la même configuration binaire que celle qui se trouvait dans les éléments de mémoire.

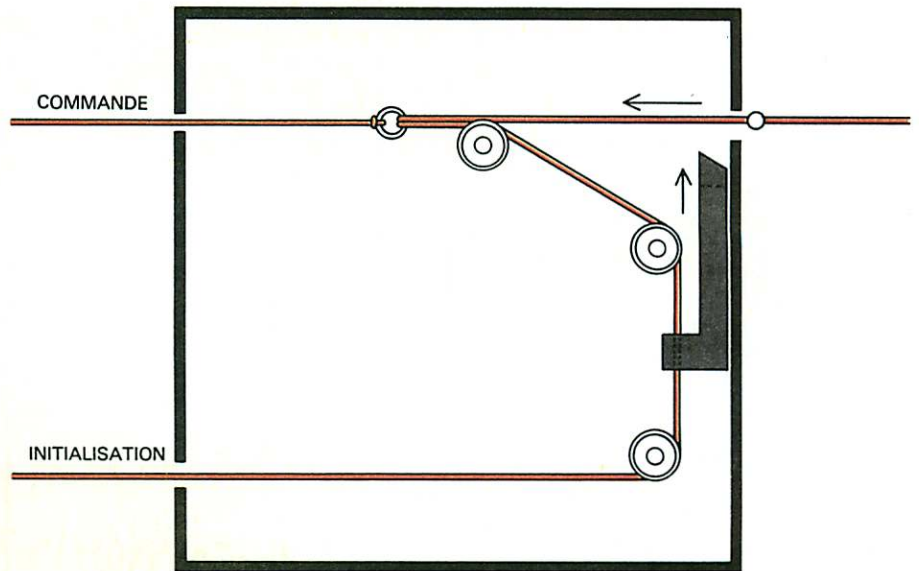
L'unité centrale de l'ordinateur était capable de transférer l'information non seulement de la mémoire vers les registres, mais aussi d'un registre à un autre. En particulier, l'emploi de multiplexeurs et de démultiplexeurs (qui effectuent l'opération inverse de celle des multiplexeurs) permettait de transférer l'information d'un registre dans tout autre registre désigné pour la recevoir. Parmi ceux-ci, un registre particulier, que nous appellerons l'unité arithmétique, permettait de combiner plusieurs informations conformément aux règles de l'addition, de la soustraction et de la multiplication.

On pense que l'ordinateur apraphulien était programmable. Dans ce cas, une partie de sa vaste mémoire devait servir à enregistrer le programme : les instructions d'un programme ne sont en effet qu'une suite de 0 et de 1 que l'on peut extraire de la mémoire par le même processus que celui qui a été décrit précédemment. Au moment voulu, chaque configuration binaire était transmise à un registre d'instruction, puis interprétée par l'unité logique de l'ordinateur des Apraphuliens.

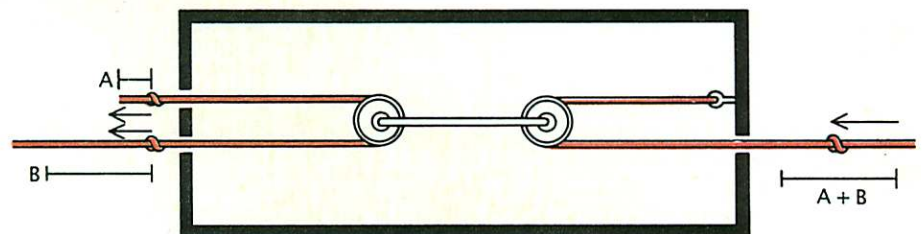
Il est fort dommage que je ne puisse faire plus dans cet article que d'évoquer la merveilleuse complexité de la machine des Apraphuliens. Quel spectacle étonnant devait être le fonctionnement de cet ensemble !

La longueur des cordes utilisées dans l'appareil était considérable, et aucun être humain ne devait avoir assez de force pour manipuler directement les leviers de commande. La présence de squelettes d'éléphants dans le complexe apraphulien montre clairement d'où venait la puissance mécanique nécessaire au fonctionnement de l'ordinateur. De gros ressorts maintenaient la tension nécessaire sur les cordes de sortie ; il est probable que des drapeaux attachés à ces dernières permettaient aux membres du clergé technologique de lire les résultats des calculs en cours.

Quelle différence entre l'ordinateur apraphulien et le nano-ordinateur décrit en mars dernier, dans cette rubrique (*Le petit monde de la nanotechnologie*) ! La machine à cordes vient évidemment d'un passé lointain, tandis que le nano-ordinateur appartient à un avenir incer-



5. La bascule apraphulienne utilisée comme élément de mémoire.



6. Un additionneur analogique apraphulien.

tain. La première est énorme, elle couvre des hectares de terrain ; le second est incroyablement petit puisqu'il n'occupe qu'un millième de la surface du noyau d'une cellule du corps humain. Le concept à lui seul de chacune de ces machines est comme un tremplin qui permettrait d'entrer dans un royaume de fiction où cohabitent la science et le divertissement. Pensons, par exemple, à ce rêve permanent de la machine intelligente. Nous sommes préparés à accepter l'idée d'un ordinateur qui pense, dans la mesure où nous savons que nos propres pensées ont pour principal support des signaux électriques.

En principe, n'importe quel ordinateur moderne (avec ses logiciels) est réalisable avec les méthodes apraphuliennes, de sorte que tout organe d'intelligence artificielle, actuel ou futur, peut être construit à l'aide de cordes et de poulies. Pouvons-nous imaginer sous cette forme l'ordinateur HAL 9000, la machine paranoïde du film *2001, l'Odyssée de l'espace* ? Sommes-nous prêts à admettre qu'une énorme bâtisse pleine de cordes et de poulies pourrait être aussi intelligente que nous ?

Ne quittons par l'île d'Apraphul sans jeter un coup d'œil sur son passé :

comment cet énorme ordinateur est-il apparu ? Ses ancêtres furent certainement des machines analogiques. La figure 6 représente un additionneur analogique composé de deux cordes et de deux poulies. Les deux extrémités de la première corde entrent par deux trous situés à l'avant de la boîte ; à l'intérieur, la corde passe sur une poulie dont l'axe est solidaire de l'axe d'une deuxième poulie. La deuxième corde passe sur cette deuxième poulie ; l'une de ses extrémités s'attache à la paroi arrière de la boîte, l'autre ressort par un trou traversant cette même paroi. Les lecteurs pourront s'amuser à découvrir par eux-mêmes comment cette machine permet d'additionner deux nombres. Si les deux cordes d'entrée sont tirées de longueurs respectivement égales à  $a$  et  $b$ , la corde de sortie se déplace d'une longueur égale à  $a + b$ .

Très bien, mais comment les Apraphuliens ont-ils réalisé la multiplication analogique ? J'essaierai de publier la plus simple des réponses qui me seront envoyées. À ce propos, je dois demander un peu de patience à tous ceux qui m'ont écrit et qui n'ont pas reçu de réponse : je suis encore en mesure de lire mon courrier, mais le nombre important des lettres reçues ne me permet pas de répondre à tous. ■