

12

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

21 Numéro de dépôt: **88420279.7**

51 Int. Cl.<sup>5</sup>: **E04B 1/19**

22 Date de dépôt: **08.08.88**

30 Priorité: **06.08.87 FR 8711389**  
**29.01.88 FR 8801222**  
**27.06.88 FR 8808712**

71 Demandeur: **Juillet, Christian**  
**Les Broses BIBOST**  
**F-69690 Bessenay(FR)**

43 Date de publication de la demande:  
**11.04.90 Bulletin 90/15**

72 Inventeur: **Juillet, Christian**  
**Les Broses BIBOST**  
**F-69690 Bessenay(FR)**

84 Etats contractants désignés:  
**AT BE CH DE ES FR GB GR IT LI LU NL SE**

54 **Structures articulées.**

57 L'invention a pour objet des structures articulées qui peuvent être recouvertes d'une peau tendue. Leur définition est guidée par la préoccupation d'améliorer leur fonctionnement sous diverses sollicitations. En particulier, vis à vis de leur fonction suspension, elles abandonnent les formes prismatiques lesquelles présentent des arêtes parallèles au champ de forces, au profit de pyramides sur l'enveloppe périphérique. De même, pour un champ de forces radial, guidage en rotation, la déformation sera axiale ce qui est réalisé en localisant les éléments élastiques selon une hélice.

Une ligne de structures est caractérisée par une couronne de polygones ayant p côtés repartis autour d'un polygone central ayant p-1 côtés, étant en particulier un pentagone. Dans leur version déformable, ces structures constituées de modules ont comme application la confection de rotors divers, voire à diamètre variable, flexible de transmission mécanique.

Une ligne de structures à barres égales est caractérisée par le fait qu'elle renferme un assemblage concentrique de cadres dont la hauteur va en doublant de l'un à l'autre.

Une série de plaques composée d'assemblage de tétraèdres et de pyramides rendues isostatiques par des suppressions de barres est caractérisée par la présence de chanfrein dans des coins de poutour dentelé, de trou et/ou d'octaèdre judicieusement placé.

Un procédé de mise en oeuvre de matière continue consiste à faire changer d'état la matière ambiante par une pompe à chaleur située en région centrale.

Une structure spécifique consiste en deux flasques formées chacune d'une couronne pentagonale dont le déphasage angulaire peut être exploité pour de nombreuses applications.

**EP 0 362 452 A2**

## Structures articulées

L'objet de l'invention est une gamme de structures isostatiques spatiales dont les applications sont essentiellement des systèmes de suspension et des structures tournantes déformables.

Deux éléments sont considérés rigides dans cette structure, l'habitacle ou la machine à suspendre, le socle ou le massif -éventuellement les roues- reposant sur le sol.

5 Ces deux éléments sont reliés par des barres articulées tous azimuts grâce à des rotules. Jusqu'à présent la suspension se faisait par l'interposition directe entre l'élément pesant à suspendre et l'élément en contact avec le sol d'un élément élastique travaillant à la compression, ressort hélicoïdal, ou à la flexion, lames. Si l'interposition n'était pas directe, elle se faisait par l'intermédiaire de levier, cependant, l'élément élastique s'opposait la plupart du temps à une déformation verticale.

10 Il y a des exceptions: la 2CV CITROEN. Cette exception porte également sur la non indépendance des roues puisqu'il y a un pot de suspension pour les roues situées d'un même côté.

Cependant la règle générale en matière automobile comme ailleurs est que chaque roue, chaque appui possède un élément élastique, ressort ou silent-block ou pièce d'appui spécifique qui est sollicité lors de l'expression locale d'un déplacement de l'élément suspendu par rapport à son support.

15 La suspension proposée permet une répartition des déplacements d'un appui sur les autres appuis. Il n'y a qu'un seul élément élastique qui est sollicité quelque soit l'appui concerné par un déplacement. Sa déformation provoque le déplacement du centre de masse de la structure. On doit pouvoir compter sur la même répartition en ce qui concerne les efforts et donc avoir des réactions égales sous chaque appui. Cette égalité est vérifiée lorsque l'on a une symétrie de révolution. On proposera une solution pour atteindre  
20 l'égalité sous chaque appui lorsqu'il n'y a pas symétrie de révolution

La méthode qui s'impose pour calculer cette suspension isostatique est le théorème de réciprocité.

La suspension est donc un ensemble de structures isostatiques construites autour d'un élément central élastique doté d'un amortissement adéquat articulé sur l'ensemble suspendu et sur son support de façon telle que, essentiellement les articulations soient situées dans deux plans parallèles perpendiculaires au  
25 champ de force prépondérant.

Ces structures sont d'un point de vue géométrique au nombre de trois suivant que les articulations sont disposées dans chaque plan en triangle, en quadrilatère, ou en pentagone.

Il convient de remarquer que pour que la structure soit élastique et fasse donc fonction de suspension, il suffit qu'une seule barre soit élastique celle-ci pouvant a priori être localisée n'importe où. Ce n'est pas le  
30 choix que nous avons fait puisque nous avons localisé au centre les barres élastiques lesquelles forment un contour fermé et donc peuvent être remplacées par un solide de matière continue. Cependant sur l'axe du champ de force on peut, dans une variante avoir, dans l'ordre, l'élément suspendu, son support, la suspension, ou même l'ordre inverse.

Par ailleurs, on peut noter que pour contrôler la déformation il faut non seulement localiser les éléments  
35 ayant une fonction élastique mais encore s'assurer de la rigidité des autres.

Avant d'aborder les questions mécaniques puis de choix des matériaux et les procédés de fabrication envisageables il convient d'abord de définir les structures géométriquement. Structures dont les articula-  
tions situées dans les plans parallèles perpendiculaires au champ de force sont disposées en triangle.

40 Comme on peut le voir sur la figure 1a, les sommets des deux triangles sont reliés à la fois par des barres perpendiculaires à leur plan formant ainsi un prisme et par des barres formant une pyramide sur chaque face. Les sommets des pyramides sont reliés par trois barres qui concourent au centre de gravité du prisme. Inutiles. (figu.a feuil 1/38). Sur cette figure comme sur la figure 1b, il s'agit de triangle équilatéral, le centre de gravité du prisme est aussi le centre de gravité de l'ensemble. Il conviendrait de dire plus exactement, le centre de masse.

45 Sur la figure 1b, on voit que les pyramides sont éventuellement très plates. L'élasticité de la structure peut résider uniquement dans les tirans ou les ressorts compressibles GI, GJ, GK. Il peut en effet y avoir soit un champ de force, la pesanteur ayant tendance à rapprocher A B C de son support A' B' C', soit des efforts tendant à écarter les deux triangles. (figure 1b, feuille 1/38).

50 Sur la figure 2a, il n'y a plus de barre reliant directement les deux triangles. Les sommets des pyramides sont reliés par des barres formant un triangle. (fig. 2a, Fe.2/38). Comme pour la structure précédente, on peut vérifier l'isostaticité en calculant 3 nombre d'articulations - N nombre de barres.

Figure1:  $3 \times 10 - 24 = 6$  figure 2:  $3 \times 9 - 21 = 6$

Sur la figure 2, le triangle I J K est devenu un cercle. Pour une déformation tendant à écraser la structure, il y a flexion des arcs.

Dans une variante, il peut devenir un disque ou mieux, un ellipsoïde de révolution admettant la perpendi-

culaire au plan de la figure comme axe c'est à dire une forme d'oignon. Figure 2b. de la feuille 2/38.

On peut déjà sortir du domaine géométrique pour dire que ce cœur élastique peut être en matière synthétique ou en caoutchouc. Elle peut être constituée de plusieurs peaux.

Pour l'amortissement de la structure il faut que les vibrations du cœur s'amortissent. Pour cela on  
5 utilise dans une variante l'écoulement d'un fluide, en particulier à travers le réseau de canaux interne à la matière du cœur élastique lequel a une structure d'éponge.

Sur la figure 3a, les sommets des pyramides sont à l'extérieur du prisme. La figure 3b, montre que les  
barres peuvent être des fuseaux. Ici les fuseaux peuvent éventuellement se limiter à deux arcs dont la  
section est verticale et évolue suivant une courbe de Gauss selon cette direction lorsqu'on parcourt l'arc.  
10 Tandis que la hauteur de la section diminue en allant du milieu de l'arc vers les extrémités, sa largeur  
augmente selon le même mode. Figures 3a et b de la feuille 3/38.

Les figures 4 diffèrent des figures 2 par le fait que les sommets de pyramides sont à l'extérieur.

Dans les figures 3 et 4, les sommets de pyramide I J K se trouvent sur le cylindre circonscrit ou prisme. On  
peut remarquer que dans la figure 4 il y a une périodicité de  $\frac{1}{6e}$  de tour au niveau de la répartition des  
15 barres, sans tenir compte de leurs orientations pour les moitiés de côté du triangle équilatéral central,  
lesquelles n'ont aucune incidence sur la répartition des masses.

Les arcs IJ, JK, KI ne passent pas par les sommets A,B,C ils sont situés dans un plan autre, en principe  
parallèle à A B C. (figure 4 de la feuille 4/38).

Plus la périodicité au niveau de la répartition des masses est une petite fraction de tour, plus la structure  
20 sera adaptée grâce à sa rondeur à des applications dans lesquelles elle est en rotation Ces applications  
seront développées ultérieurement

En ce qui concerne la suspension, on peut remarquer qu'elle est d'autant plus souple que les  
pyramides sont hautes.

Cependant pour les variantes avec barres perpendiculaires aux plans des triangles donc parallèles au  
25 champ de force principal, ces barres risquent de s'opposer instantanément à tout déplacement sans mettre  
en jeu les autres barres en particulier celles devant avoir une fonction élastique qui ne sont pas  
nécessairement les mêmes. Il convient donc d'incliner ces barres de préférence de  $45^\circ$  par rapport au plan  
vertical radial passant par le milieu de chacune d'elles. Les pyramides sont alors une base déformée non  
30 plane. Afin d'éviter la rotation d'un triangle par rapport à l'autre d'ond, dans la pratique, de l'élément  
suspendu par rapport à son support, entre que, soit l'un soit l'autre puisse être dans une variante évoquée  
solidaire des sommets des pyramides, il est possible de doubler la suspension comme le montre la figure 5  
laquelle fait apparaître des chevrons: A A' A'', B B' B'', C C' C''. (figure 5 de feuille 5/38).

Le deuxième type de structure conciste en un carré sur les côtés duquel s'articulent les côtés de quatre  
pentagones adjacents si bien que ne part qu'une barre de chaque sommet du carré. La structure ainsi  
35 décrite, figure 6, (feui.6/38) présente 16 barres et 12 articulations donc n'est pas isostatique:  $12 \times 3 - 16 = 20$   
au lieu de 6.

Il y a des quantités de façons de rendre cette structure isostatique selon les applications souhaitées.

Dans le cas d'une ossature de bâtiment, on ne souhaite pas une suspension élastique mais la  
possibilité d'une déformation non destructrice de cette ossature pour le cas où il y aurait déformation du  
40 sol. Pour les tremblements de terre, la rapidité des déformations engendrera des forces d'inertie impor-  
tantes dans le déplacement des barres. Il faudra que la structure comporte des zones élastiques dotées d'un  
amortissement adéquat.

Dans cette application ossature, on peut considérer le sol comme un ensemble de barres; puisqu'il y a  
quatre appuis-articulations le sol équivaut à 6 barres nombre de côtés d'un tétraèdre. Il sera préférable que  
45 ces appuis ne soient pas dans un même plan.

Isostaticité  $12 \times 3 - 16 - 6 = 14$

Il faut trouver à placer N'barres et n'articulations tel que  $3n' - N' = -8$  pour retrouver  $3n - N = 6$

$n' = 4 \quad N' = 20 \quad 3 \times 4 - 20 = -8$

Les quatre pentagones ont leurs cinq sommets, chacun se réunissant en quatre pyramides. Celles-ci  
50 peuvent être rentrantes ou sortantes. Figure 7. (feuille 7/38).

Trois pentagones seulement sont munis d'une pyramide mais aussi le carré, lequel possède une diagonale  
partageant la pyramide en deux tétraèdres. Figure 8. (feuille 7/38).  $n' = 2 \quad N' = 14 \quad 3 \times 2 - 14 = -8$

Deux pentagones opposés ont leurs cinq sommets réunis en deux pyramides ayant leur sommet commun.  
Une pyramide est construite sur le carré. Figure 9. (feuille 8/38).

55 Les pyramides pentagonales sont reliées par une barre, de même leurs sommets sont reliées chacun par  
une barre au sommet de la pyramide carrée. D'où:  $n' = 3 \quad N' = 17 \quad 3 \times 3 - 17 = -8$  Figure 10. (feuille 8/38).

Une double pyramide est construite sur le carré. Le sommet de l'une d'elles est relié aux quatre appuis ou  
aux quatre sommets libres de pentagone. Deux barres joignent deux sommets, libres ou intermédiaires, de

- pentagones entre eux, soit dans le plan de ceux-ci soit en diagonale. Figure 11. Les quatre barres partant du sommet de l'une des pyramides peuvent être remplacées par quatre barres, une dans le plan de chaque pentagone. (figure 11 de la feuille 9/38).  $n' = 3$   $N' = 17$
- Trois pyramides pentagonales plus deux barres unissant un des sommets aux deux autres. Quatre pyramides à quatre barres, trois adjacentes, huit barres, une indépendante, quatre barres.
- 5 Deux barres issues de deux sommets du carré et se rejoignant en une articulation d'où partent trois barres rejoignant chacun des sommets des pyramides et la nouvelle articulation.
- Trois pyramides adjacentes à quatre barres, huit barres, la quatrième a cinq barres son sommet est relié à celui des pyramides adjacentes par une barre.
- 10 Au total:  $N' = 8 + 5 + 1 = 14$   $n' = 2$   $3 \times 2 - 14 = -8$
- Cette barre serait la barre 2 dans la figure 12 où seraient supprimés 1', 3', NB, ND. (figure 12 de la feuille 9/38).
- Quatre pyramides, deux à deux adjacentes ayant chacune quatre barres. 12 barres.
- Deux barres terminent le tétrèdre que forment les sommets des deux ensembles de pyramides avec deux points communs à ces deux ensembles non reliés. Deux de ces points peuvent être des sommets diagonalement opposés du carré. Les barres sont alors SS' et AC. Figure 13. (de la feuille 10/38).  $n' = 1$   $N' = 11$   $3n' - N' = -8$
- Une articulation centrale d'où part une barre vers chaque articulation moins une égal 11 barres.  $n' = 0$   $N' = 8$
- 20 Une pyramide à base carrée, quatre barres ceinturant les pentagones.
- Les rapports entre les longueurs de barres peuvent a priori être quelconques. Ainsi on pourra avoir un carré très grand et des pentagones irréguliers très plats. Les pyramides elles-mêmes pourront être très écrasées. Structure construite autour d'un carré, où d'un quadrilatère symétrique par rapport au plan passant par le sommet des pentagones anciennement les appuis.
- 25 Supposons la structure possédant deux pyramides opposées ayant un sommet commun surmontée de la pyramide à base carrée déjà évoquée  $3 \times 2 - 14 = -8$ . Pyramides non représentées.
- Il ne semble pas nécessaire de décrire ces structures isostatiques sans la contribution du sol, une catégorie consistant en des structures déjà définies dans lesquelles on remplace le sol compris entre les quatre appuis par les six barres d'un tétraèdre.
- 30 Dans une variante importante, quatre barres ceintureront les quatre appuis, le sol faisant fonction des deux arêtes manquantes. Figures inutiles.
- Dans une autre variante, le sol fera fonction de quatre barres et deux barres seulement seront mises en place. Il semble que ces solutions intermédiaires soient assez judicieuses.
- Pour rendre isostatiques sans le sol les structures construites avec un carré, on peut placer six barres dans chacune des variantes présentées à différents endroits en se veillant à ne pas avoir une hyperstaticité interne pour une partie de la structure alors que globalement la structure ne serait pas stable.
- 35 Par exemple dans la structure considérée pour définir la structure symétrique, il suffirait de trianguler, en mettant deux barres dans chaque, trois pentagones.
- Une structure de ce type, c'est à dire construite avec un carré et quatre pentagones est à distinguer des autres. Il s'agit de la structure dans laquelle les côtés du pentagone opposés au côté commun avec le carré sont dans le prolongement l'un de l'autre. La structure a alors la forme d'un cadre, figure 16a, et peut ainsi mieux convenir à la mise en oeuvre lorsqu'il s'agit de bâtiment ou d'ouvrages de génie civil puisque 12 barres sur 16 sont horizontales. (figure 16a de la feuille 11/38).
- Lorsqu'il s'agit avant déformation de pentagones réguliers la structure se présente sous la forme de deux carrés de côtés a et 2a double du précédent, possédant une articulation au milieu, relié par quatre barres arêtes d'un tronc de pyramide. La pente de ces arêtes dans le plan vertical diagonal est de 1. Elles sont donc inclinées à  $45^\circ$  dans ce plan. Dans le plan médian la pente est de  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  l'angle de  $35^\circ 17'$ .
- On peut avoir dans une variante des rectangles au lieu d'un carré; il suffit de se veiller que les côtés des pentagones opposés au côté du rectangle soit dans un rapport constant pour tous les pentagones.
- 50 La figure 16b et 16a montre un agencement de cadres intéressant. La figure peut être doublée par une symétrie par rapport au plan horizontal. (figure 16b de la feuille 12/38). Sur ces figures ne sont pas représentées les barres qui permettent à la structure d'être isostatique.
- Les barres reliant les quatre articulations d'un cercle à quatre des huit articulations de l'autre cercle sont dans une première variante inchangées.
- 55 Pour rendre la structure isostatique, il faut rajouter deux barres dans chaque quart de cône lesquelles devront suivre la surface conique.
- Une autre solution consiste à placer une articulation au centre du grand cercle et à relier toutes les articulations sauf une.

Pour des raisons de symétrie on supprime deux barres dans le prolongement l'une de l'autre et parallèles à un diamètre du petit cercle passant par deux articulations lequel est alors aussitôt matérialisé par une barre. Ces dispositions valent pour la deuxième variante où les barres sont remplacées par des arcs de cercles, des quarts de cercle dont les centres sont situés à la verticale des articulations du petit cercle et dont le rayon est égal à  $a\sqrt{2}$ .

La longueur de ces barres résultant du même calcul est égale à  $1,1107a$ . Cependant, en ce qui concerne les barres de stabilisation à placer, selon le mode décrit plus haut, seulement quatre barres auront cette longueur, les autres ayant leur longueur multipliée par  $\sqrt{2}$ . Il n'est pas possible de respecter notre préoccupation de longueurs égales. Les barres reliant les carrés devenus des cercles, doivent devenir des arcs de cercle de longueur  $1,107l$ . Les articulations appartenant aux deux cercles et situées dans un même plan vertical appartiennent à un cercle de rayon égal au rayon du plus grand cercle.

La figure 16e présente une structure construite à partir de deux rectangles de largeur  $a$  et de longueur  $2a$  situés dans deux plans parallèles et formant une croix en vue de dessus. Ces deux rectangles font apparaître entre eux les mêmes pentagones aplatis que les carrés dans la figure 16a. (figure 16e de la feuille 13/38).

La figure 16f met en évidence que l'enveloppe de la structure présentée ci-dessus s'obtient en prenant une tranche de tétraèdre régulier parallèlement à une arête laquelle correspond à la tranche centrale d'épaisseur un tiers de l'apothème. (figure 16f de la feuille 15/38).

Les figures 16h et 16i présentent la même structure, laquelle peut avoir l'épaisseur d'un plancher ou celle d'un étage, rendue isostatique par des barres de stabilisation. Dans la figure 16i, toutes les barres ont la même longueur. Dans la figure 16i, on a cherché avant à avoir des plans perpendiculaires à ceux des deux rectangles: AIB, BJC, C'D'B, DLA. (figures 16h et i de la feuille 14/38)

Les figures 16j et 16k présentent des structures instables auxquelles il ne manque qu'une seule barre, laquelle viendra prendre sa place lorsque les structures modules seront assemblées comme le montre la figure 17, afin de réaliser une plaque qui pourra trouver sa place dans toute construction. Il est à noter que la structure élémentaire peut en elle-même trouver une application: il s'agit de la réalisation de pont autoroutier. (figures 16j et k feuille 16/38). (figure 17 de la feuille 17/38).

Avant de présenter cette plaque articulée, dans le but d'englober le plus de solutions de stabilisation de la structure articulée élémentaire, il convient de dire que l'on peut adapter celles présentées dans les figures 9 à 13, la pyramide de base carrée pouvant se construire en joignant, à un même point qui sera le sommet de la pseudo-pyramide, les extrémités de deux des segments suivants: AB, CD, A'D', B'C'.

La figure 17 présente donc l'assemblage de quatre structures élémentaires ou modules. Tous les points désignés représentent des articulations desquelles sont solidaires toutes les barres y aboutissant.

On constate qu'il existe entre ces quatre modules une double pyramide de sommet S: S A' B' C' D'' au dessus, S E''' F''' G''' H au dessous. Pour cette bonne vision de la figure, il faut savoir que les rectangles ABCD, A' B' C' D' sont au-dessus et que les rectangles EFGH sont au-dessous.

Pour stabiliser les structures 16j et 16k, il suffit de relier le sommet S à quatre sommets homologues ce qui fera une barre de plus par module et rétablira l'égalité  $3n-N=6$ .

On aura donc un treillis à mailles carrées. Pour pouvoir précontraindre la structure, il suffit de placer les barres A''H, B'E''', C F', D''' G' et de les mettre en tension. Si l'on raccourcit ces barres donc l'épaisseur de la plaque on augmentera par là même sa surface.

Il convient maintenant de définir les bords. Les modules étant disposés tels que leurs bords soient à  $45^\circ$  par rapport à ceux de la surface à couvrir, les modules d'angle sont tels celui représenté par la figure 16g. La plaque perpendiculaire à celle à laquelle appartient le module 16j est en dents de scie, sa section est A' D' D' A B B'. La partie de gauche de A' D' est à l'extérieur de la plaque parallèle au plan de la feuille. Deux éléments identiques au module 16g pouvant avoir une longueur plus grande selon AD sont assemblés par leurs articulations à priori perpendiculairement au plan de la feuille. Ces éléments peuvent se situer aussi bien au dessous qu'au dessus de ce plan. On peut remarquer qu'en B', la paroi aura une épaisseur quasiment nulle mais sera articulée. Erreur: remarque annulée, il y a continuité avec le module adjacent.

Dans une variante, il y a continuité de la plaque au-delà de la plaque perpendiculaire. Ceci afin de ne pas provoquer de flexion dans cette plaque que l'on suppose verticale. Il y aura donc équilibrage sur l'appui et des portées égales de chaque côté. Cela implique d'avoir, au-delà de l'appui, pour des raisons de compatibilité des modules construits sur des rectangles  $a, 1,5a, 1,5a, 2a$ . Cela ne semble pas la meilleure solution et il est préférable que la plaque continue soit associée à des poteaux se terminant par une pyramide telle S E''' F''' B' H. Ces poteaux peuvent être composés d'éléments pyramidaux et de pavés tels A' B' C' D' G' H pour éviter leur flambement.

Dans ces conditions, pour que les éléments en bordure de plaque ne travaillent pas différemment des autres, il convient de désolidariser les carrés dont un poteau est le centre. Pour les éléments de bord, il y a

lieu de relier le treillis à mailles carrées au sommet de la pyramide plate dont la base est le trapèze. Une solution isostatique n'exige pas le treillis mais seulement les barres verticales utilisées pour la précontrainte lorsque celui-ci est présent. Dans ce cas, sur les bords on ne placera que les barres A'G et B'F'.

5 Dans la conception basée sur des carrés appuyés au centre sur des poteaux, il s'agit de consoles donc on peut être amené à faire varier l'épaisseur de la plaque du poteau en allant vers l'extérieur, cependant, cela va modifier le rapport entre les barres jusque-là égales. En fait, ce choix de barres égales suppose des allongements égaux pour des efforts normaux égaux et des modules d'élasticité identiques donc une géométrie constante s'il y a les mêmes efforts aux articulations.

10 Cependant, ces efforts réels ou précontrainte, sont exercés perpendiculairement à la plaque et non tangentiellement - il faudra sinon se méfier de ces efforts- donc, le rapport entre les côtés du rectangle n'est pas déterminant. La hauteur du module sera alors telle que l'élément soit un tronc du tétraèdre Les angles en résulteront également. Si l'on souhaite que la plaque s'amincisse, il faut que les plans découpant le tronc de tétraèdre ne soient pas parallèles et cela selon deux directions. Il y aura de toutes façons un problème aux diagonales. Deux solutions: désolidariser, faire un joint ou tailler le module dans le tétraèdre à l'aide d'un plan et d'un cône très plat ayant sa pointe de l'autre côté que le plan par rapport à sa base. Les bords de la plaque resteront cependant droits et celle-ci carrée bien que l'on puisse envisager une variante aboutissant à une plaque ronde à partir d'éléments de couronne comme module s'assemblant de la même façon que précédemment s'appuyant sur un cône central. On peut envisager avec plus d'études concevoir des coques.

20 La mise en oeuvre des modules doit respecter leur conception isostatique même si les articulations prennent des formes diverses et en particulier pour les ouvrages fixes dits fixes, elles ne sont que des zones de matière préfigurant au regard des autres des articulations.

Pour des ouvrages mécaniques, il convient de réaliser les meilleures articulations, c'est à dire des rotules classiques, cependant le nombre de barres en étant issues pose un problème. Pour cela, il est prévu de fendre la sphère mâle de la rotule pour l'aménager en chape et ainsi pouvoir y loger une autre rotule. Le problème est alors double: celui de permettre des amplitudes suffisantes pour le fonctionnement souhaité, celui d'avoir des rotules de dimensions acceptables vis à vis de leur encombrement ou de leur fragilité. On peut concevoir que ces articulations soient assez grosse relativement au corps de la barre lequel ira en diminuant vers le milieu pour s'apparenter à une forme d'os.

30 Pour les articulations de modules destinés à la réalisation de plaques, on peut concevoir un module dont les deux rectangles sont des plaques pleines lesquelles doivent travailler comme les huit barres diagonales et médianes de la figure 16j, donc dans lequel des plaques devront avoir une articulation centrale. Pour cela, il faut choisir un rectangle de rapport  $L/l = 1,618$ .

La figure 16k instable devient hyperstatique lorsque l'on réunit les points M et M' donc, c'est cette solution de précontrainte qui nous paraît préférable. Il faudra nécessairement un surplus de matière d'épaisseur en M et M'.

40 D'une façon générale, la conception du module est axée sur des articulations avec beaucoup de matière et une toile tendue entre celles-ci dont l'épaisseur diminue en s'éloignant. Dans les trapèzes, il y aura en principe deux trous ou une lumière en forme de graine de haricot laissant de la matière dans son creux pour l'articulation.

Il faut corriger une erreur dans notre première façon d'appliquer la précontrainte: les points A'' et C ne sont pas des articulations de même E''' et G' tout au moins pour la barre sur le cours duquel elles se trouvent. Si on les considère comme telles, il faut rajouter des barres, trois par articulations ce qui revient, comme il manque une barre par module, 16k par exemple, à trianguler le prisme à base carrée A''B'C'D''G'H'E'''F'' donc à faire un pavé plein traversé par quatre barres passant par son centre de masse et n'empêchant pas ses articulations de coins de fonctionner c'est à dire ayant en fait un coeur mou. Sa réalisation peut faire appel à un traitement thermique. Sa mise en oeuvre y compris ce traitement éventuel peut être fait après assemblage des modules. Dans une autre variante, quatre quarts de pavé sont fabriqués en même temps que le module

50 De ce point de vue technologique, ce sont des essais qui permettront de trouver le compromis, voire l'idéal, entre le concept d'équilibre mécanique tel que nous l'avons défini, et les possibilités de fabrication pouvant exiger des procédés nouveaux.

En l'état, il apparaît que, pour une conception toile tendue deux procédés semblent s'imposer: l'emboutissage et le soufflage. Pour cette raison, le matériau à utiliser sera de préférence plastique, éventuellement à chaud, et, outre les plastiques thermo-durcissables ou thermoplastiques, on pourra essayer les verres. Dans l'optique de la déformation de la surface d'un rectangle suite à l'application d'un effet normal central, il convient d'envisager également les rectangles de rapport  $L/l = 1,817$  dont l'ellipse d'inertie est inscrite dans le rectangle même ainsi que le rapport  $L/l = 2,29$  dont l'ellipse d'inertie est inscrite

au rectangle. On peut adapter l'une des structures décrites en 16 et agencées en 17 pour-la fixation d'éléments de façade.

La structure articulée constituée d'un pentagone et de six hexagones adjacents est représentée sur les figures 18a et 18b. Dans la figure la structure est aplatie, les hexagones ne sont plus des hexagones réguliers.

5 Isostaticité: des barres supplémentaires seront nécessaires

$n = 20$  articulations  $N = 25$  barres 10 articulations sont sur le sol. Celui-ci équivaut à  $6 = 3 \times 10 - N_s$   $N_s = 24$

Cinq barres existent au niveau du sol donc:

$N'_s = 19$  d'où  $N = 25 + 19 = 44$  barres

10  $3n - N = 3 \times 20 - 44 = 16$

Il faut  $n'$  et  $N'$  tels que  $3n' - N' = -10$

Une solution consiste à mettre cinq barres pour construire une pyramide sur le pentagone, cinq barres formant une ceinture dans le plan d'appui et trois barres pour trianguler un hexagone.

Ainsi,  $n' = 1$   $N' = 13$

15  $3n' - N' = 10$

Une autre solution consiste en une pyramide pentagonale de préférence rentrante, du sommet de laquelle sont issues 8 barres rejoignant les sommets des hexagones n'appartenant pas au pentagone et pouvant former, par exemple, deux pyramides hexagonales distinctes l'une de l'autre.

$n' = 1$   $N' = 13$  Figure 18c. ( de la feuille 20/38).

20 Dans une variante, la base de la pyramide pentagonale est triangulée, deux barres, cinq barres rejoignant son sommet à cinq sommets intermédiaires de pentagones, l'un d'eux possède une diagonale.

Une autre solution encore consiste en deux pyramides hexagonales distinctes et la pyramide pentagonale centrale dont la base est triangulée.

$n' = 3$   $N' = 19$

25  $3 \times 3 - 19 = -10$

On peut remarquer que compte tenu de l'inclinaison des plans d'hexagones, les réactions aux articulations seront grandes aussi ne peut-on peut-être pas compter le sol pour 19 barres. Pour moins le solliciter, il convient de mettre les barres radiales articulées au centre, dix barres. Auquel cas le sol n'interviendrait que pour:  $19 - 10 + 3 \times 1 = 12$  barres. Si l'on ne tient pas compte du tout du rôle du sol il faudra placer  $N'$  barres et

30  $n'$  articulations telles que:

$3n' - N' = -29$

Pour cela, il faut relier une articulation centrale aux 20 sommets de la figure, placer dix barres perpendiculaires aux côtés du pentagone et deux barres pour trianguler celui-ci Figure 19 (feuille 20/38).

35 Dans cette variante, on peut remplacer les dix barres perpendiculaires aux côtés du pentagone par deux couronnes de cinq barres reliant, l'une, les sommets intermédiaires, l'autre, ceux situés aux appuis.

Les structures articulées posent le problème de la réalisation d'articulations tous azimuts. Celles-ci seront étudiées ultérieurement.

Pour la construction de bâtiment tout au moins, il est nécessaire de boucher les polygones formés de barres.

40 Une variante envisage des panneaux à l'intérieur desquels la matière serait facilement déformable, les arêtes, elles, ayant subi un traitement, thermique, par exemple, ayant la fonction résistante et n'étant soumises, puisque articulées, qu'à des efforts normaux. Les angles peuvent également faire l'objet d'un traitement particulier, plastification de la matière, pour assembler afin qu'ils puissent s'orienter sans résistance autre que limitée et constante, de façon à ne pas compromettre l'isostaticité.

45 La présence de masse à l'intérieur des polygones va changer la répartition des masses et l'équilibre de la structure. En effet, à moins de présenter un centre de symétrie, le centre de masse d'un polygone vide formé uniquement d'un contour articulé, n'est pas le même que celui d'un polygone plein. Pour un triangle par exemple, G se trouve à  $\frac{2}{3}$  h du sommet pour un triangle vide seulement s'il est équilatéral sinon à

50

$$\begin{matrix} & 1+a \\ \text{à} & 21 \\ & a \end{matrix}$$

s'il est isocèle en A avec  $AB - AC = l$ .

55

Bien que nous ayons présenté un procédé permettant de régler la structure de façon à avoir des actions égales sur chaque appui, celui-ci ne peut pas tout corriger et, en l'occurrence, il ne peut ramener le centre de masse de la structure sur la verticale du centre de masse du polygone que forment les appuis si

cette structure n'est pas déjà relativement équilibrée.

On a démontré d'après la figure 5 que le centre de masse du triangle AIB J C K est le centre de masse du triangle A B C, les triangles A I B, B J C, C K A étant des triangles équilatéraux lesquels ont pour centre de masse G1, G2, G3. Par ailleurs, les relations entre les côtés et les angles d'un triangle permettent d'établir

5 G1 G2 = G1 G3 = G2 G3 donc que G1 G2 G3 est équilatéral.

Pour la structure, il s'agit de pyramides et non de triangles mais celles-ci doivent avoir leur centre de masse en G1 G2 G3.

Après calculs, on trouve que si ces pyramides sont à base carrée, elles doivent avoir pour la structure 3, avec triangle central quelconque, des longueurs d'arêtes obliques égales à :  $l = 1,255a$  pour la structure 4 à :

10  $l = 1,1a$ .

On peut remarquer qu'une structure isostatique donc ne présentant pas d'énergie élastique à libérer lors d'une déformation possible, possédant deux polygones dans des plans parallèles, voit ceux-ci rester hémothétiques à eux-mêmes lorsqu'elle subit une charge perpendiculaire aux plans des polygones et répartie entre leurs articulations.

15 Le centre de masse de la structure reste sur la même droite aux efforts, le centre de gravité descend sur cette droite correspondant à une diminution d'énergie potentielle tandis que les barres formant les polygone se déforment élastiquement. Cette déformation étant proportionnelle à leur longueur avec le même allongement pour cent A% pour toutes les barres, on peut en déduire que si elles ont le même module d'Young E, les efforts dans celles-ci sont proportionnels à leurs longueurs. Ainsi, ils sont égaux dans un

20 rectangle a, 2a présentant, comme il se doit une articulation au milieu, ou plus simplement, dans un carré un triangle équilatéral, un pentagone régulier. Il est remarquable de constater que dans la structure correspondant au modèle 16, en bloquant les articulations au milieu de la longueur d'un rectangle et en créant deux autres articulations par exemple dans la largeur, on multiplie l'effort dans une barre par deux

25 Il convient de noter que dans la même opération on a tout de même dû déplacer l'application des efforts des anciennes vers les nouvelles applications. Cette remarque peut donner lieu à des applications visant à libérer des tensions dans la matière en enlevant une partie pour créer une articulation.

La structure de base construite concentriquement autour d'un triangle équilatéral, d'un carré ou d'un

30 pentagone, dans deux plans parallèles reliés par des barres formant des pyramides latérales, trouve des applications dans sa version déformable. Il est à noter tout de suite que la symétrie de révolution est ici une exigence, en tous cas lorsqu'en veut déplacer en translation les polygones centraux perpendiculairement à leur plan, car sinon il n'y aurait, comme on l'a vu plus haut, qu'une position des pyramides pour lesquelles leur centre de masse serait

35 disposé en un triangle équilatéral centré. On constate facilement que les figures 2a, 16a, 14, 18 et d'autres, peuvent convenir pour réaliser un verin hydraulique parce qu'elles sont déformables par un fluide. Le problème est alors de trouver la structure qui aura un degré d'instabilité tout en conservant un centre de symétrie. La figure 20 satisfait cette exigence, en la doublant.

40 Barres  $45 + 10 \times 6 = 105 + 2(2 + 5) = 119$  (fig.20, feuille 21/38)

Articulations  $2 \times 15 + 10 = 40 + 2 = 42$

$3 \times 42 - 119 = 7$

Donc, un degré d'instabilité lui permettant la déformation perpendiculaire à son plan souhaité.

45 D'un point de vue technologique il faut réaliser une enceinte qui transmette bien les efforts qu'elle reçoit aux articulations.

On peut, dans une variante le réaliser en caoutchouc nervuré. Il faudra placer la valve au centre. Un tel verin peut servir de pièce d'appui de pont.

Les structures déformables étudiées présentent d'autres applications dans lesquelles les plans des polygones centraux ne restent pas parallèles. Il suffit, par exemple dans la figure 1, de supprimer les barres

50 AA' BB' CC' et de déplacer G pour obtenir une orientation d'un triangle par rapport à l'autre. G peut par exemple faire un mouvement de rotation d'axe z' G0z perpendiculaire au plan initial des triangles. On peut ainsi obtenir un vibreur peut-être silencieux- on peut sans doute ainsi obtenir des mouvements dans lesquels les points mobiles se déplacent sur une surface à double courbure ou non géométriquement recensée. Par exemple, la forme d'un pare-brise pour un essuie-glace, d'une aile de voiture pour un pistolet

55 à peinture. On peut en superposant les structures de type 1 ou 6 ou 18, en prenant éventuellement des structures symétriques pour les deux dernières de façon à conserver une section moyenne pour le bras ainsi formée, constante, réaliser donc des bras articulés dont les mouvements seraient commandés par la rotation

d'excentrique ou de cames propre à chaque structure élémentaire.

Dans une variante, la rotation de ces cames peut être entraînée par un système pneumatique, un conduit d'air comprimé actionnant une turbine solidaire de la came. Ce conduit est formé de plusieurs tronçons emboîtés les uns dans les autres par emmanchement conique par exemple: lorsqu'il y a étanchéité, l'air comprimé va jusqu'au bout du tuyau et fait tourner la deuxième came, lorsque l'emmanchement est désolidarisé, il laisse passer l'air qui va actionner la turbine située immédiatement après lui. Par une commande axiale comportant un câble avec un plomb extensible à son extrémité, une progressivité décroissante dans l'effort nécessaire pour désolidariser les emmanchements, on peut faire tourner la structure élémentaire articulation que l'on a choisie. Il suffit de positionner le plomb dans le tuyau et de le tirer de la distance suffisante. Figure 21 de la feuille 32/38.

En fonction du point de départ de l'extrémité du bras et du point d'arrivée souhaité, un ordinateur ordonnancera les rotations à faire, commandera la séquence permettant le moins de déplacement. Chaque structure élémentaire peut donner encore plus de possibilités de mouvement. Il suffit de relier les trois sommets des trois pyramides pour une structure triangulaire aux trois sommets de trois pyramides appartenant à une structure identique intérieure à la première. On peut même imaginer, si nécessaire, une série de cellules ou structures comportant un grand nombre d'éléments ainsi reliés.

Sans nécessiter autant d'éléments, il semble qu'une structure formée de deux éléments puisse remplacer le joint de cardan.

En ce qui concerne les structures tournantes, on peut dire que l'isostaticité permet un équilibrage naturel et évite la formation des balourds. En effet, une pièce tournante n'est jamais parfaitement symétrique par rapport à son centre de rotation, compte-tenu des tolérances d'exécution des différences de structures existant même à un degré moindre dans la matière, lesquelles conduisent à des élasticités différentes donc à des déformations.

C'est sans doute pour cette raison que les hélices d'avion n'ont pas deux pâles car il semblerait que l'hélice qui est une ellipse tordue et ne présente pas d'embranchement comme les hélices à quatre pâles par exemple, peut répartir naturellement sa matière sur ce parcours convexe qui est à la même tension en tous points.

Une rotor d'hélicoptère comportant trois pâles sans doute pour des raisons de portance intégrant peut-être des questions de turbulence provoquée par la première pale et devant disparaître avant le passage de la suivante, présente très certainement des problèmes d'équilibrage.

Il peut se présenter comme la structure admettant un carré central et quatre pentagones, lesquels auront des longueurs importantes radialement. Cela conduit à des pâles pointus. Si des raisons de turbulence ne s'y opposent pas, le rotor à cinq pâles hexagonaux paraît présenter une surface plus intéressante. Une étude moins superficielle puis des essais sont nécessaires.

Pour un rotor isostatique, il faudra être sûr de sa position géométrique aussi, est-il préférable de concevoir un rotor à géométrie variable.

Dans le même type d'application, nous pouvons citer la jante de roue, le volant d'inertie, les rotors de toutes sortes et les hélices multipales.

La structure déformable en rotation présente d'autres applications lorsqu'elle n'admet pas de centre de symétrie. En effet, dans la figure 1 tournant selon un axe perpendiculaire aux triangles si un des sommets de pyramide se trouve plus éloigné de l'axe de rotation, sommet ayant une masse, il va y avoir déformation de la structure. Si le sommet en question est dans le plan parallèle au triangle contenant les autres sommets mais décalé angulairement par rapport à la perpendiculaire passant par le centre de sa base et si, en fait, tous les sommets présentent le même déphasage angulaire par rapport à cette droite, le déphasage en question va varier lorsque la structure va s'aplatir à la suite d'une augmentation de la vitesse de rotation. C'est cette variation de déphasage qui sera utilisée pour obtenir une avance à l'allumage variable lequel système semble a priori meilleur que les systèmes à dépression.

Parmi les autres applications de ces structures déformables tournantes simples, sont celles qui permettent un déplacement axial suite au déplacement radial des sommets de pyramides dû à la force centrifuge. On a ici le principe d'un embrayage centrifuge.

#### Structures articulées concentriques

L'invention présentée ci-après fait la synthèse, du moins une synthèse, nécessairement non exhaustive, des structures concentriques à barres égales ainsi que de leurs applications et de leurs procédés de réalisation.

Puisqu'il s'agit d'une synthèse finale, l'invention donnera un aperçu de son champ d'application allant

au-delà des applications qu'elle pourra définir précisément, se limitant pour les autres à en situer l'objet. D'un point de vue géométrique il y a deux types de structures, celles utilisant des pyramides à base carrée, celles utilisant des pyramides à base pentagonale, celles utilisant des cadres pentagonaux.

De plus, pour une application qui peut-être -cela n'est pas encore acquis- pourra échapper à cette exception, les barres ne sont pas rigoureusement égales en allant vers l'extérieur, pour le moins dans une variante, lorsque la cohésion d'ensemble est assurée. Il s'agit des carcasses de pneumatiques et une ligne de structures parmi celles utilisant des pentagones.

D'un point de vue réalisation, les barres sont donc articulées et égales;elles peuvent donc ne pas exister matériellement mais seulement par la distance entre les centres de deux boules articulations. La cohésion de la structure fait appel nécessairement aux procédés spécifiques de mise en oeuvre de l'invention.

Il s'agit du dépôt de matière par condensation ou solidification ou transformation associant les deux précédentes pour obtenir un liant solide occupant éventuellement tout l'espace entre boules ou se limitant à une enveloppe recouvrant les barres comme des manchons continus, consistant par exemple en résine.

Ce dépôt se fait concentriquement grâce à une pompe à chaleur située au centre et un fluide caloporteur ou mieux. Cela sera présenté plus loin.

Parmi les applications, et cela rejoint les procédés de réalisation de ces structures concentriques à barres égales figurent les structures répondant à cet ordre géométrique au niveau même de leurs atomes. Ainsi, connaît-on déjà la polymérisation, les molécules cycliques, ne connaît-on pas cependant les chaînes de molécules formant des cycles, pas d'avantage des chaînes de molécules cycliques formant des cercles indépendants, voire associés concentriquement. Il s'agit donc là de corps chimiques et de leur procédé d'obtention.

Définissons la géométrie des structures concentriques intégrant des pyramides de base carrée.

Celles-ci se partagent en deux catégories:

- structures ayant seulement des discontinuités dans la triangulation;des barres en moins
- structures comportant des trous carrés traversant la structure de part en part, ou structures formées de modules cadres.

Pour les premières, la clé de voûte est formée par un tétraèdre encadré de deux pyramides adjacentes c'est-à-dire coïncidant par une face avec lui et de deux autres pyramides renversées, adjacentes selon la direction perpendiculaire et coïncidant chacune par une des deux faces restées libres sur le tétraèdre.

On obtient donc ainsi une croix qui est stable lorsque l'on réunit les quatre sommets du rectangle que forme une branche aux quatre sommets du rectangle perpendiculaire au premier et situé dans un autre plan, correspondant à l'autre branche. Ainsi a-t-on la figure 1 de la feuille 24/38, représentant la structure isostatique de base engendrée concentriquement par le tétraèdre. Elle se présente en vue de dessus comme un octogone à côtés inégaux, les côtés les plus petits étant les barres obliques de liaison entre les rectangles.

Pour obtenir la structure carrée associée isostatique comme la première, comportant 30 barres et 12 articulations, il suffit de placer ses quatre sommets en reliant chacun d'eux par trois barres, au sommet d'une pyramide et à deux sommets de sa base. La structure représentée par la figure 2 de la feuille 24/38, n'est évidemment pas prismatique.

La structure suivante, à laquelle conduit le développement concentrique souhaité s'obtient ainsi: on pose les trois barres dont deux forment la base d'une pyramide ayant un angle commun avec le carré précédent. Cette opération est effectuée huit fois pour obtenir une symétrie centrale, la structure est alors toujours isostatique, elle devient hyperstatique lorsque l'on pose quatre barres permettant d'obtenir en vue de dessus un contour octogonal. Si l'on souhaite l'isostaticité et afin de conserver la symétrie centrale, on a possibilité d'enlever l'une des deux barres suivantes au choix: la barre oblique parallèle, en vue de dessus, à la barre oblique appartenant au contour extérieur par exemple AF ou BG, la barre horizontale perpendiculaire et médiatrice en vue de dessus d'une barre formant le bout de la croix centrale exemple II' ou JJ'. L'extension suivante conduit à un contour octogonal, toujours en projection, avec alternance d'un côté unité horizontal et d'un côté égal à  $3/\sqrt{2}$ , puisque formé de trois barres obliques. La barre à oter est toujours désignée, AB et ses homologues. Le carré associé à cette figure 6 de la feuille 26/38, s'obtient sans problème: il s'agit de U V W X et son côté est égal à  $5/\sqrt{2}$ . Figure 7 de la feuille 27/38.

La structure suivante est octogonale bien sûr, et en projection, ses côtés sont par alternance égaux à 2 ou à  $3/\sqrt{2}$ . De la même façon que précédemment, la pose de la barre centrale  $\rho 8$  entre deux angles de base de pyramides nouvellement formées, impose d'oter la barre qui lui est parallèle en projection.

De même la pose des barres  $\alpha \rho$  et  $\gamma \delta$  impose t'elle d'oter SS' et TT', ou UI Et XL. Figure 8 de la feuille 28/38. On peut généraliser en disant que la pose de barres conduisant à l'octogone, impose des suppressions parmi lesquelles solutions figure toujours la possibilité de supprimer la barre parallèle à celle

appartenant au contour extérieur, transformant lors de sa pose une structure isostatique en une structure hyperstatique. La suite de structures concentriques décrites ci-dessus est la suivante en remarquant que l'on a une périodicité angulaire d'un quart de tour pour le polygone projeté étudié dans cette suite:

- 4 (1hz + 1ob) octogone 1 hz: horizontal
- 5 4 (3ob) carré ob: oblique
- 4 (2hz + 1ob) octogone 2
- 4 (hz + 3ob) octogone 1
- 4 (5ob) carré

10 Il vient les structures non construites suivantes:

- 4 (hz + 5ob) octogone 1
- 4 (7ob) carré
- 4 (2hz + 5ob) octogone 2
- 4 (hz + nob) octogone 1
- 15 4 (n + 2)ob carré
- 4 (2hz + nob) octogone 2

La structure représentée par la figure 9 de la feuille 29/38 conserve la structure intérieure intacte, telle que sur la figure 7 de la feuille 27/38 la pose de trois barres conduisant à une articulation laisse l'isostaticité intacte. Le contour extérieur est dentelé. Tous les sommets en projection dessinant le polygone dentelé ne sont pas dans un même plan. Les sommets cerclés sur le dessin sont dans un plan parallèle à celui de la feuille mais de côté

$$+ 1/\sqrt{2} \text{ ou } -1/\sqrt{2}.$$

Cette structure dans une application de plaque porteuse, exige un aménagement des appuis, éventuellement de la géométrie de l'enceinte qu'elle couvre.

25 Les structures concentriques à barres égales à base de pyramides et comportant des trous sont carrées et construites avec des cadres du type de celui représenté sur la figure. Ces cadres associent grâce à une triangulation, des carrés de côté unité avec des carrés de côtés double. C'est le cadre de la figure 16h de la feuille 14/38.

$$1 \text{ cadre} = 8 \text{ barres (sur le tour)} + 4 + 8(\text{triangulation}) + 4(\text{carré central}) = 24 \text{ barres et } 12 \text{ articulations.}$$

30 Il n'est pas stable, il faut le doubler par son symétrique par rapport à son plan.

$$8 + (4 + 8) \times 2 + 4 \times 2 = 40 \text{ barres}$$

$$8 + 4 \times 2 = 16 \text{ articulations}$$

$$48 - 40 = 8 \text{ pour le critère d'isostaticité Ci au lieu de } 6.$$

On obtient l'isostaticité en mettant un octaèdre admettant le petit carré comme plan de symétrie. Figure 10 de la feuille 30/38.

35 On peut avoir un cadre double différent pour lequel c'est le petit carré qui est commun.

$$8 \times 2 + (4 + 8) \times 2 + 4 = 44 \text{ barres}$$

$$8 \times 2 + 4 = 20 \text{ articulations}$$

$$Ci = 60 - 44 = 16 \text{ manquent } 10 \text{ stabilisations}$$

40 Solution: l'octaèdre central ainsi que deux fois quatre segments de médianes issus de ses sommets. Figures 11a et 11b de la feuille 30/38.

Bien que tel n'était pas l'objet des structures qui devaient suivre, développons un seul cadre en une structure cadre plus grande avant d'en venir à l'association de cadres. On peut placer autour du cadre double précédent deux cadres plus grands ayant le plus grand carré en commun soit 12 articulations supplémentaires et 12 barres.

$$C'i = 3 \times 12 - [12 + (4+4+4) \cdot 2]_{\text{Triangulation}} = 0$$

50 En poursuivant et en rajoutant deux cadres de côté 4 de part et d'autre du plan passant par le carré de côté 3 :

$$\text{Barres } N'' = 2[16 + 4 + (3 \times 2) \times 4] = 88$$

$$\text{Articulations } n'' = 2 \times 16 = 32$$

$$C'i = 96 - 88 = 8$$

55 C'est le même problème que précédemment, il suffit de prolonger les quatre médianes de chaque côté. Figure 12a et 12b de la feuille 30/38.

Le développement de doubles cadres ne pose à l'évidence pas de problème.

Revenons sur les structures obtenues par l'association de cadres simples.

D'abord: 2 x 2 cadres Figure 13 de la feuille 31/38.

Barres  $24 \times 4 - 8 = 88$

Arti.  $4 \times 4 + 4 \times 4 + 5 \dots = 37$

Ci = 23

- 5 Solution: une pyramide centrale 1  
8 barres de liaison entre carré 8  
4 octaèdres sur ces petits carrés 8  
Ci =  $23 - 17 = 6$

Remarque: il n'y a plus de trous . Figure 14 de la feuille 31/38.

- 10 Ensuite: 3 x 3 cadres  
Barres  $24 \times 9 - (2+2) \times 6 = 192$

15

$$\begin{array}{l} \text{Arti.} \quad 9 \times 4 \text{ petits} + 6 \times 4 \text{ tour} + 2 \times 5 \text{ réseau} + 2 \times 3 \text{ intérieur} = 76 \\ \text{Ci} = 36 \text{ carreaux} \end{array}$$

La solution préférable est la suivante: figure 15 de la feuille 31/38.

Ci = -30 - 24 barres de liaison entre petits carrés

- 20 - 4x4 arêtes de pyramide ayant un point commun avec le carré central: gain 4  
- l'octaèdre central: gain 2

Les deux premiers tirets peuvent être décrits d'une autre manière: quatre pyramides entourant l'octaèdre central, une ceinture de huit barres.

- 25 On peut envisager d'autres variantes, par exemple en remplaçant des barres par d'autres qui seront les arêtes de pyramides ou d'octaèdres bouchant les trous des cadres. Par exemple, on peut enlever les huit barres de liaison reliant le cadre central à ceux l'entourant par huit pyramides ou plutôt quatre octaèdres centrés sur les carrés concernés par les liaisons otées. Figure 16 de la feuille 31/38. On peut également, dans une autre variante supprimer les quatre croisillons formant les quatre arêtes de pyramides ayant un point commun avec l'octaèdre central pour les placer sur les trous des cadres de coins. Figure 17 de la

- 30 feuille 31/38.  
Cependant, dans toutes ces manipulations, il faut se veiller à ne pas créer de déséquilibres ni d'hyperstativités régionales.

Ainsi, il semble peu conseillé de mettre des octaèdres sur tous les cadres, à moins peut-être d'avoir enlever les doubles barres reliant leurs bases carrées entre elles, hormis celles les reliant à l'octaèdre central.

- 35 Ensuite: 4 x 4 cadres  
Barres  $24 \times 16 - (3+3) \times 8 = 336$  barres

40

$$\begin{array}{l} \text{Arti.} \quad 16 \times 4 \text{ petits} + 8 \times 4 \text{ tour} + 3 \times 7 \text{ réseau} + 3 \times 4 \text{ intérieur} = 129 \\ \text{Ci} = 387 - 336 = 51 \text{ de trop} \end{array}$$

- 45 LA meilleure solution est la suivante: 24 barres de chaînage entre petits carreaux périphériques, 16 barres de liaison perpendiculaires aux côtés du carré que forme la structure, 5 croisillons formant les arêtes d'une pyramide. Cette solution est représentée sur la figure 18 de la feuille 32/38. Il n'est pas évident que la solution ci-dessus soit la meilleure car, hormis le croisillon central, elle privilégie trop le cadre rajouté sur le 2x2 pour faire le 4x4 en densité de barre au détriment de ce dernier. Cependant, il n'est pas évident non plus qu'une solution conservant le 2x2 dans l'état où il a été défini précédemment, soit une bonne solution. Cette solution relierait ce dernier au cadre extérieur du 4x4 lequel comporterait 24 barres de liaison par

- 50 quatre croisillon situés à chaque coin.  
La figure 19 de la feuille 32/38 fait une synthèse entre les deux tendances précédemment évoquées par leur solution extrêmes. ON a conservé les barres de liaisons du 2x2, on a supprimé les octaèdres d'où une perte en Ci de 8 compensée par 8 barres de liaison avec le 4x4 situées sur les médianes. La solution précédente peut présenter une variante apparemment améliorée: il s'agit de remplacer une barre de liaison extérieure du 2x2 par un croisillon, quatre arête d'une pyramide s'appuyant sur les extrémités de la barre otée ainsi que sur deux points formant un carré avec ces dernières. Cette solution à neuf croisillons est représentée sur la figure 20 de la feuille 32/38.

Une autre solution à neuf croisillons est représentée sur la figure 21 de la feuille 32/38. Elle est caractérisée



9 croisillons 9 stabilisations  
 4 pyramides de coin 4 stabilisations  
 total 45

Ensuite: 7x7 cadres

5  $C_i = 3n - N = 108$

Une solution consiste à lier le 5x5 tel qu'il est déjà défini au cadre, donc comportant 62 stabilisations, liaisons 5x2x4 Déplacer les croisillons vers les coins.

Cette solution qui n'est peut-être pas optimale, marche pour passer d'un carré de côté impair au carré de côté impair immédiatement supérieur, donc pour tous les impairs.

10 Ensuite: 8x8 cadres

$C_i = 131$

On a déjà vu que pour les nombres pairs, il n'y a pas de solution ne serait-ce que uniquement satisfaisante du point de vue de concentricité si l'on conserve intacte la structure inférieure.  $C_i$  pour le 6x6 = 81  $\Delta C_i = 50$ , non divisible par 4. On peut au mieux rajouter 12 barres de liaisons sur chaque côté et deux croisillons

15 aux angles en diagonale.

Une solution: on conserve 16 liaisons 8 croisillons plus le central:  $C_i = 106$  donc 100 stabilisations à trouver

20

|             |            |
|-------------|------------|
| chaînage    | 7x4 = 28   |
| liaisons    | 48         |
| croisillons | 24         |
|             | <u>100</u> |

25

On mettra de préférence 16 croisillons supplémentaires au lieu de 24, les quatre côtés de la pyramide centrale, ainsi que quatre croisillons dans les angles formant des pyramides. Figure 27 de la feuille 36/38.

Dans cette figure, on peut remplacer les 48 barres de liaison par un chaînage simple de 20 barres autour du 6x6 et 4 fois 7 croisillons sur un côté.

30 Pour faire un essai de synthèse, il semble que les structures comportant un nombre impair de cadres, se construisent autour d'un centre qui tient l'ensemble, c'est l'octaèdre.

Quant aux structures paires, c'est davantage le cadre rigide qui tient l'intérieur, à la limite, comme une toile. Avant essais, aucune dimension n'est exclue, pour autant qu'elle soit un multiple du côté d'un cadre de base. Cela dans la mesure où le critère d'isostaticité globale  $C_i = 3n - N = 6$ , est satisfait. Cependant, il n'est

35 pas exclu qu'il y ait des instabilités locales ou des hyperstabilités inévitables pour certaines dimensions ayant pour conséquence de les bannir.

Ainsi, naîtrait une série de dimensions, cela à condition de connaître la dimension de la maille élémentaire lorsqu'il s'agit de matière continue répondant à un arrangement en cristaux ou en molécules.

Déjà, pour les plaques, nous pouvons tirer deux enseignements:

40 - il y a toujours un rapport

$\frac{n}{1/\sqrt{2}}$  entre le côté et l'épaisseur, voire

45  $\frac{n}{P/\sqrt{2}}$  si elle est formée de l'empilement de structures telles que celles étudiées, lequel empilement

devrait obligatoirement suivre certaines règles pour satisfaire l'isostaticité.

- une plaque doit toujours être formée de carrés. Il faut donc que le plus grand diviseur commun à sa longueur et à sa largeur soit un multiple, et même un multiple validé si certains apparaissaient ne pas convenir, de la dimension du cadre élémentaire.

50 Les structures présentées, instables, peuvent présenter des déformations intéressantes, en particulier lorsqu'il me manque qu'une, deux ou quatre barres. Elles ne sont donc pas à exclure.  $C_i = 10$ .

Les structures peuvent être des cadres formés de plusieurs cadres élémentaires 8 ou 16 de côté 5 modules et de vide intérieur 3 modules.

Il faut, bien-sûr, étudier l'isostaticité.

55 Les structures qui vont être présentées sont obtenues par l'empilement de polygones réguliers concentriques, dont le nombre de côtés double à chaque fois, tandis que, dans le même temps, leur longueur est réduite de moitié.

On peut faire une première remarque: leur périmètre est constant. Celle-ci va nous permettre de calculer  $\pi$ ,

après en avoir fait une seconde: ce résultat mathématique est plus une découverte, si elle l'est, qu'une invention.

Cependant, elle ne peut être ignorée.

Il s'agit bien-sûr de pouvoir exprimer leurs rayons, c'est-à dire celui des cercles inscrits et circonscrits.

5 Soit un carré de côté 2 et de périmètre 8:

$$R_i = 1 \quad R_c = \sqrt{2}$$

Soit un octogone de côté 1, donc de même périmètre 8

$$R_i = \frac{1}{2}(1 + \sqrt{2})$$

On en déduit:

10  $R_i \text{ octo.} = \frac{1}{2}(R_i \text{ car.} + R_c \text{ car.})$

Notons:

$$R_{i_8} = \frac{1}{2}(R_{i_4} + R_{c_4})$$

On vérifie tout aussi bien:

$$R_{i_{10}} \equiv \frac{1}{2}(R_{i_5} + R_{c_5})$$

15 Il suffit d'exprimer  $R_{c_n}$  en fonction de  $R_{i_n}$ . En faisant appel à Pythagore

$$R_{c_n} = \sqrt{R_{i_n}^2 + \left(\frac{c}{2}\right)^2}$$

20

ainsi, obtient-on la suite suivante:

25

$$R_n + 1 = \frac{1}{2} \left( R_n + \sqrt{R_n^2 + \frac{1}{2n}} \right)$$

$$\text{//} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{P}{2R_n}$$

Ainsi, en partant d'un carré de côté 2  $P=8$

30

$$R_0 = 1$$

$$R_{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{1}{2 \cdot 0}} \right) = \frac{1}{2} (1 + \sqrt{2})$$

35

Il faut compter dans ces calculs sur la validité des hypothèses:

- le théorème de Pythagore est juste

- la convention  $a^0 = 1$  est justifiée

On peut faire le programme suivant: (sur CASIO 7000 G)

40

```
?→A      1
?→N
Lb1 1: 2xN→P
```

45

50

55

```

(A + √(A² + (.5) xYP)) x (.5) → A
N + 1 → N:4:A
5  Go to 1
   Exe 1
      0,8090169944
      1
10      1,175570505
      5,877852523
      1
15      0,9045084972
      3,249196962
      ⋮
20      3,167688806      C'est le programme basé sur le
      ⋮                  pentagone PROG 1
      3,148068273
      3,143208561
25      3,1419...
      3,1416...

```

30 Pour 15 itérations, c'est à dire 2<sup>16</sup> côté  
 $\pi = 3,141592654$  ( 1<sup>ère</sup> itération 2 côtés)  
 On peut faire le même calcul conduisant au même résultat à partir du pentagone

35  $Rc_5 = 1$        $R_{15} = \frac{1}{2} \frac{(1 + \sqrt{5})}{2} = \frac{n}{2}$

$$Ri_{10} = \frac{1}{2} \frac{(1+n)}{2}$$

40  $Rc_{10} = \sqrt{Ri_{10}^2 + \left[\frac{1}{2} \left(\frac{c}{2}\right)\right]^2}$   
 $Rc_{10} = \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{n}{4}}$

45  $Ri_{20} = \frac{1}{2} (Ri_{10} + Rc_{10})$   
 $Ri_{20} = \frac{1}{4} \left( \frac{n+1}{2} + \sqrt{n^2 + 1} \right)$

50 Il vaut mieux faire un programme

55

```

1 → S
(1+√5) : 4 → I
1 → N
5  √(1-(1+√5)2 : 16) x 2 → C
Cx5 → P
10 Lb1 1:√(I2+C2:4) → S
(I+S) : 2 → I

C:2 → G
15 P:2:I
N+1 → N
Go to 1

```

20 On obtient les mêmes valeurs dix décimales lisibles avec le même nombre d'itérations.  
 On peut faire des programmes identiques à partir du polygone dont le nombre de côtés est un nombre premier.

```

25 ? 1
? 0 1 PROG 0
EXE 0
1,207106781
30 3,313708499
2 ← 2N
1,2568...
35 3,1825
4
30 ← 2N
40 3,141592654

```

Inversion: oublié qu'il existait un programme 0.  
 On peut calculer les autres décimales de  $\pi$  de la manière suivante:

45 
$$\overline{\pi} = 3,14159265/35/8979323846/26438327950288419$$
  
 tranche

50 Première ligne de la photo prise par la revue N° 2 "Hypothèse" de Texas-Instruments au Palais de la découverte.

On remarque que si l'on prend une tranche de neuf chiffres, le produit de ces chiffres est toujours le nombre dont la somme des chiffres se réduit toujours à 9.

55

Exemple: les 9 premiers: produit  $\frac{32400}{9}$

5 la tranche : produit  $\frac{15676416}{36 \rightarrow 9}$

Ainsi, affirme-t'on, à priori que le chiffre 7 placé sous "CAUCHY" est faux:  
Le produit précédent est bon

10  $\frac{2880}{9}$   
Celui inclant le 7 est mauvais

15  $\frac{6720}{6}$   
Il faut mettre un 9 à la place

$\frac{8640}{9}$   
Revenons sur les structures construites par un empilement de polygones ayant servi à calculer  $\pi$ .  
Ils sont reliés entre eux par une triangulation. Plusieurs questions se posent:

- 20 - celle de l'isostaticité, il faut rajouter des barres  
- celle de la génératrice, quelle forme a-t'elle?

Si l'on envisage une structure colonne symétrique avec une section circulaire au milieu, il est probable que la génératrice ait la forme d'une courbe en cloche convexe ou concave suivant la direction de l'observation. Quant à la stabilisation, il faut bien-sûr rajouter des barres en s'inspirant du brevet du 02/12. Des pyramides

25 sur les carrés d'extrémité et entre, des dispositions à étudier.  
L'objet de ces constructions nouvelles donc qualifiables d'invention, concerne les structures à base de pentagone, pyramide pentagonale ou cadre pentagonal constitué de deux pentagones, l'un de côté 1, l'autre de côté 2 et reliés par une triangulation.

30 Il s'agit de couronne de pentagones en nombre quelconque à priori bien que les nombres 5 et 8 semblent plus près d'offrir des résultats que les autres.

Une couronne de 5 pentagones peut être la couronne centrale d'une structure réunissant 5 dodécaèdres.

Deux structures identiques accolées et déphasées d'un dixième de tour, peuvent fournir l'ossature d'un pneumatique, carcasse complétée par des pyramides sur les pentagones suffisamment rigides pour ne pas nécessiter de pression intérieure.

35 Il est impossible, comme nous l'avons cru trop vite sans vérifier cette évidence, de mettre quatre pyramides pentagonales régulières en coïncidence avec les quatre faces d'un tétraèdre. Par ailleurs, la distance entre les sommets de pyramides de deux pentagones voisins d'une couronne de 8 pe pentagones, n'est pas égale à un côté ou 2 ou un nombre pouvant donner quelque espérance de développement de la structure. Elle est égale, semble-t'il à

40  $1;588 \approx n = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$

Peut-on coïncider des pentagones?

45 Cette étude ayant été faite avant celle de la construction à l'aide de cadre, nous déposons la construction basée sur des couronnes de cadres pentagonaux.

Nous avons aussi envisagé la construction par couronne plane de 10 pentagones, la deuxième couronne, difficile à définir est dans le meilleur des cas formée de pentagones de côté double, relié par points à la première, le sommet d'un petit pentagone de la première couronne coïncidant avec le milieu d'un grand pentagone de la deuxième couronne.

50 Pour la mise en oeuvre de ces diverses structures, on peut utiliser le procédé suivant:  
les barres sont creuses et contiennent un gaz sous pression toute cette tuyauterie aboutie au centre où se trouve une vanne.

55 Lorsque l'on ouvre celle-ci, il y a détente du gaz comprimé dans les barres comportant des enceinte forme "gelule" et condensation de la matière que l'on souhaite déposer sur l'ossature. Il faut trouver le corps pour lequel le givre a une résistance mécanique intéressante et bien que les manchons de glace aient fait leurs preuves ( en 82 sur les fils électriques). Revenons sur la géométrie et répondons à la question posée au début de la présente page. Oui, cela est possible et nous ferons en sorte de placer une pyramide renversée à base pentagonale dont deux sommets de la base seraient les sommets des pyramides de la

couronne de 8 pentagones et dont le sommet serait l'extrémité extérieure du segment appartenant à deux pyramides adjacentes de la couronne. La nouvelle pyramide renversée a comme espace entre deux sommets du pentagone de base séparé par un autre 1,586606634 au lieu de 1,6180559 pour les pyramides de la couronne. Si l'on partage la différence, on  $\frac{\Delta d}{d} = 0,98\%$ .

5 Ceci est donc acceptable.

De plus, le plan de cette nouvelle pyramide renversée intercalaire fait  $1,26356127^\circ$  avec le plan horizontal. Cela est très intéressant quant à former une plaque circulaire à développer concentriquement.

Là où nous nous sommes arrêtés est le bord de ces pyramides renversées: entre elles, subsistent des espaces égaux à 1,2621 - mais il est possible que la distance entre un sommet périphérique de la base des pyramides renversées et un sommet périphérique de la base des pyramides de la première couronne soit distant de 1 auquel cas une troisième pyramide pourra se construire tout de suite sinon on peut envisager de mettre des pyramides bord à bord avec les pyramides renversées quitte à laisser des trous en losange.

15 Une autre possibilité de construction indépendante consiste à mettre cinq pyramides à base carrée en couronne, la pointe au centre. Il n'y a pas de gros écart d'angle. Il faudrait que la base soit plutôt un peu trapezoïdale que carrée. On a un angle au sommet de  $70,528779^\circ$  au lieu de  $72^\circ$ .

Isostaticité d'une couronne simple de 5 dodécaèdres.

20

UN dodécaèdre dont toutes les faces sont triangulées par une pyramide.

Barres 90

Articulations 32

Couronne 450 barres (90x5)

25

-  $\frac{5 \times 5}{4 \times 2 \times 5}$  faces communes

$C_i = -20$

On peut ôter 5 pyramides des faces communes:

30  $\Delta C_{i1} = 5 \times 2 = +10$  ou laisser deux pyramides à quatre arêtes.

On peut enlever une barre sur 3 pyramides de chaque dodécaèdre.

$\Delta C_{i1} = +15$

$C'_i = -20 + 25 = +5$

35 Il reste une barre à enlever pour que la structure soit isostatique. On peut l'enlever dans une pyramide à 5 barres arêtes, ou même dans le pentagone central.

Double couronne

40 barres 2x400 Couronnes telles que  $C'_i = 5$

articulations 130

En accolant deux couronnes, on met 10 faces en coïncidence soit: 20 barres et 15 articulations

barres =  $800 - 20 = 780$

arti. =  $2 \times 130 - 15 = 245$

45

$C^2_i = -45$   
En enlevant les pyramides sur les dix faces en coïncidence, on gagne  $C_i = +20 \rightarrow C'_2_i = -25$

Remarque: la double couronne enferme un dodécaèdre. On peut regagner 2 ou 4 en  $C_i$  en mettant des pyramides à 4 ou à 5 barres s'appuyant sur les deux pentagones de face opposée de ce dodécaèdre central, pour le moins sur les deux pentagones situés au centre de la double couronne.

50

Ainsi  $C''_i = -29$

On doit enlever 35 barres pour obtenir l'isostaticité:

5 formant un des pentagones cité ci-dessus.

Il reste alors une barre à enlever sur trois des faces de chaque dodécaèdre. Ainsi, ciui-ci aura-t'il 6 faces comportant des pyramides à 4 arêtes, 6 faces comportant des pyramides à 5 arêtes.

55

On peut par exemple laisser 5 arêtes sur les deux faces centrales de chaque dodécaèdre, c'est-à-dire les plus proches du centre, de même que sur les faces communes avec d'autres dodécaèdres de la double couronne, 2 sur une même couronne et deux inter-couronne, ce qui fait bien 6.

On peut faire également le contraire: 4 arêtes sur ces dernières faces et 5 sur les autres. De plus, puisque

la structure est isostatique, on peut enlever les cinq barres du pentagone central restant et mettre cinq barres radiales joignant le sommet d'une pyramide de face centrale au sommet de la pyramide de la face opposée. La distance entre ces sommets

$d = D - 2h$  (hauteur de pyramide)

5 distance entre faces opposées

$D = 2,21911308$   $h = 0,5257311119$

$d = 1,167650856$

Cette distance est égale à environ  $\frac{7}{8}$  de la longueur d'une barre.

10 Il est vrai que les dodécaèdres peuvent et même doivent s'élargir dans la version structure à modules coïncidant sans fente. Cependant, cette distance semble un peu grande seuls des essais peuvent confirmer cette solution.

La solution où les dodécaèdres d'une même couronne ne sont pas accolés est valable bien qu'elle exige de laisser plus de barres. En fait, il s'agit de la seule structure vraiment isostatique puisqu'on a calculé sur la figure:  $IJ = 1,456202674$  qui est la distance entre deux sommets de dodécaèdres, laquelle est inférieure au

15 côté du décagone sur lequel leur rattachement au pentagone, plus exactement, à l'hémi-dodécaèdre central, les place.

La disposition prévoyant des tirans entre les sommets de pyramide est envisagée également pour les structures concentriques formées de cadres. En général, suivant la structure, on peut précontraindre aux angles ou au centre. Dans cette catégorie de structures, il est envisagé d'avoir deux épaisseurs de la même

20 structure encoïncidence par les petits ou par les grands carrés. On peut alors enlever des barres dans les cadres et obtenir des losanges.

Pour revenir aux structures composées de modules dodécaédriques, il en est, bien-sûr dont une des faces ne comporte aucune pyramide mais un trou.

25 Ces structures peuvent être beaucoup plus importantes que les doubles couronnes puisqu'on peut imaginer une partition de l'espace en dodécaèdres.

Axialement, il n'y a aucun problème pour empiler des couronnes, donc un tuyau est facile à construire.

De manière périphérique et tous azimuts, cela est possible grâce à la remarque déjà faite. Le centre d'une double couronne est occupé par un dodécaèdre moyennant les déformations nécessaires, allongement ou raccourcissement, que l'on peut estimer à:  $l/l = (1,46619 - 1,45620) : 1,461 : 2$  diviser par deux pour partager la

30 déformation.

$l/l = 0,34\%$  ce qui peut facilement être obtenu pour la plupart des matériaux.

Il est certain qu'il y a une infinité de façon et de solution technique de s'accomoder de ce chiffre. Rapport avec % de carbone dans l'acier? Donc, tout dodécaèdre peut être considéré comme le centre d'une double couronne, et par suite tout l'espace matériel peut être partitionné ainsi.

35 Pour revenir sur les structures constituées d'un empilement de polygones dont le nombre de côtés double, alors que leur longueur est divisée par deux, il faut bien voir que l'on peut passer d'un segment de longueur 2 à un cercle de périmètre 2 pour retrouver à l'autre bout, un segment de côté 2 perpendiculaire au premier. Ainsi peut-on associer plusieurs structures-maillons de ce type et obtenir des rotations d'un demi tour d'un tour et plus. On a fait un tuyau pouvant servir de conducteur a beaucoup de fluide, d'énergie

40 en générale. Un tuyau d'onde dans lequel la lumière peut se propager par simple réflexion. Filtre optique.

Concernant les structure dodécaédrique, celle-ci reste une structure centrée. Il y a une progression des longueurs de barres à partir du centre, il n'y a pas partition non localisée de l'espace.

#### 45 Structures articulées concentriques à barres égales

L'invention regroupe toutes structures concentriques à barres égales construites à l'aide du module suivant : Ce module est composé d'un pentagone base d'une pyramide à cinq arêtes, relié à un carré par huit barres dont deux d'entre elles sont parallèles, les six autres issues des trois autres sommets forment

50 une triangulation.

Les plans du carré et du pentagone sont parallèles et distants de  $0,85065... \times C$ .

On peut considérer ce module comme un icosaèdre duquel on aurait, avant déformation, oté 9 barres. Le module est donc composé de 21 barres si l'on ne ferme pas le carré. Il a douze faces en triangle équilatéral et deux faces carrées. Il est formé de quatre modules tels que décrits dans la revendication 1 du

55 brevet du 29/01/88, cela avant déformation.

Ces modules peuvent être assemblés en couronnes de deux façons: soit le carré du polygone intérieur de la couronne est le côté commun aux deux carrés AB, soit il s'agit d'un côté extérieur de l'un des carrés DC ou FE. Le module admet deux plans de symétrie, donc, un axe de symétrie. Dans chacun des cas, les

côtés communs pour associer deux modules en une couronne sont les côtés issus des extrémités du côté considéré pour la distinction des deux cas, qui font entre eux un angle de  $36^\circ$ .

La couronne peut comprendre 10 modules, ou même 8 ou même 9 ou même 7 ou 6. Dans certains cas, on a des trapèzes isocèles au lieu de carrés. Dans le cas de 10 modules, le plan de symétrie, plan médiateur du côté commun des carrés partitionne l'espace en 10 dièdres de  $36^\circ$ . Le plan de la couronne est, dans l'une des façons distinguées au départ, l'autre plan de symétrie des modules, dans l'autre façon, son plan est le plan d'un pentagone.

Le premier type de couronnes n'est pas stable en l'état:

Modules:

10 barres: 22

arti. : 10

$C_i = 30 - 22 = 8$  instable

Couronne de 10:

barres:  $220 - 10 = 210$

15 arti. :  $100 - 20 = 80$

$C_i = 240 - 210 = 30$

On peut stabiliser ainsi 20 pyramides de base carrée plus deux pyramides doubles ( octaèdre ) sur deux modules diamétralement opposés.

20 Si deux couronnes  $C_i = 10$ , quatre pyramides diamétralement opposées comme précédemment; si trois couronnes empilées  $C_i = -10$ . Enlever 10 barres médianes des modules sur les couronnes diamétralement opposés de ces mêmes couronnes ( même diamètre ou diamètre différent).

25 Une variante intéressante par ces développements est la construction par modules doubles. Ceux-ci sont composés de deux modules simples ayant un carré en commun. Il y a deux façon d'accoler les carrés, une faisant naître une symétrie, la plus étudiée, une seconde permettant des assemblages dont la forme générale est une barre ondulée.

Il y a également d'autres variantes dans lesquelles les plans de symétrie des deux modules associés sont perpendiculaires.

Pour les premiers modules doubles étudiés:

$C_i = -(22 \times 2 - 4) + 3(10 \times 2 - 4) = 8$

30 Il y a deux façons d'assembler les modules: soit le Vé formé par deux carrés à l'intérieur de la couronne, soit celui-ci à l'extérieur.

Isostaticité  $C_i = 3 \times 120 - 380 = -20$

35 On peut enlever les barres du carré appartenant au plan de symétrie d'un module  $C_i = -10$ . Dix arêtes de pyramides pentagonales sur chaque flasque  $C_i = +10$  sauf sur deux modules doubles diamétralement opposés.

$C_i = +16$   $C_{if} = +6$

Remarque: l'ensemble de deux modules consécutifs est isostatique.  $C_i = 84 - 78 = 6$ . Lorsque l'on rajoute un troisième module en le faisant coïncider en quatre points, on obtient une structure hyperstatique. Une articulation de trop en moins

40

$$\Delta C_i = -3 \left( \frac{-1}{b} \right) = -2.$$

45 On trouve en effet  $C_i = 4$ . Pour chaque assemblage de modules supplémentaires on  $a\Delta C_i = -2$ . Lorsque l'on ferme une couronne  $\Delta C_i = -10$ , si c'est une couronne simple.

Module double avec liaison par la pointe des pyramides basées sur les carrés des modules simples parallèles entre eux. Couronne de 10 modules doubles:

$C_i = 3 \times 170 - 500 = 10$

50 Donc, quatre pyramides à placer, deux sur chacun des deux modules diamétralement opposés, soit octaèdres, soit basées sur carrés libres.

Dans une variante, les deux flasques sont reliées par un cube.  $C_i = 3 \times 160 - 460 = 20$ . Il faut une pyramide sur certaines faces du cube. De préférence, sur les faces parallèles au plan de la couronne, 5 sur chaque flasque par exemple. Il faut en rajouter quatre diamétralement opposées.

55 On peut, dans une variante, avoir des empilements de cubes entre flasques. Ex: 2 cubes  $C_i = 72 - 52 = 20$  pour un module.

Pour 10 modules:  $C_i = 100$ .

Huit pyramides sur les faces de la surface latérale plus une dans le plan médian  $\Delta C_i = 90$ , plus quatre diamétralement opposées.

Couronne de huit modules simples:  
( détail figure 2 bis de la page 37/38).

$$\theta = 79,18$$

$$2\theta = 158,36$$

- 5 angle entre les plans de deux pentagones consécutifs d'une même couronne:  $\beta = 152,53$

$$Ci = 3(8 \times 10 - 6) - (8 \times 22 - 8) = 24$$

Huit modules doubles:  $Ci = -16$ .

Ce cas correspond au cas Vé entre carrés à l'extérieur de la couronne. On voit que  $2\theta > \beta$

- 10 Donc, les modules sont coincés ou mieux, il faut avoir une barre côté commun des carrés qui flambe. C'est elle qui contraindra la structure ou qui jouera un rôle de ressort.

Si on maintient ces 8 barres qui dans une variante peuvent être ôtées, il faut encore enlever 14 barres pour avoir  $Ci = 6 - 8 = -2$ . On peut ôter 8 arêtes de pyramides pentagonales radiales sauf 2.

Une autre variante consiste à relier les flasques non pas avec des cubes mais avec des rhomboèdres. On peut ainsi obtenir un déphasage entre les flasques et des barres, s'apparentant aux dents d'un engrenage hélicoïdal.

- 15 On a ainsi un rotor qui peut avoir toutes les applications mécaniques qu'on leur connaît: turbine, moteur pneumatique, hydraulique, électrique, transmission.

Les rhomboèdres ont des faces en losanges, composées de deux triangles équilatéraux, il est facile de les bloquer ou de débloquer en otant la diagonale.

- 20 Dans une variante déformable, on voit que le déphasage des flasques est lié au volume des prismes à base carrée qui évoluent du carré vers des rhomboèdres quelconques. On peut utiliser ce fait pour réaliser des pompes, des systèmes de régulation des presses et d'autres applications.

Toujours dans une variante déformable contrôlée, il y a possibilité de faire varier l'angle entre les flasques, et ainsi de transmettre des rotations entre des axes non colinéaires. Bien-sûr, il ne s'agit pas d'un seul

- 25 rhomboèdre comme liaison, mais d'une suite dentelée pour obtenir des angles entre axes intéressants.

Comme application statique, les couronnes envisagées sont prévues pour faire fonction de carcasse de pneumatique. Elles suppriment le gonflage.

La figure 4 (de la feuille 38/38) représente une rotule elle-même une sphère comprise entre deux paires de cônes, chaque paire est obtenue par roulage d'un métal en feuille, chaque cône dans un sens différent de

- 30 l'autre. Les cônes sont écartés pour loger la bille et la pincent donc.

## Revendications

- 35 1. Structure articulée s'introduisant dans de nombreux ouvrages de construction ayant une fonction statique ou dynamique pouvant s'assembler, se combiner, se recouvrir d'une peau tendre dans ces diverses applications, caractérisée en ce qu'elle est basée sur un polygone central en général régulier, triangle, carré, pentagone et des polygones adjacents à celui-ci et adjacents entre eux, tous étant articulés par des rotules, ces derniers polygones étant en nombre égal au nombre de côtés du polygone central

- 40 ayant eux-mêmes un côté de plus et chacun étant la base d'une pyramide articulée à son sommet.

2. Structures articulées concentriques à barres égales ou noeuds équidistants caractérisées en ce qu'elles comportent des pyramides dont la base est un polygone régulier quelconque, auxquelles il manque une ou plusieurs barres de façon à obtenir l'isostaticité de la structure ou sa mise en contrainte judicieusement prévue.

- 45 3. Structures articulées concentriques à barres égales ou à noeuds équidistants selon la revendication 1 dont l'épaisseur des plaques est égale à la longueur des barres divisée par  $\sqrt{2}$  caractérisées en ce que son centre est occupé par un tétraèdre entouré de quatre pyramides carrées orientées vers le haut ou vers le bas selon la direction cardinale sur laquelle elles se trouvent par rapport au tétraèdre central.

- 50 4. Structures articulées concentriques à barres égales selon la revendication 2 caractérisées en ce qu'elles sont obtenues à partir de la croix centrale en construisant des tétraèdres sur les triangles disponibles pouvant apparaître spontanément ou après avoir complété les bases de pyramides situées dans le plan de la structure et reliées à leur sommet.

- 55 5. Structure articulées concentriques selon les revendications 2 et 3 caractérisées en ce que leur isostaticité est garantie par un contour polygonal dentelé se présentant dans les deux plans parallèles contenant la structure plaque comme des marches d'escalier les deux tracés étant déphasés d'une demi marche et reliés par des barres formant ainsi des tétraèdres ce motif se répétant tous les quarts de tour où se trouvent des interruptions périphériques ou internes de même que des barres peuvent être ôtées à l'intérieur de la structure sans modifier la concentricité et afin d'obtenir l'isostaticité.

6. Structures articulées concentriques à barres égales selon la revendication 1 caractérisées en ce qu'elles comportent un nombre pair ou impair égal à  $N^2$  ou 1 ou 8 modules cadres identiques formée d'un carré de côté unité relié à un carré de côté double, parallèle, par une triangulation le petit carré pouvant être la base d'une pyramide ou d'un octaèdre, le grand carré pouvant comporter ses médianes, les grands carrés sont juxtaposés et ont donc des côtés communs, les petits carrés sont reliés éventuellement par des barres prolongeant leurs côtés.

7. Structure articulée concentrique à barres égales selon la revendication 5 comportant un nombre impair de modules cadres caractérisée en ce que seul celui du centre qui comporte un octaèdre et ceux des coins qui comportent une pyramide sont des modules dont le petit carré n'est pas un trou.

10 8. Structures articulées concentriques à barres égales selon la revendication 5 comportant un nombre pair de modules cadres,  $n = 2p$  par côté, caractérisées en ce qu'elles comportent une pyramide centrale,  $2^{n-1}-1$  croisillons c'est-à-dire en fait ensemble des quatre arêtes d'une pyramide, un double chainage reliant les petits carrés des modules périphériques, parallèles au contour extérieur.

15 9. Procédé de dimensionnement des structures formées à partir de celles décrites selon la revendication 5 caractérisé-en ce qu'il fixe le rapport entre le côté et l'épaisseur d'une plaque à  $2n-2$  -ence qu'il exclue certaines valeurs de  $n$  pour lesquelles l'isostaticité ne pourrait être obtenue en envisageant toutes les répartitions correspondant au critère d'isostaticité globale  $C_i = 6$  -en ce que le PGDC de longueur et de la largeur d'une plaque rectangulaire soit un multiple de  $2x\sqrt{2} \times$  épaisseur de la plaque.

20 10. Structures concentriques articulées à barres égales caractérisées en ce qu'elles sont composées d'un empilement de polygones réguliers dont le nombre de côtés augmente en doublant tandis que leur dimension est divisée par deux, reliés par une triangulation dont les barres sont égales au plus petit côté, le premier polygone étant un segment  $l$  dans le cas extrême le volume entre celui-ci et le carré de côté moitié est formé de deux tétraèdres et d'une pyramide, le polygone médian ou extrême étant un cercle de rayon  $l/\pi$ , le volume intérieur étant partitionné par les arêtes d'une pyramide et de tétraèdres réels ou fictifs.

25 11. Structures à maillons spécifiques pouvant en particulier servir de conducteur caractérisées en ce qu'elles sont composées de modules décrits selon la revendication 9 reliés par des polygones identiques la périodicité étant égale à la longueur d'un ou plusieurs maillons si ceux-ci sont incomplets et n'ont pas de plan de symétrie perpendiculaire à leur axe.

30 12. Structures concentriques articulées à barres égales selon la revendication 9 caractérisées en ce qu'elles ne comportent pas une triangulation équivalente à une hélice double ayant un filet à droite un filet à gauche mais une simple faisant ainsi apparaître des losanges.

35 13. Structures concentriques articulées à barres égales selon la revendication 1 caractérisées en ce qu'elles sont composées d'une couronne de pentagones située au centre de la structure et dont la stabilité est assurée par des pyramides à quatre ou cinq barres sur les pentagones et au centre par des rayons, si nécessaires, ou en encore par une triangulation réduisant de moitié le nombre de côtés et des rayons et que cette structure s'étend par anneaux concentriques variés.

40 14. Structures concentriques articulées à barres égales selon la revendication 12 utilisée en particulier comme carcasse de pneu caractérisées en ce qu'elles sont composées d'une double couronne de cinq dodécaèdres dont des pentagones portant les pyramides utiles à l'isostaticité ou à la précontrainte souhaitée, les deux couronnes étant en coïncidence par dix faces pentagonales de leur flanc.

45 15. Structures utilisées en particulier comme carcasse de pneu selon la revendication 13 caractérisées en ce que les pentagones de la bande de roulement exactement opposés à ceux des pentagones bordant le pentagone central, cela pour chaque couronne sont légèrement plus grands de façon à ce que les cinq dodécaèdres dès lors légèrement coniques coïncident par cinq faces radiales au lieu d'avoir une fente radiale entre deux dodécaèdres.

50 16. Structures concentriques articulées à barres égales selon la revendication 12 caractérisées en ce que la couronne comporte 8 pentagones comportant les pyramides adéquates deux faces de pyramides successives appartenant à une autre pyramide dont la pointe est l'extrémité extérieure du côté commun à deux pentagones, la structure étant étendue concentriquement de façon légèrement conique toujours à l'aide de pyramides.

17. Procédé thermique de mise en oeuvre et de mise en contrainte de la matière s'appliquant pour les structures concentriques à barres creuses caractérisé en ce qu'il provoque le dépôt de matière à l'origine en phase gazeuse ou liquide sur les barres creuses lors de la détente d'un gaz lequel est évacué par le centre de la structure.

55 18. Module composé de barres égales articulées entre elles valant par ses caractéristiques géométriques et les nombreuses possibilités de construction qu'il offre, caractérisé en ce qu'il est composé d'un pentagone portant une pyramide à cinq arêtes relié par huit barres aux trois côtés d'un carré dont deux d'entre elles sont parallèles, les six autres formant une triangulation, comprenant donc ainsi 21 barres ou 22

si l'on ferme le carré et présentant 12 faces en triangle équilatéral et deux faces carrées.

19. Couronne concentrique formée de barres égales caractérisée en ce qu'elle est formée de plusieurs modules, simples comme celui décrit dans la revendication 1 ou double, 8 ou 10 en particulier, selon, pour les modules doubles, que leur partie concave est à l'intérieur ou à l'extérieur de la couronne.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Neu eingereicht / Newly filed  
Nouvellement déposé

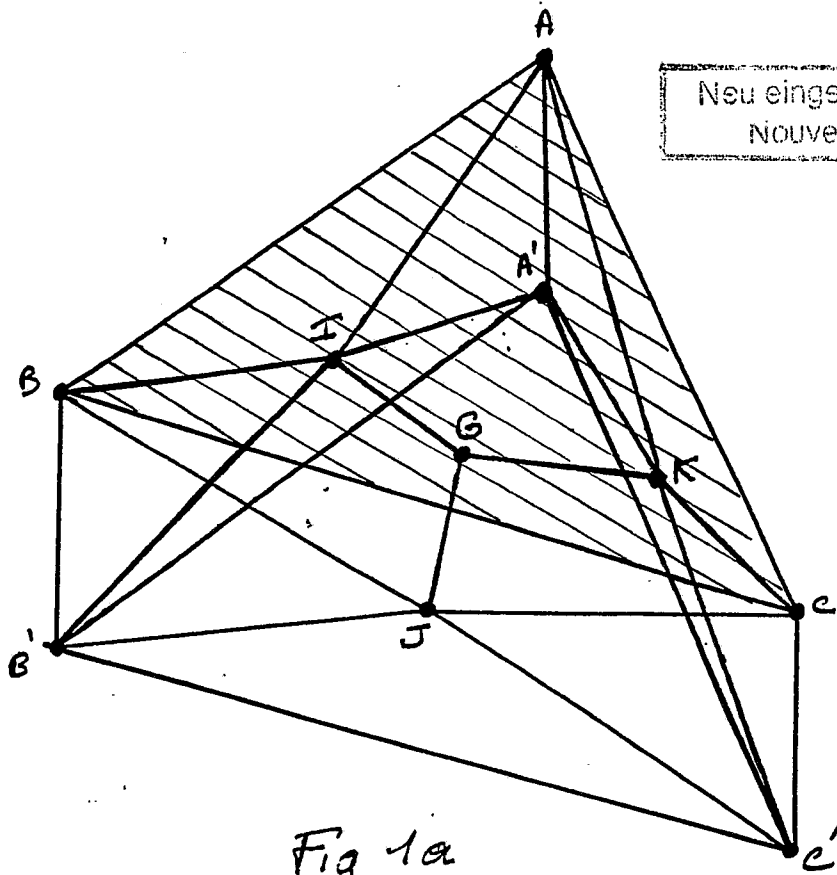


Fig 1a

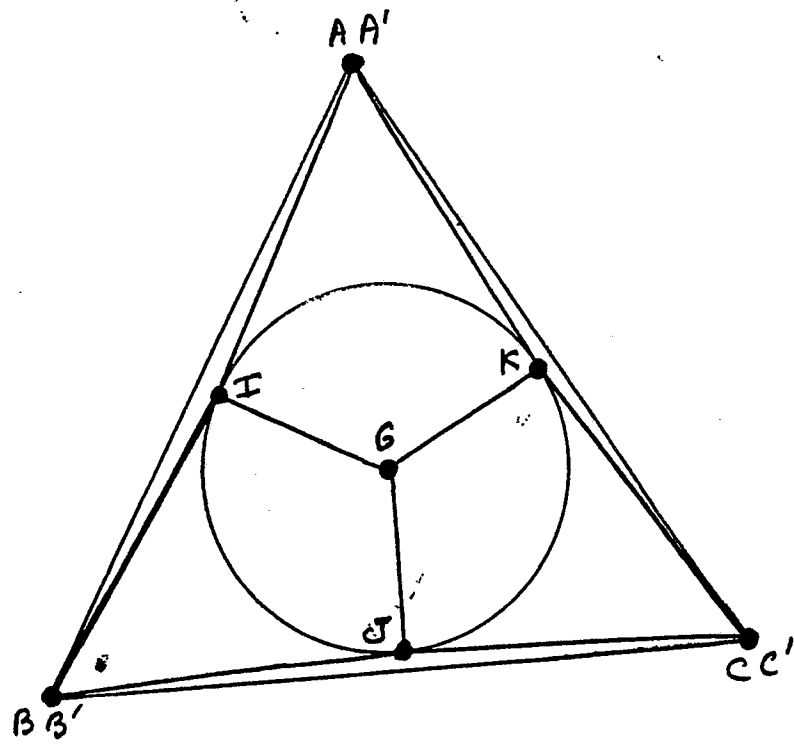


Fig 1b

Neu eingereicht / Newly filed  
Nouvellement déposé

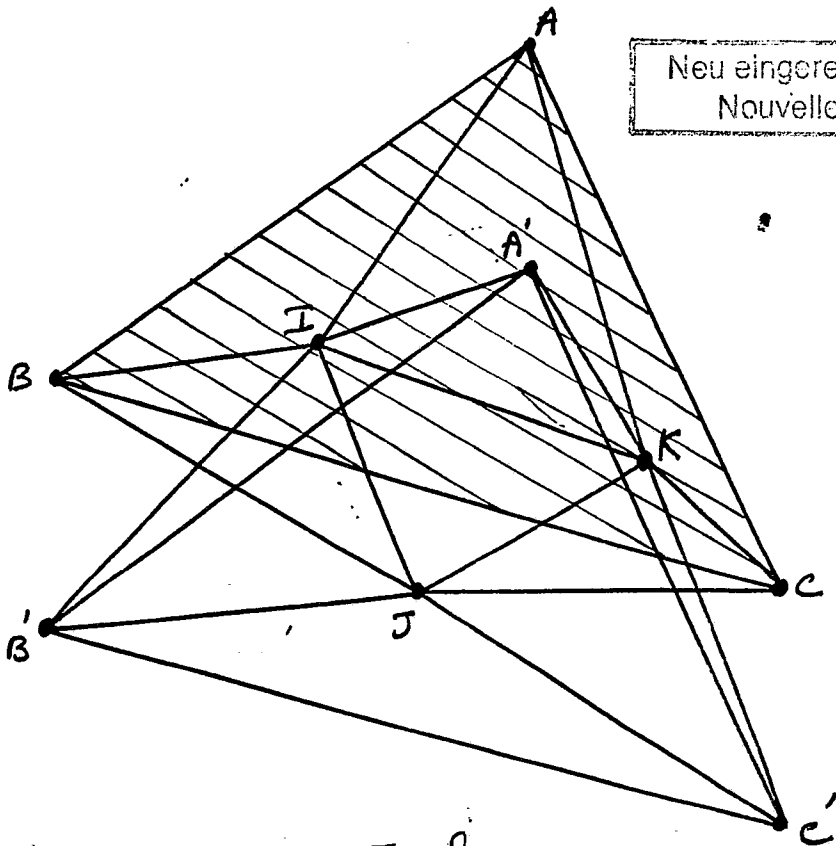


Fig 2a

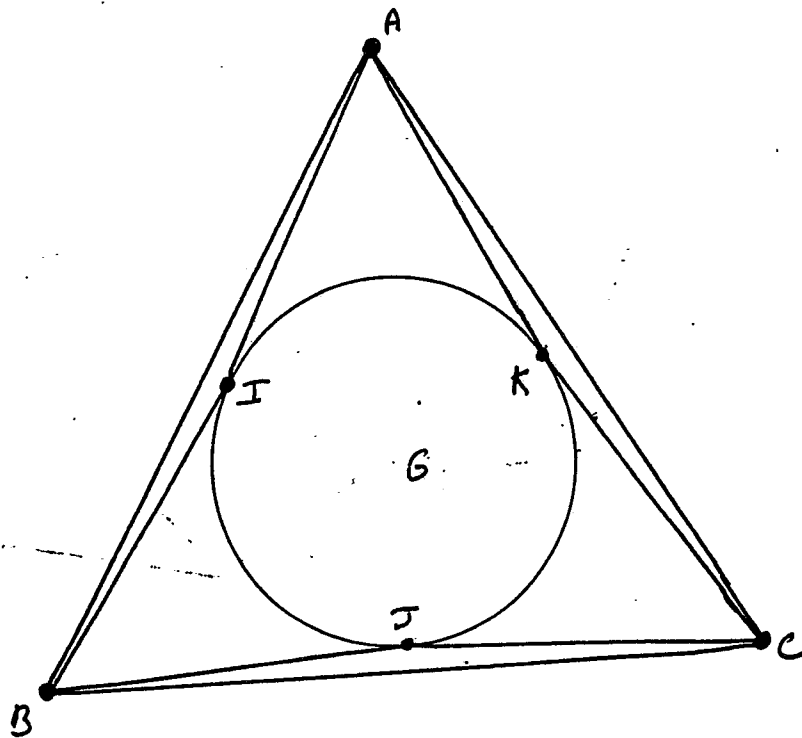
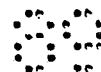


Fig 2b



Neu eingereicht / Newly filed  
Nouvellement déposé

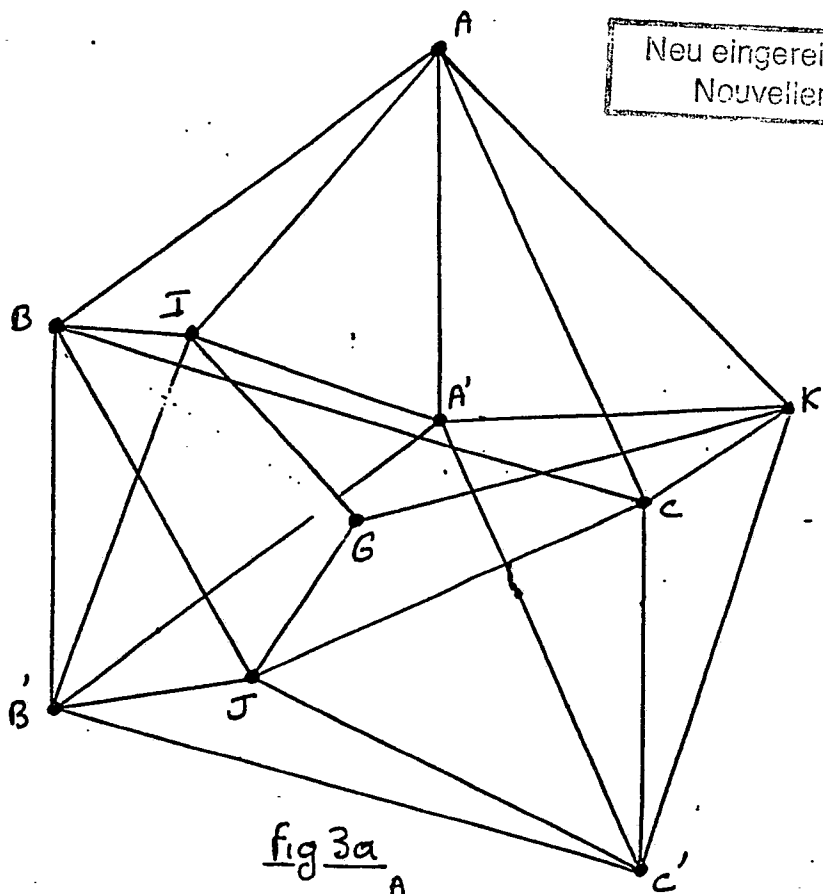


fig 3a

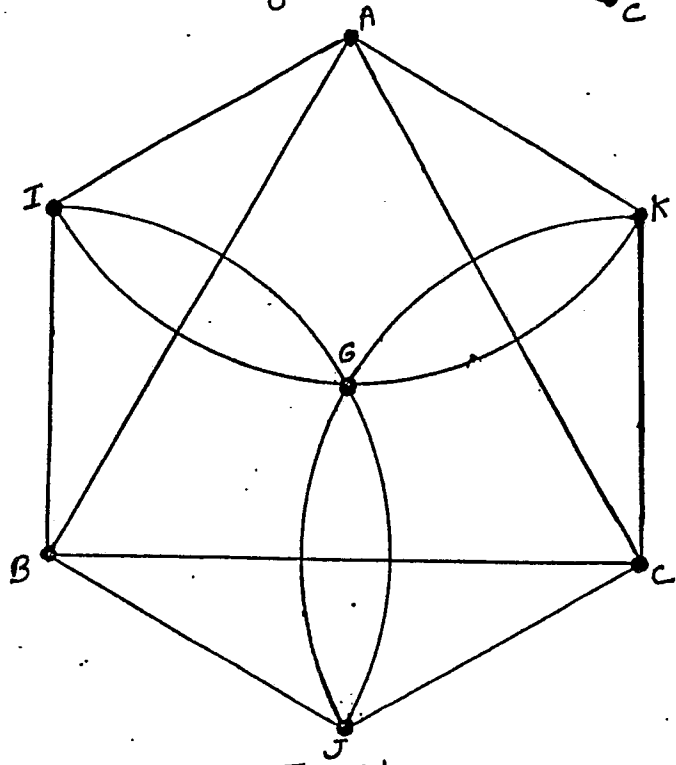
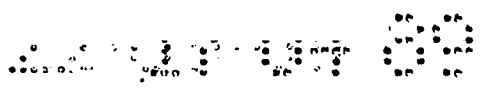


Fig 3b



Neu eingereicht / Newly filed  
Nouvellement déposé

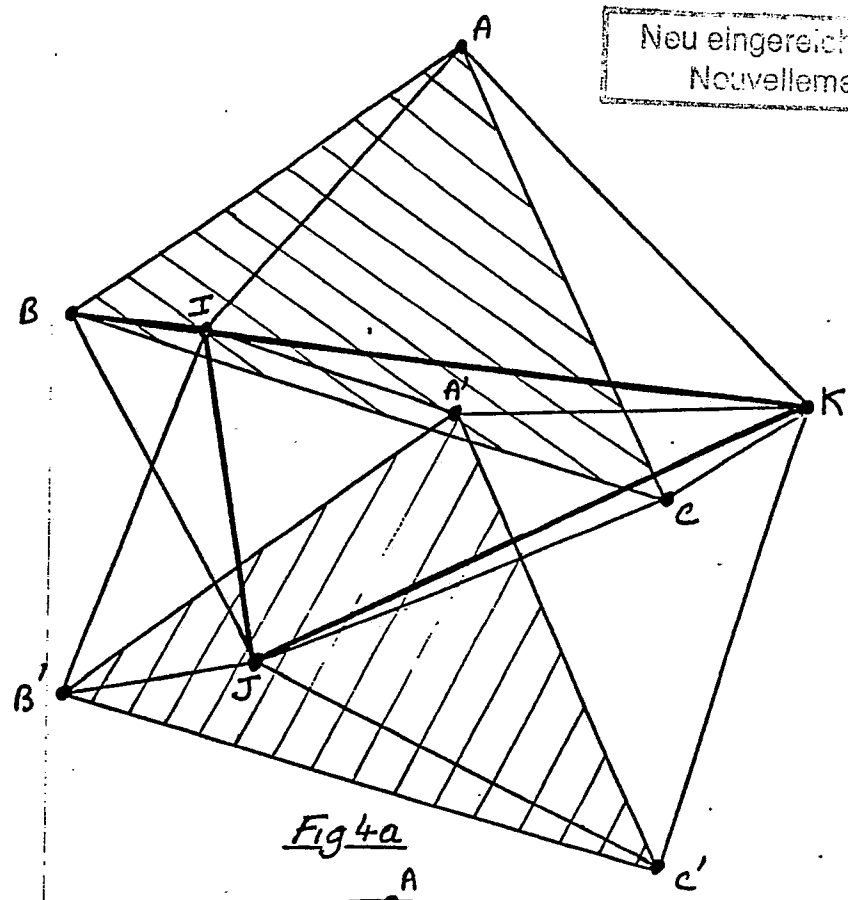


Fig 4a

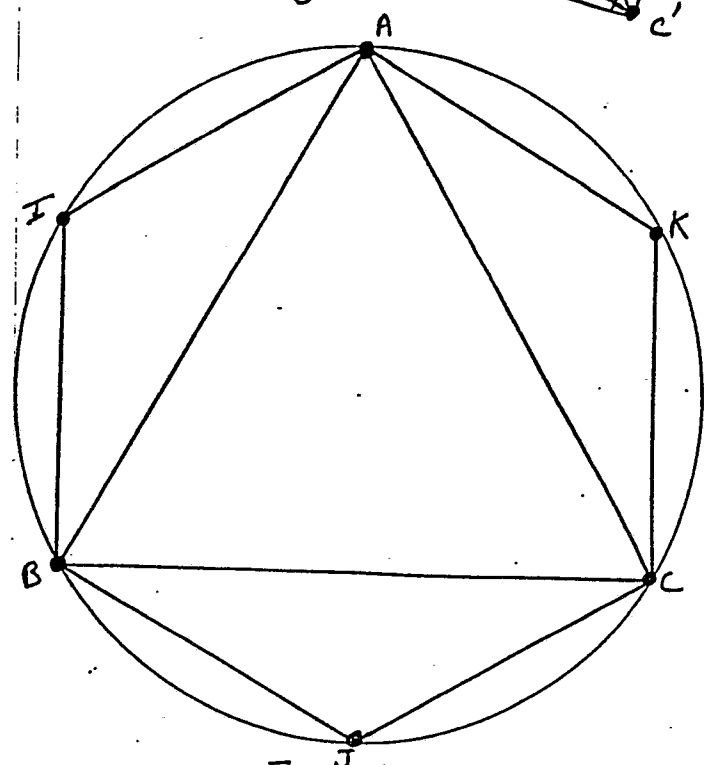
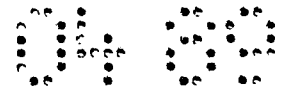


Fig 4b



Neu eingereicht / New, filed  
Nouvellement déposé

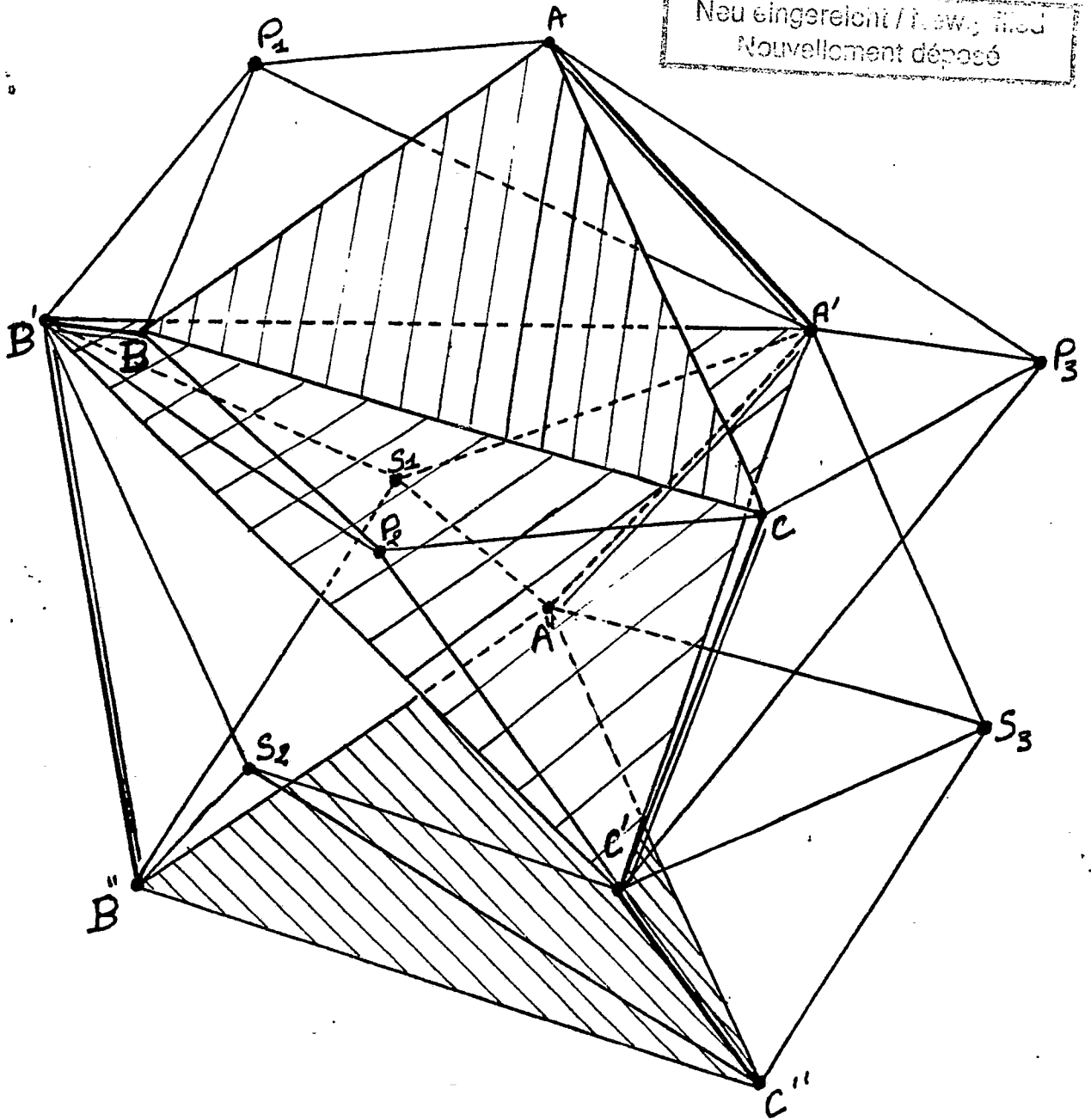
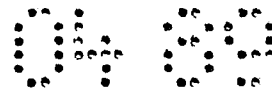


Fig 5



droit / new / filed  
nouveau déposé

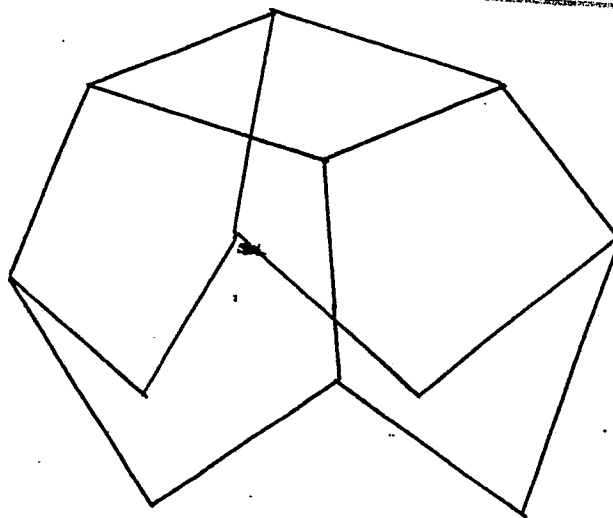
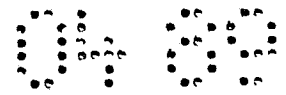


fig 6



reicht / rinv. / fibro  
Nouvellement déposé

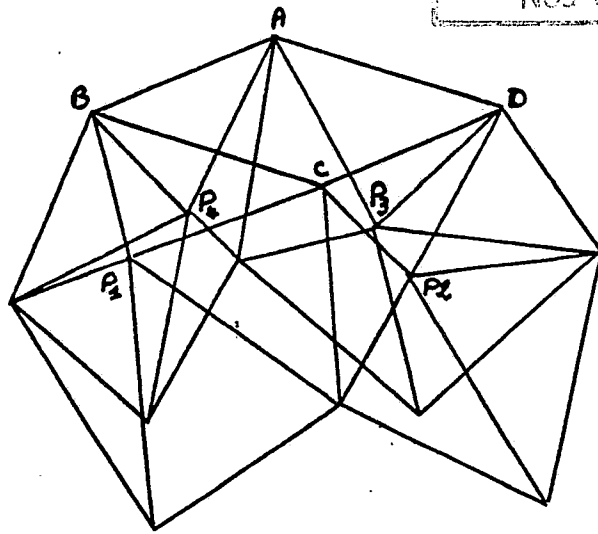


fig 7

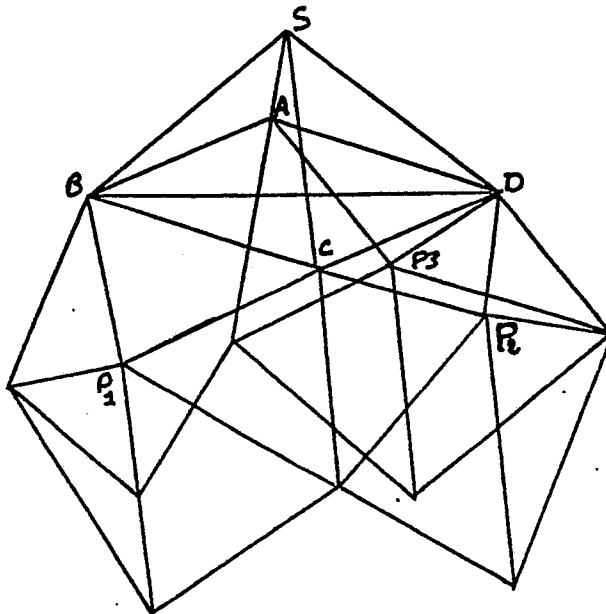
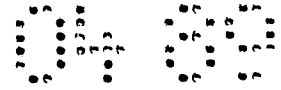


fig 8



Neu eingereicht / Newly filed  
Nouvellement déposé

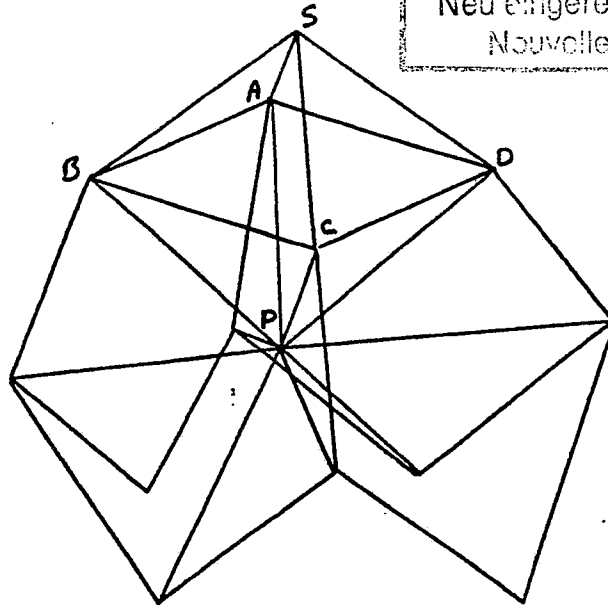


fig 9

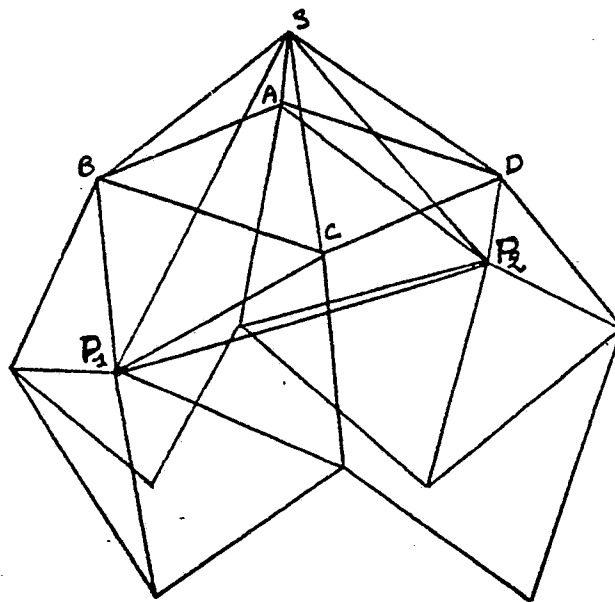


fig 10

Neu eingereicht / Nouvellement déposé

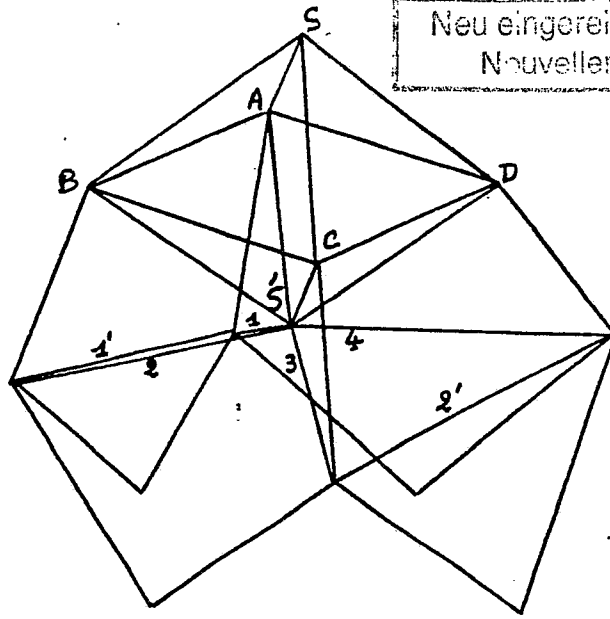


Fig 11

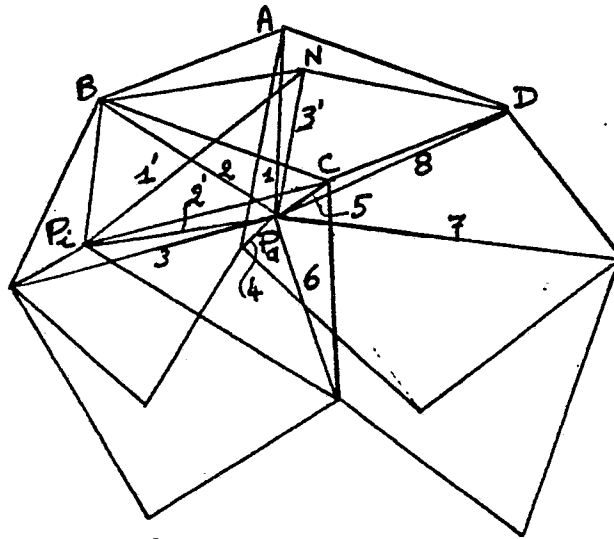
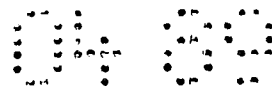


Fig 12



11/01/83  
ent déposé

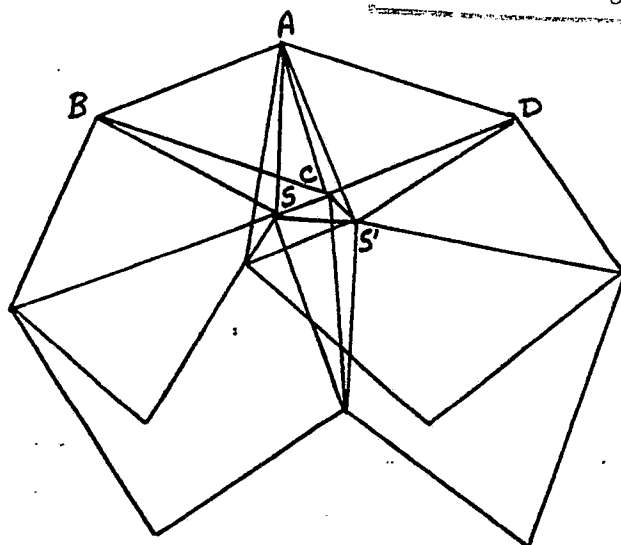


fig 13

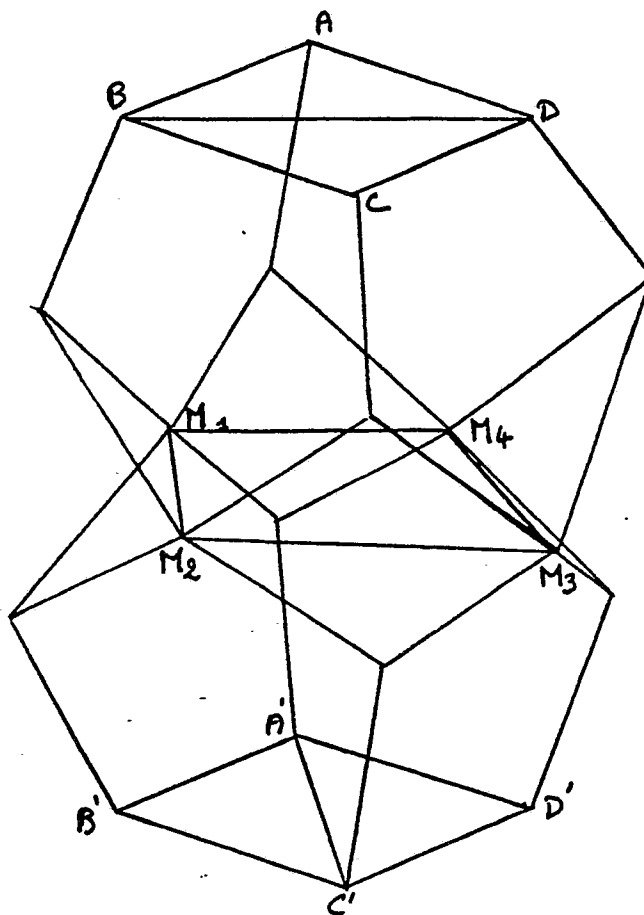


fig 14

Neu eingereicht / Newly file  
Nouvellement déposé

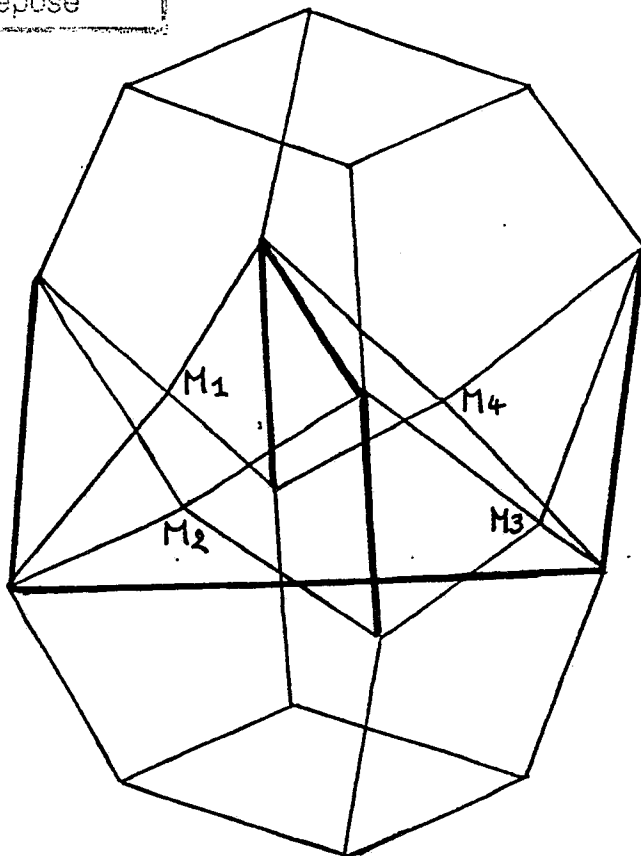


fig 15

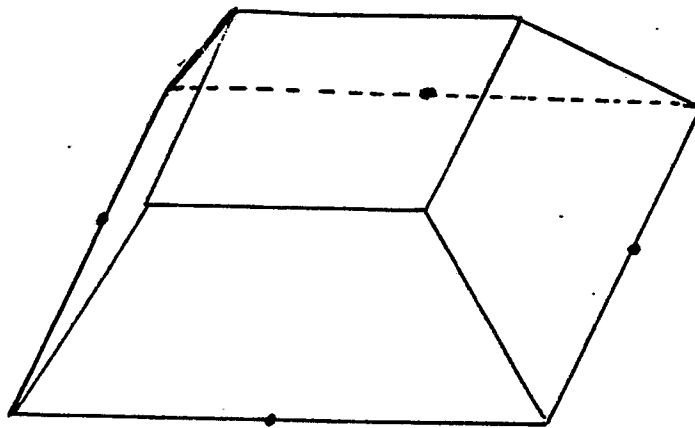
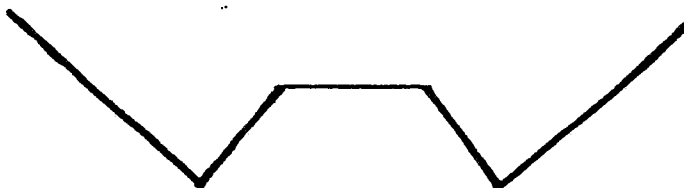


Fig 16a





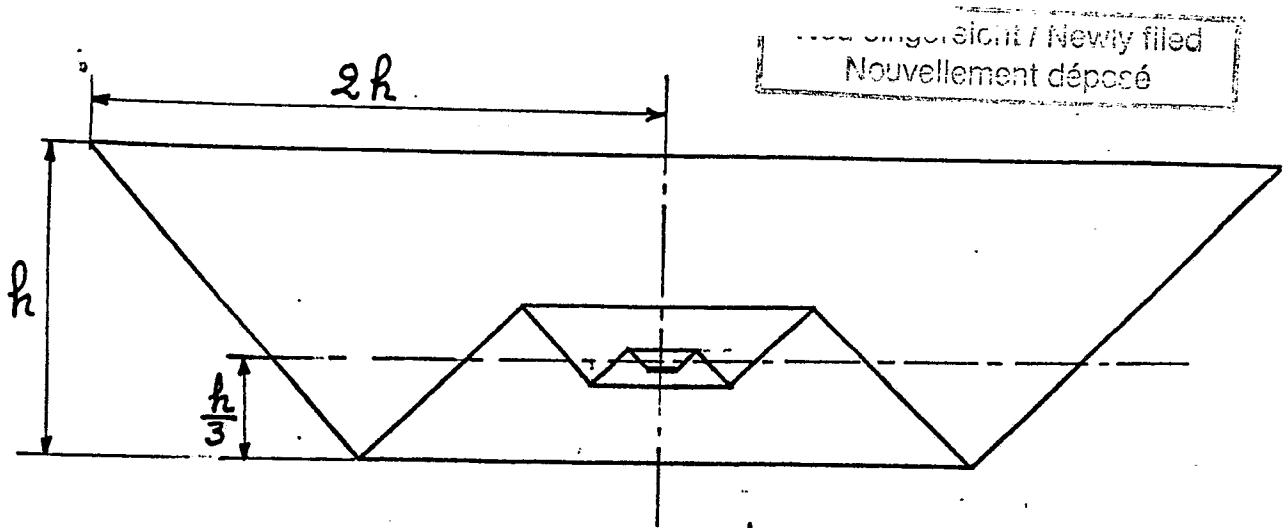


Fig. 16d

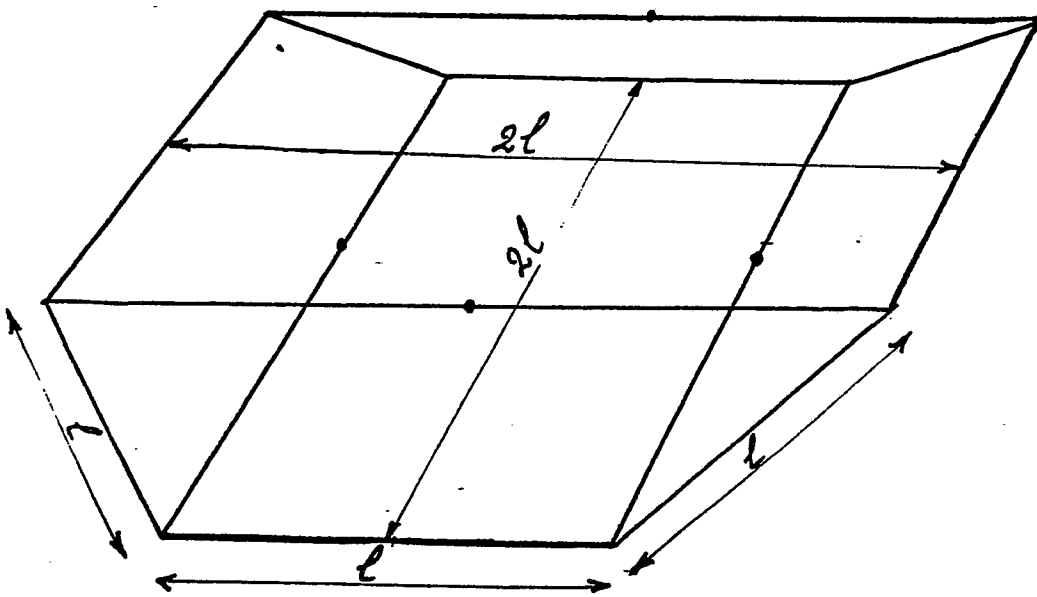
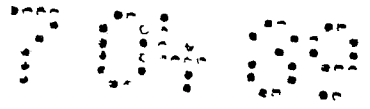


Fig 16e



brecht / 1-0-ly filed  
moment déposé

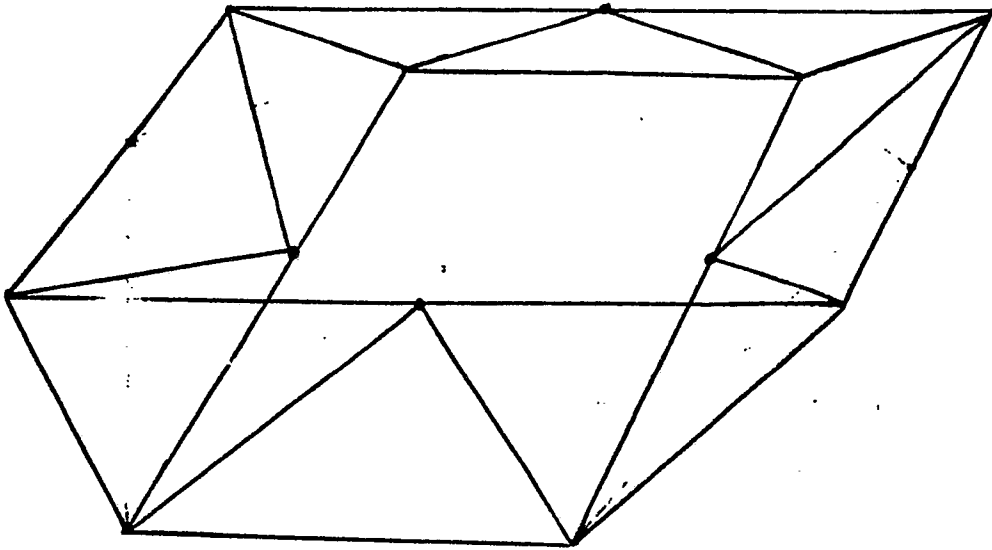


Fig 16h

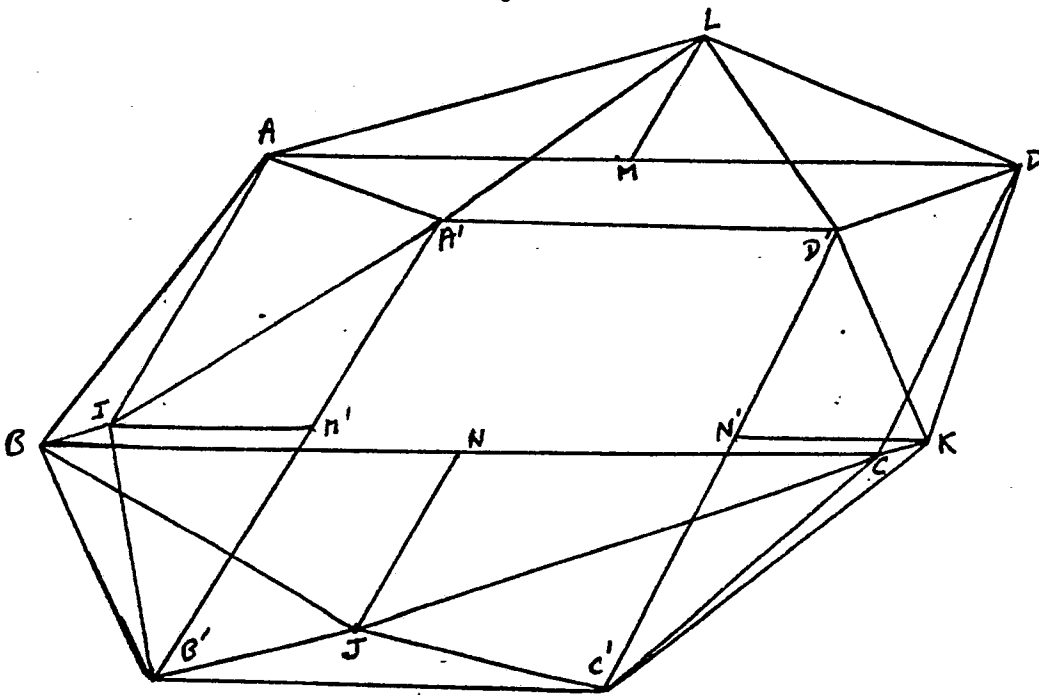
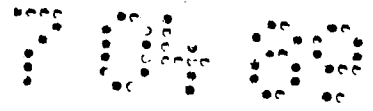


Fig 16i



Neu eingereicht / Newly  
Nouvellement dépos

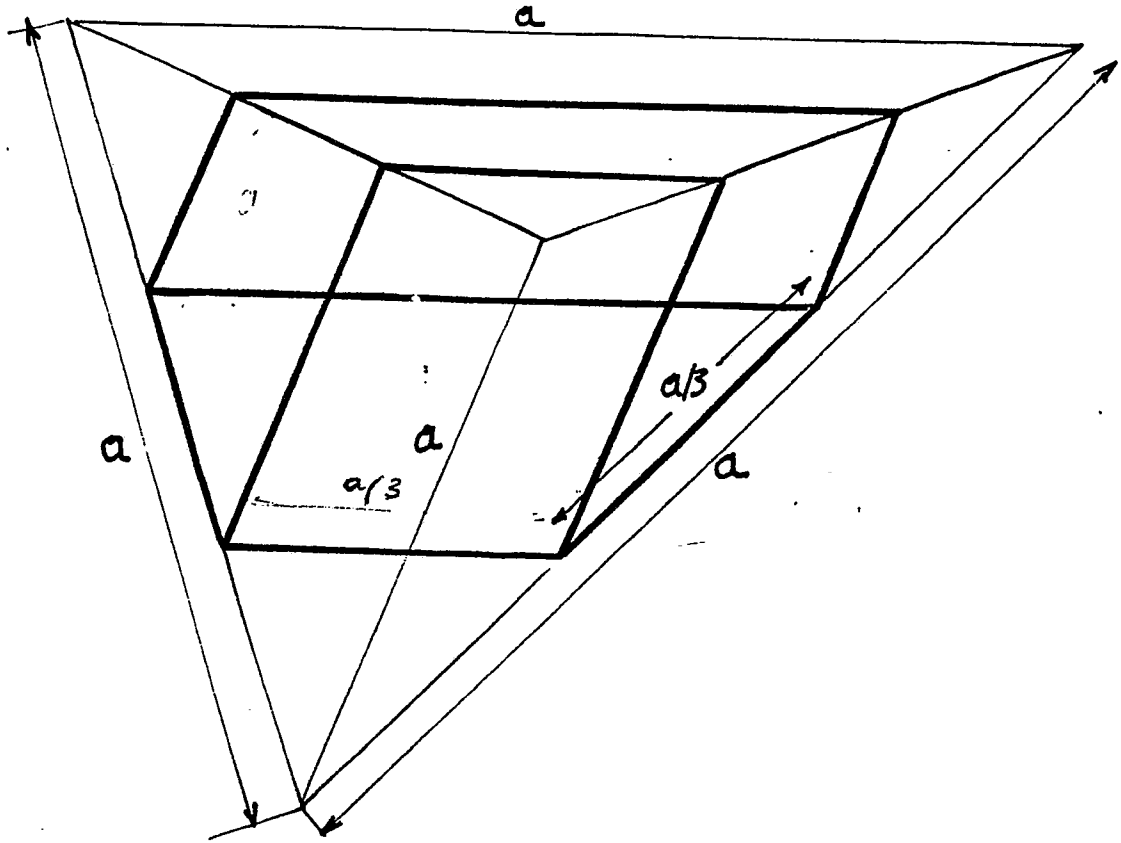


Fig 16f

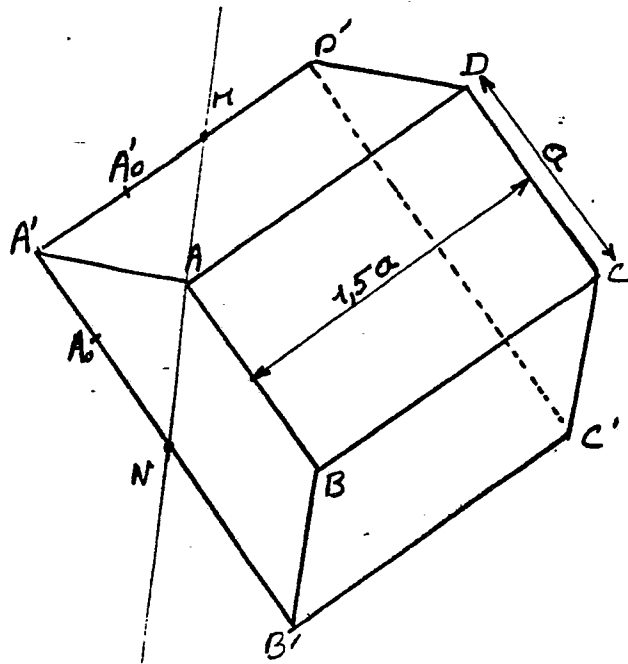


Fig 16g

Neu eingereicht / Newly fi  
Nouvellement déposé

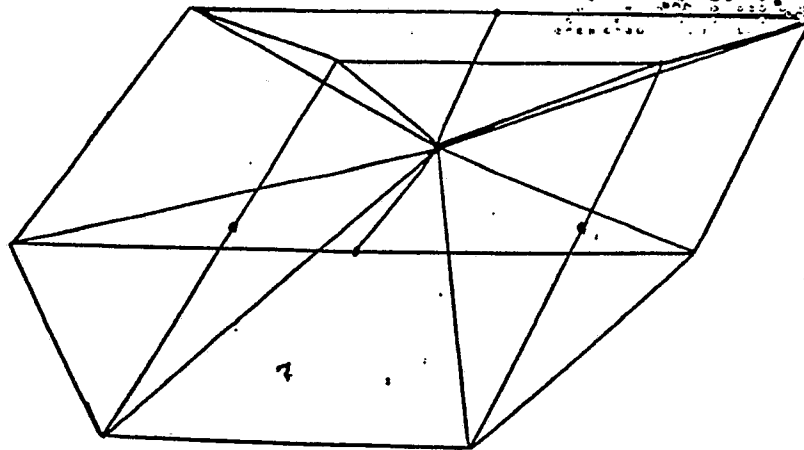


Fig 16J

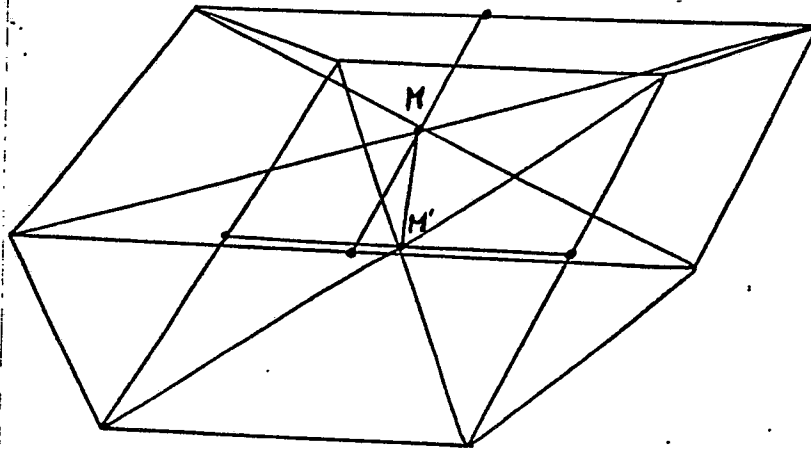
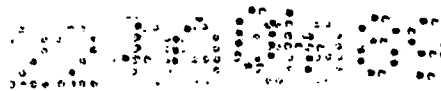


Fig 16k



Neu eingereicht / Newly filed  
Nouvellement déposé

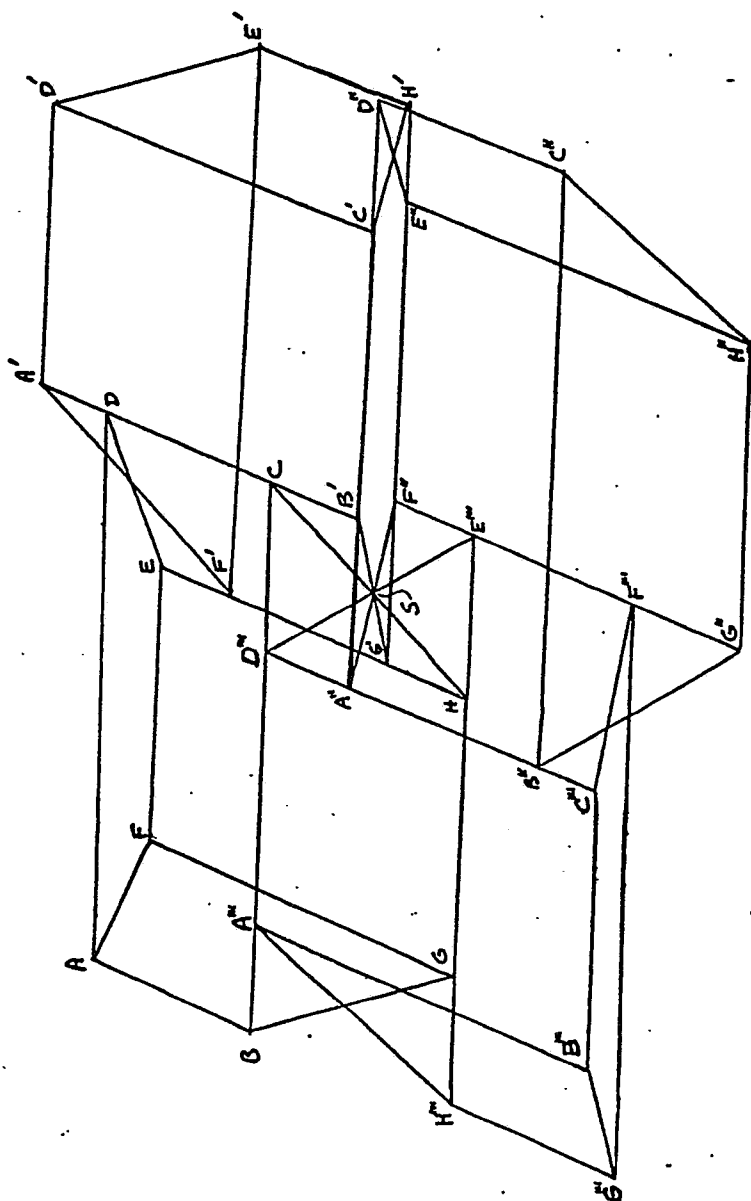


Fig. 17

Neu eingereicht / Newly  
Nouvellement déposé

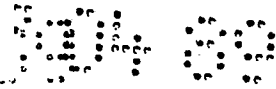
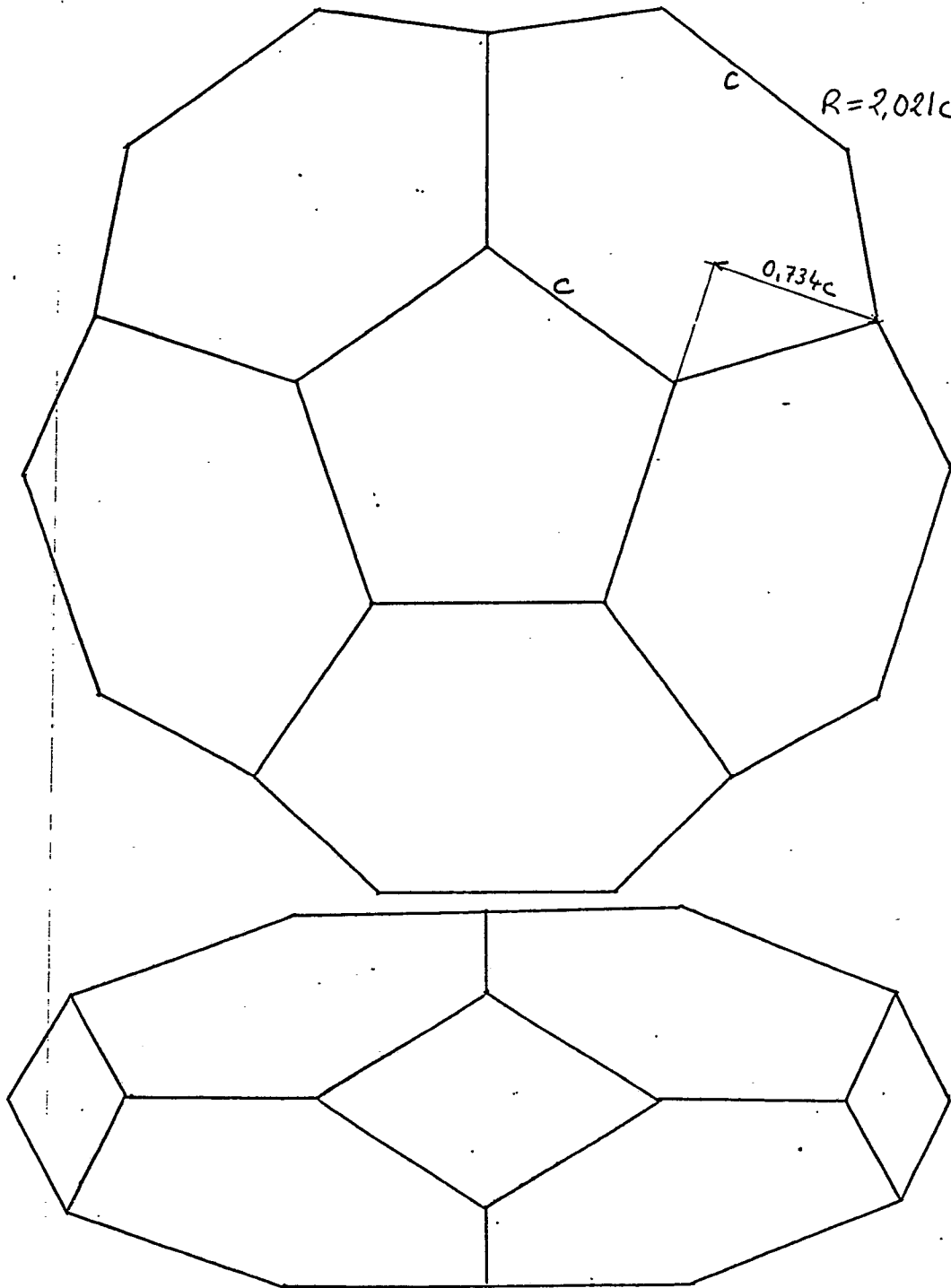


Fig. 18a



Neu eingereicht / Newly filed  
Nouvellement déposé

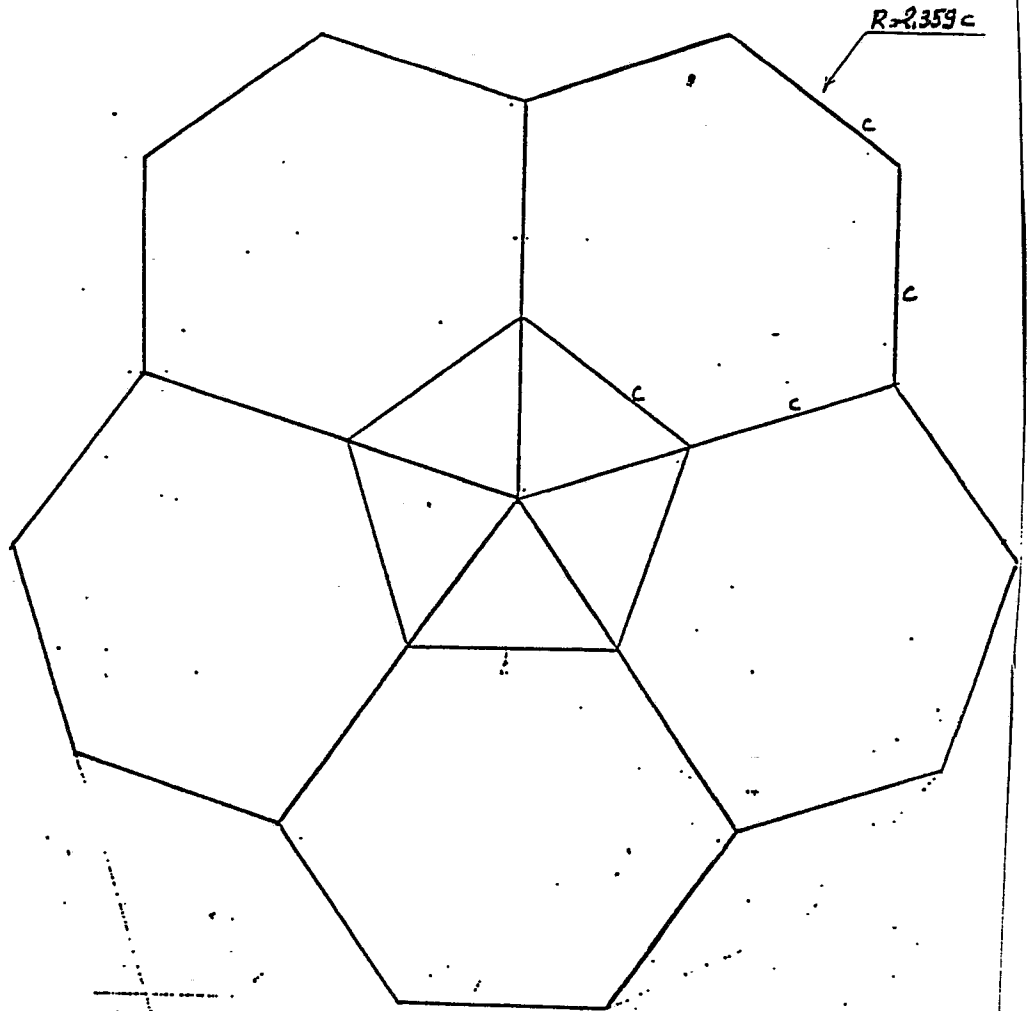


Fig 18b

Neu eingereicht / Newly filed  
Nouvellement déposé

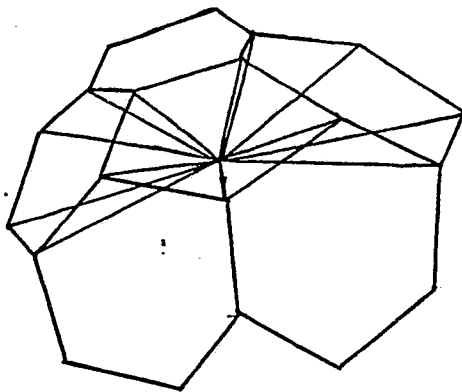
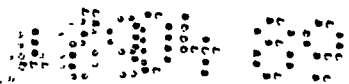


fig 18c

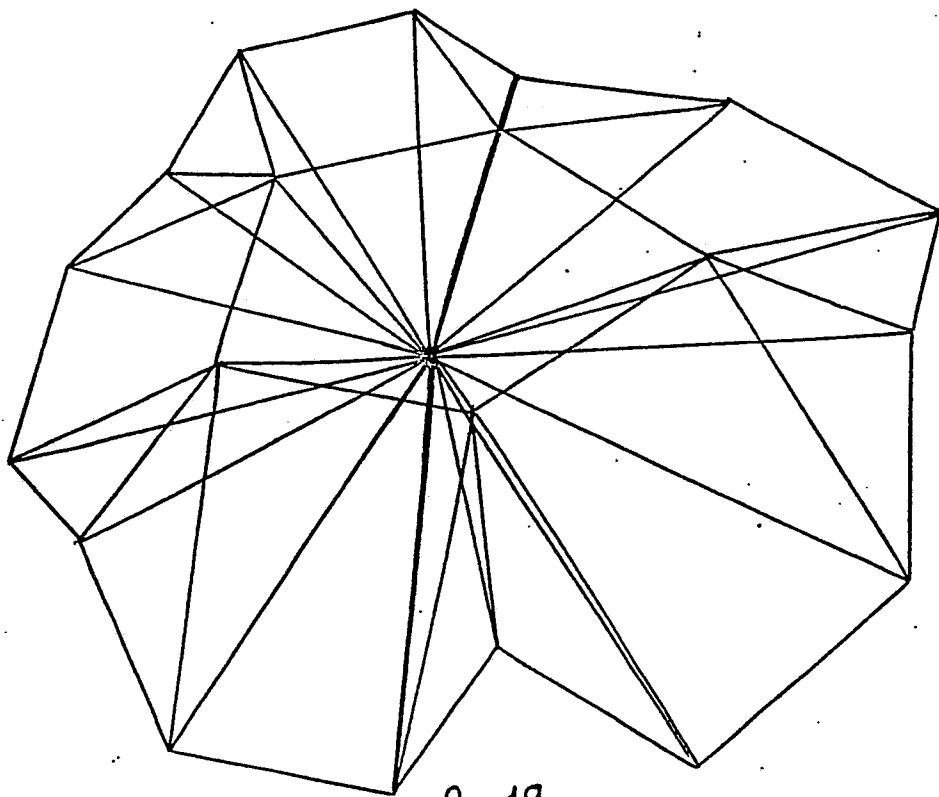


fig 19



Neu eingereicht / Newly filed  
Nouvellement déposé

0362452A2

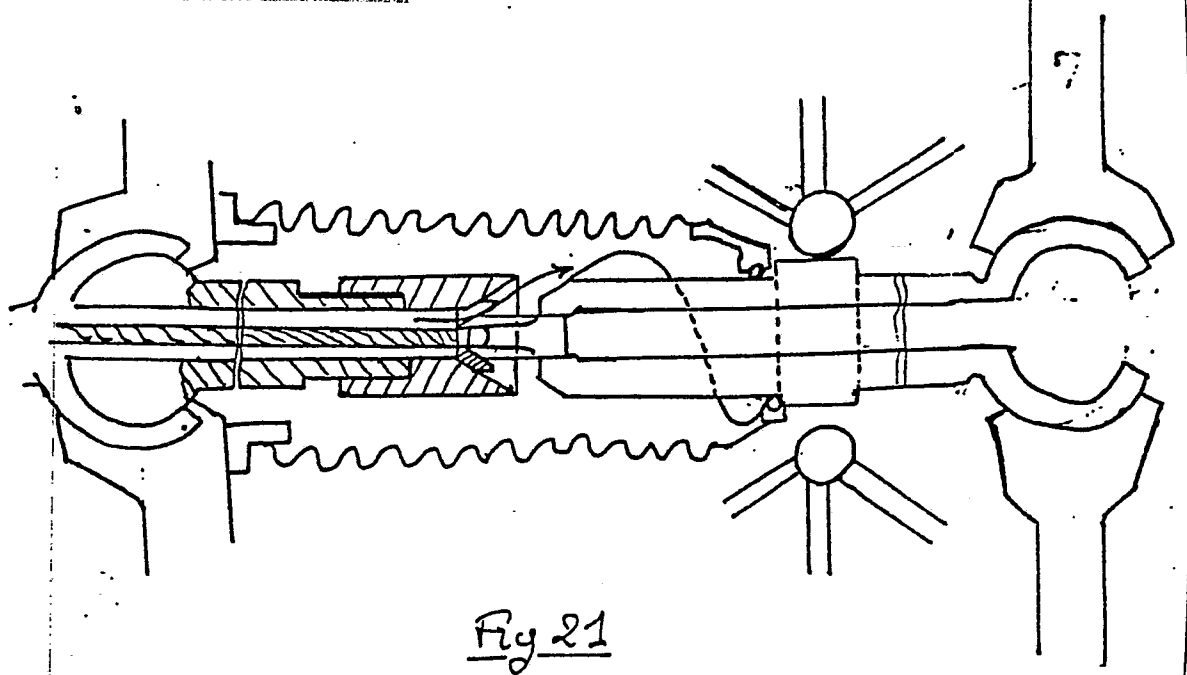


Fig 21

Neu eingereicht / Newly filed  
Nouvellement déposé

2 2 0 1 3 0 4 0 0

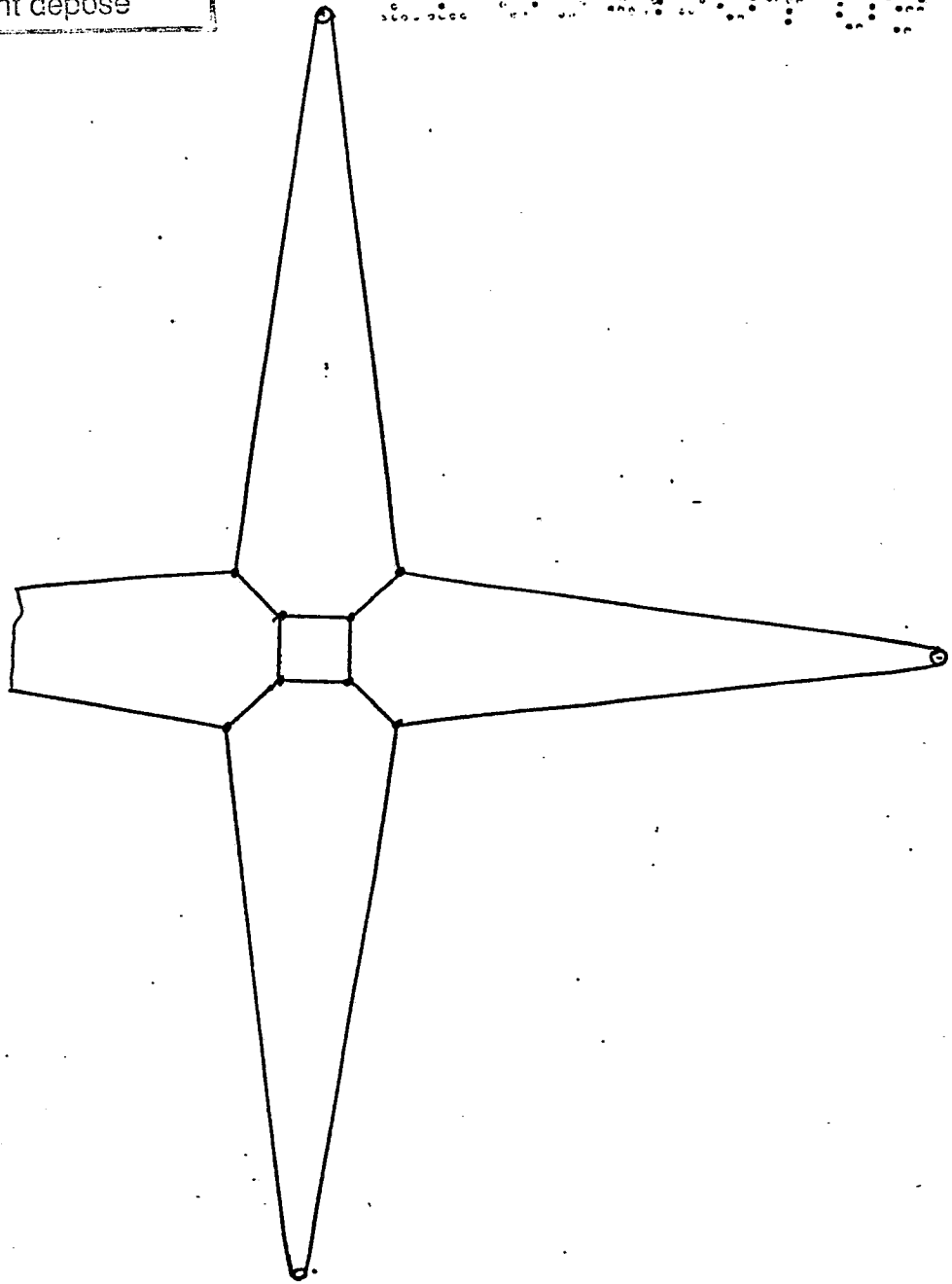
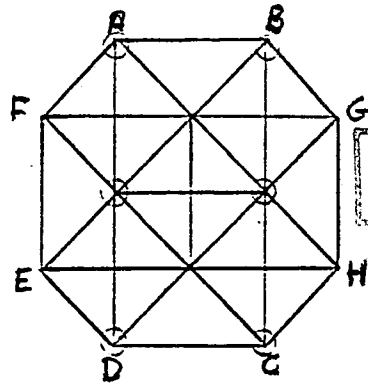


Fig 22



Neu eingereicht / Newly filed.  
Nouvellement déposé

fig 1

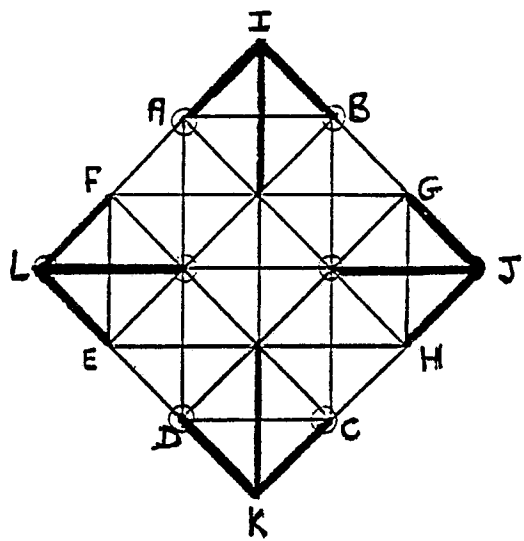


fig 2

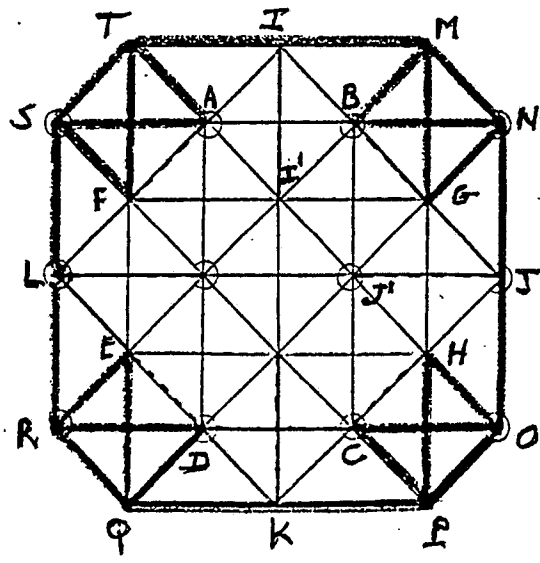


fig 3

not newly filed  
document déposé

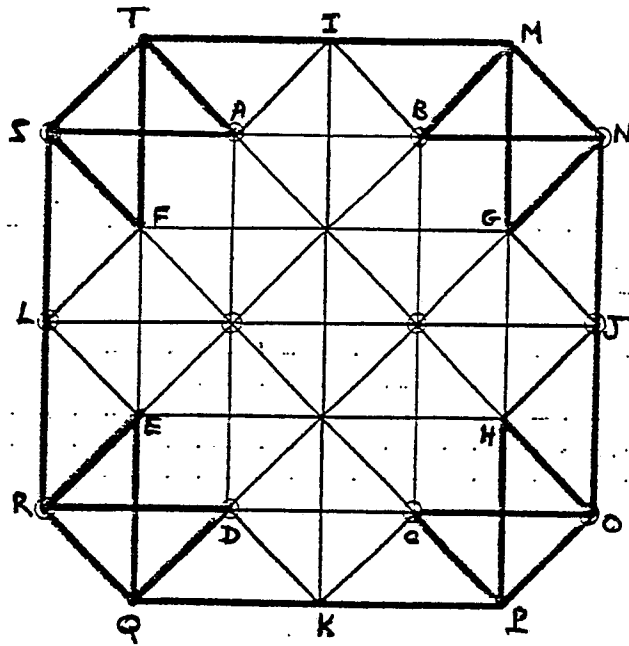


Fig 4

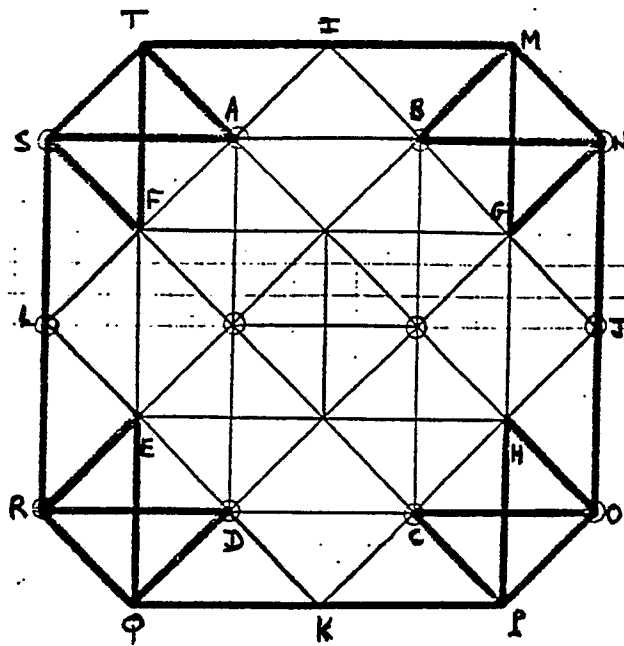


Fig 5

INNOVATION  
dépensé

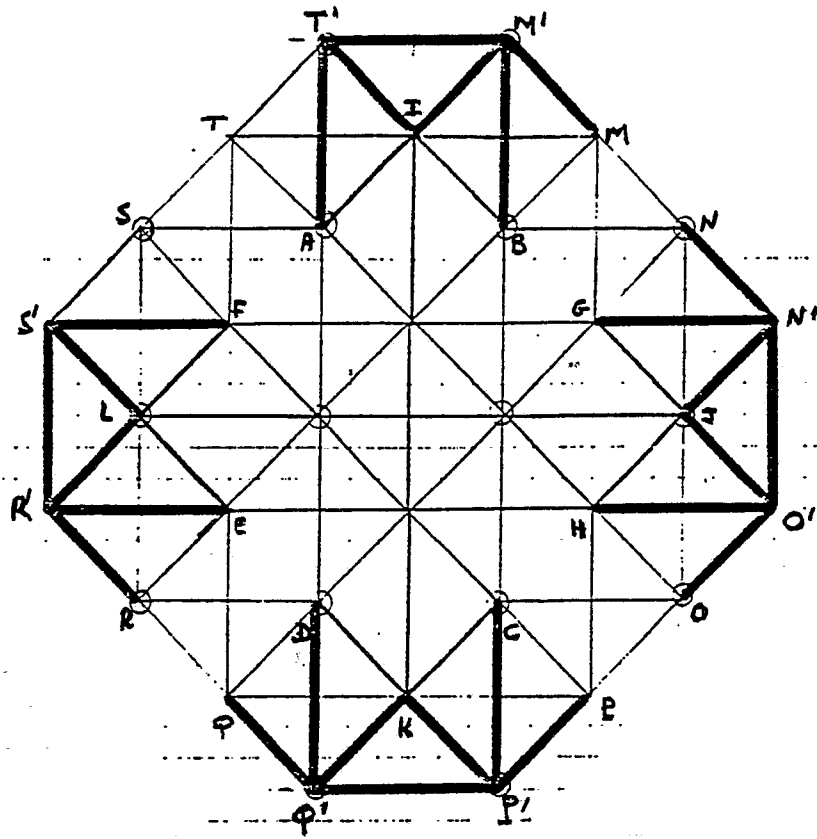


Fig 6

Neu eingereicht / Newly filed  
Nouvellement déposé

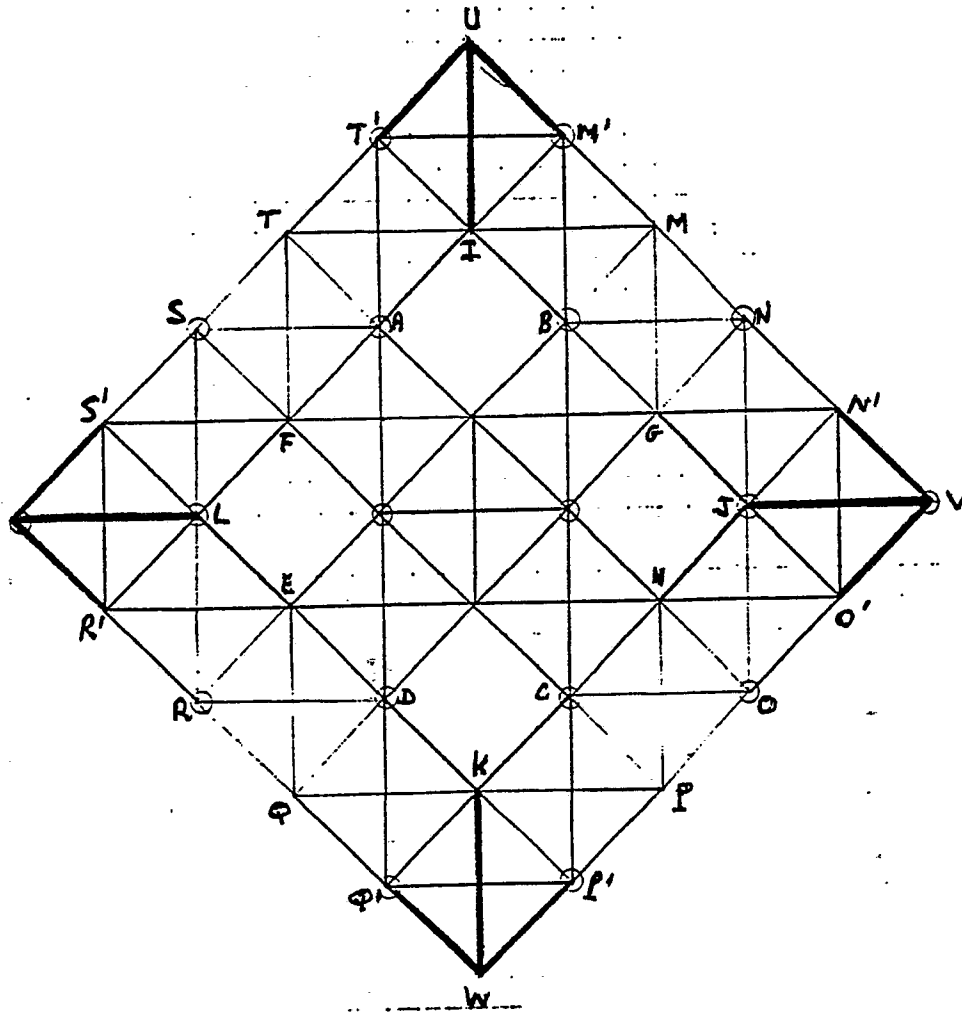


Fig. 7







neu eingereicht / Newly filed  
Nouvellement déposé

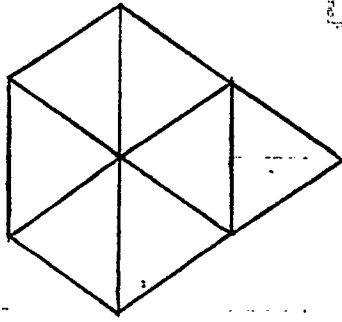


fig 10

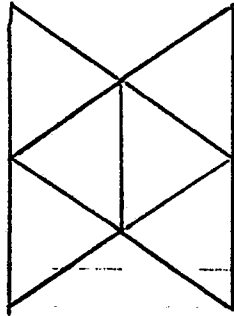


fig 11a

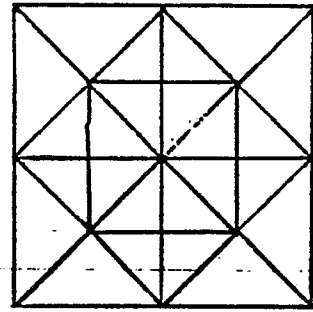


fig 11b

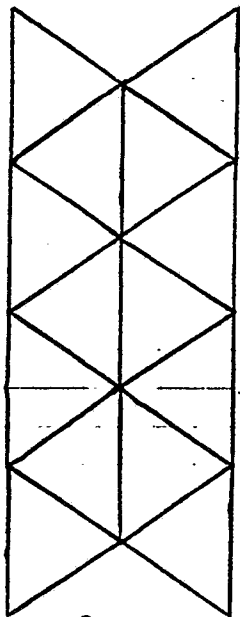


fig 12a

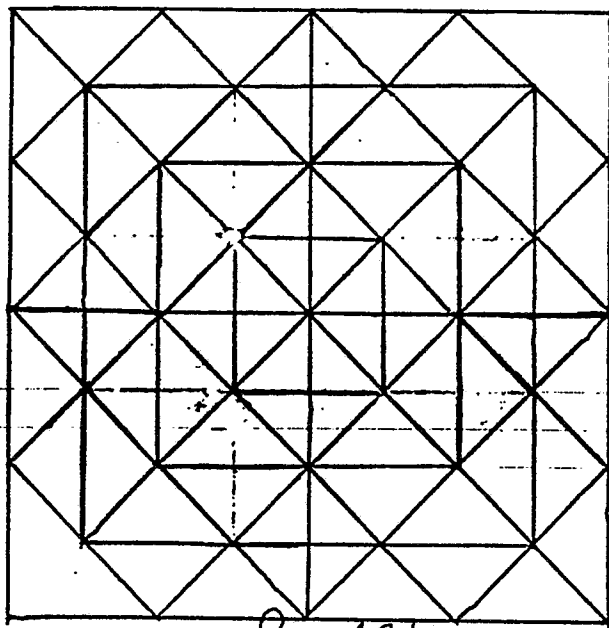


fig 12b

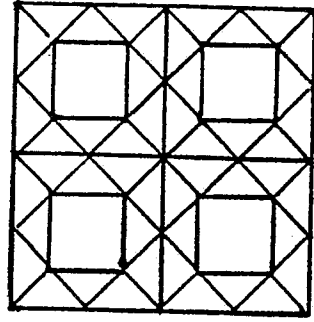
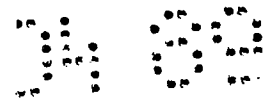


Fig 13

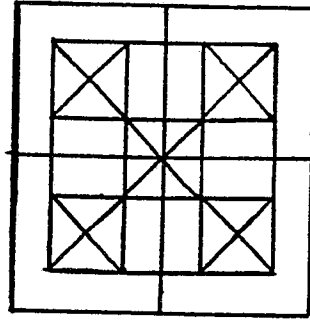


Fig 14

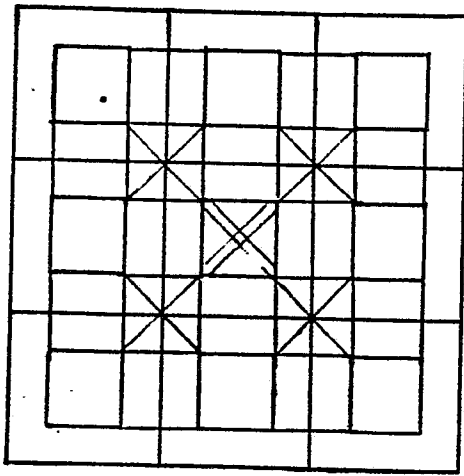


Fig 15

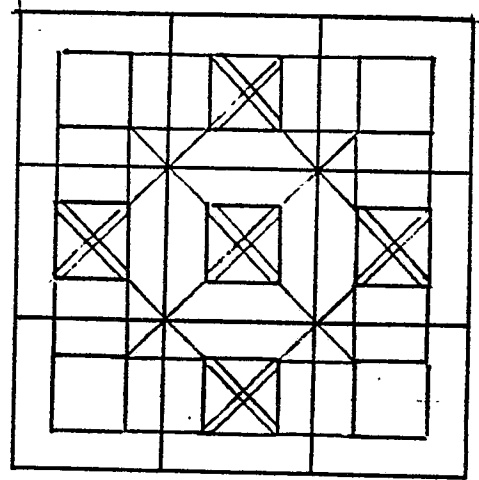


Fig 16

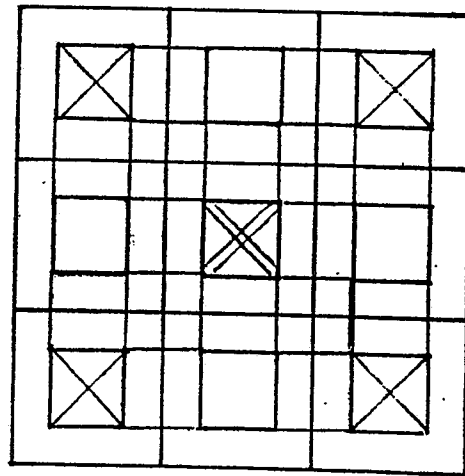


Fig 17

Newly filed  
dépôté

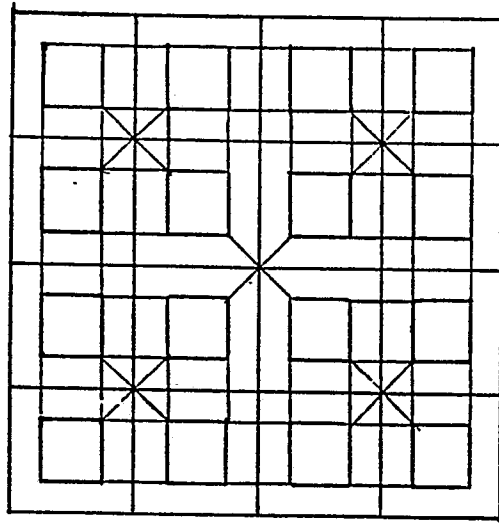
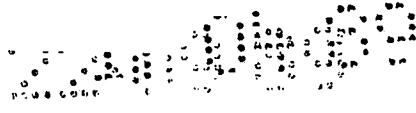


Fig 18

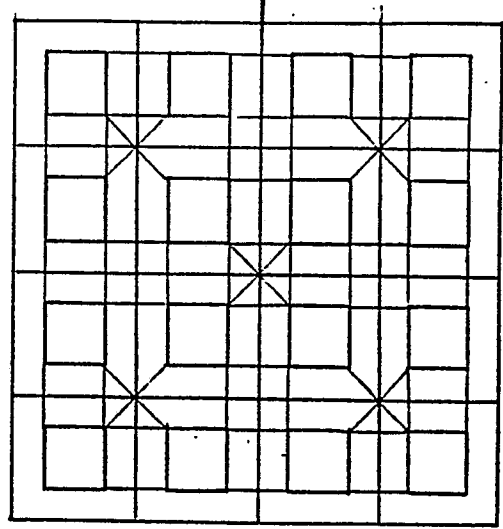


Fig 19

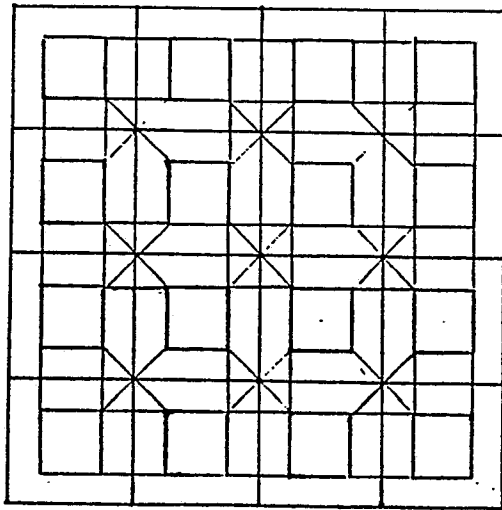


Fig 20

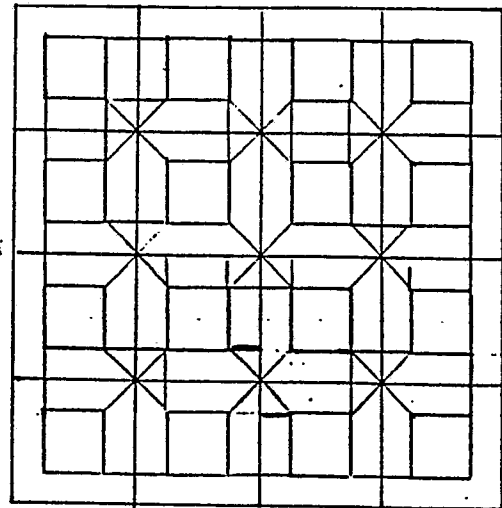


Fig 21

Neu eingereicht / Newly filed  
Nouvellement déposé

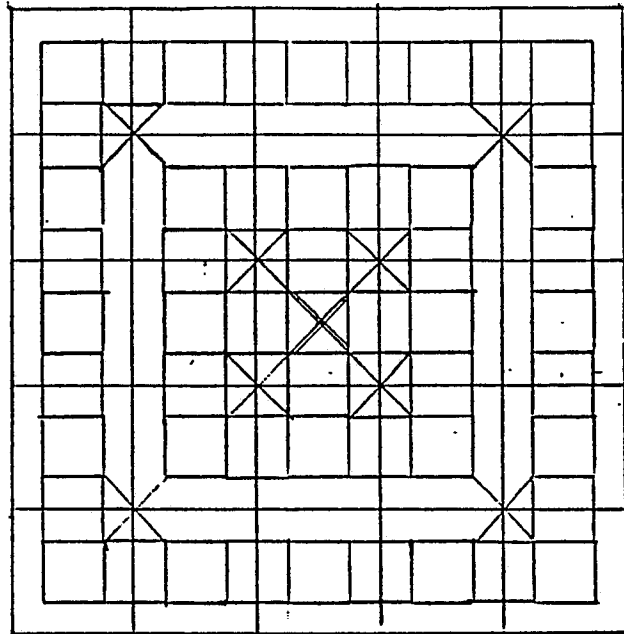
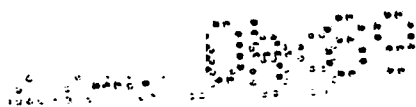


Fig 22

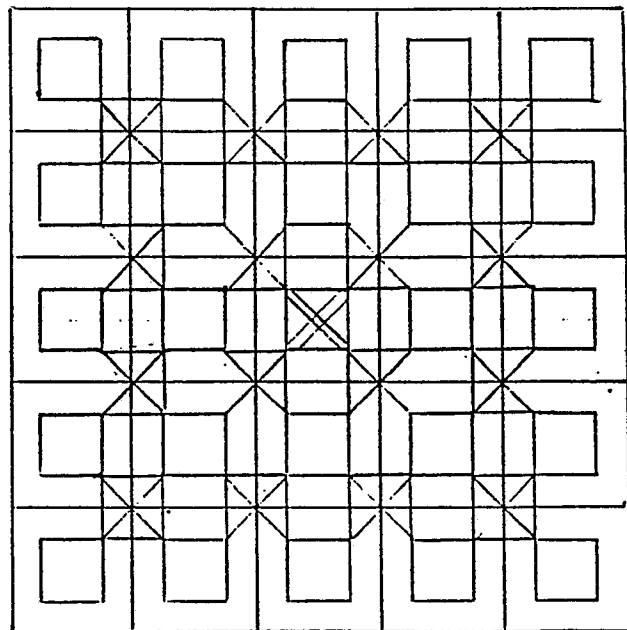


Fig 23

Neu eingetragt  
Neuvellement déposé

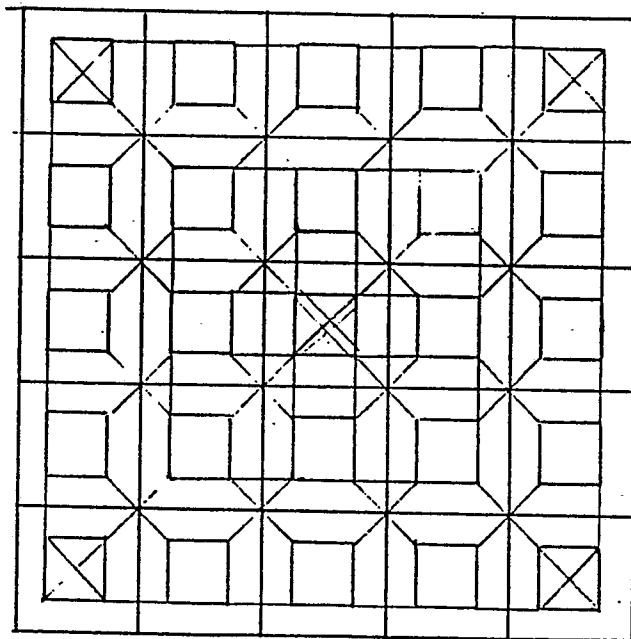
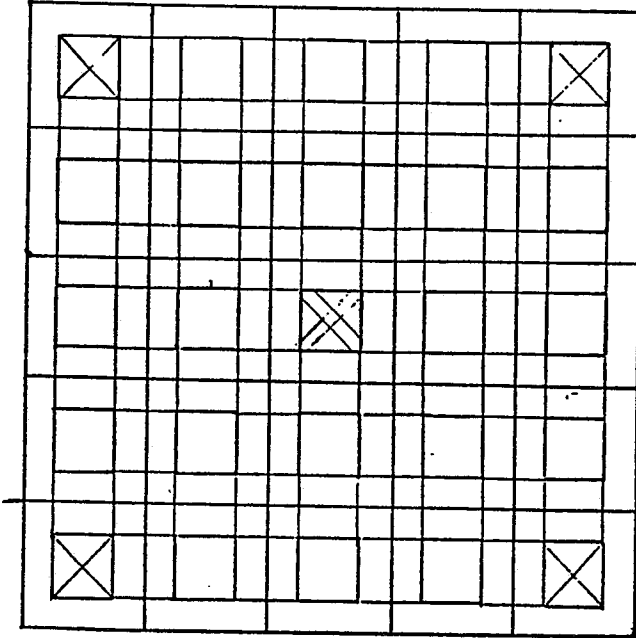
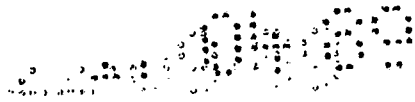


Fig 24



Neu eingereicht / Newly  
Nouvellement déposée

2 3 4 5 6 7 8 9 10

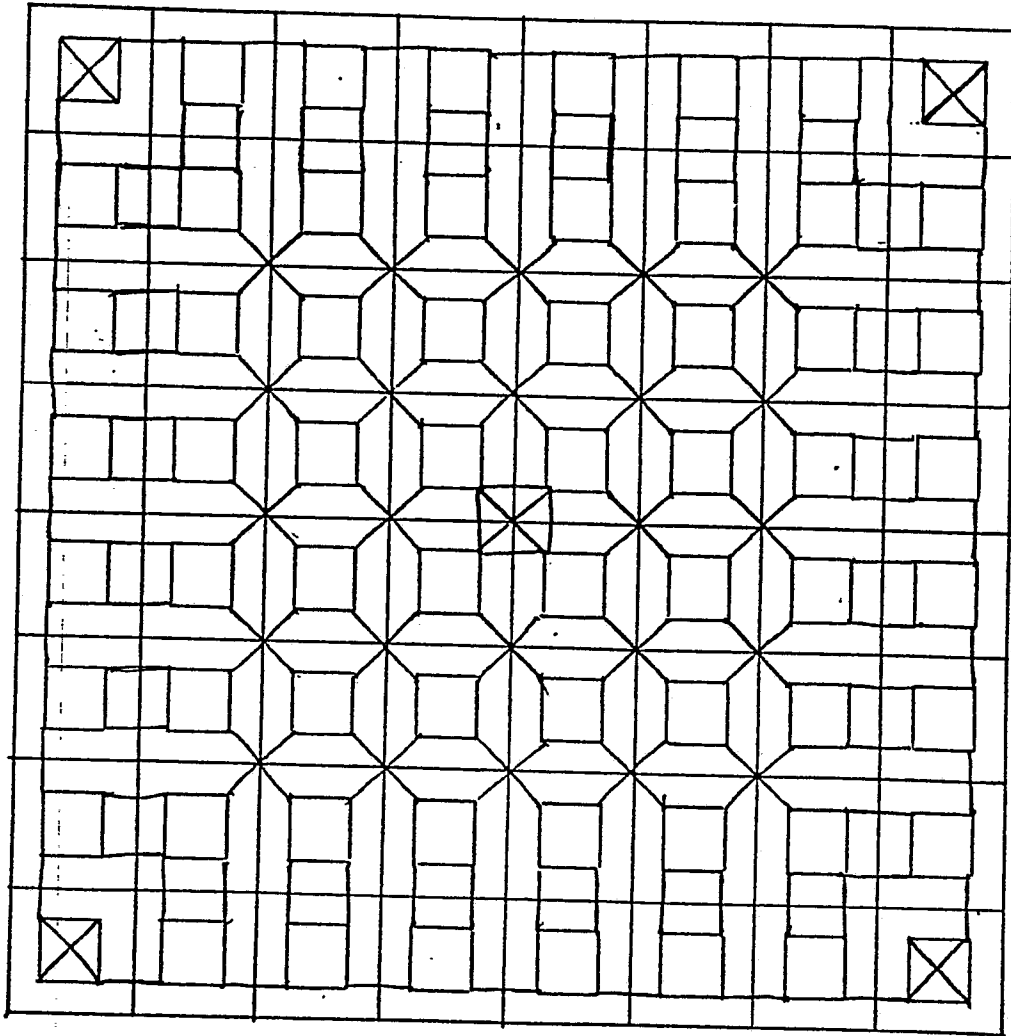


Fig 27

Neu eingereicht / New  
Nouvellement dép.

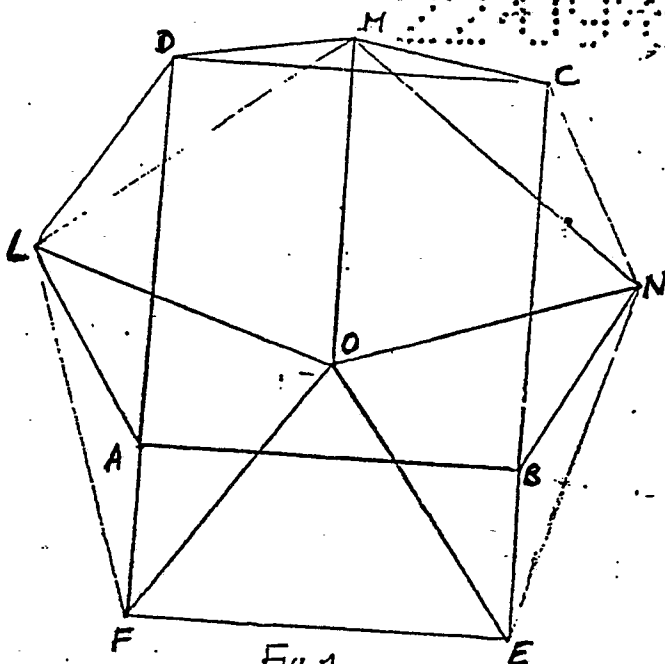


Fig 1

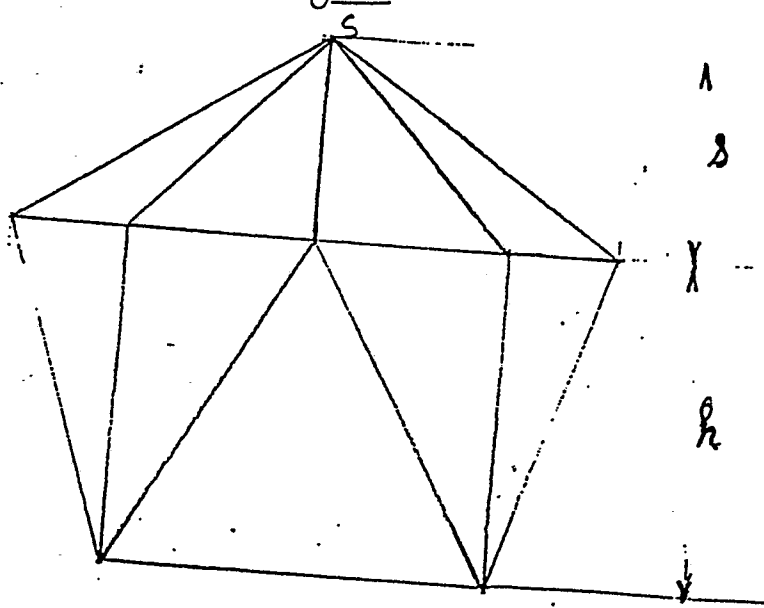


Fig 2

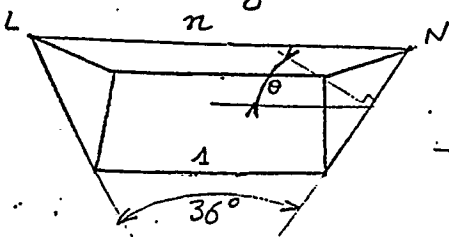


Fig 2 bis

Neu eingereicht / Newly filed  
Nouvellement déposé

0,088<sup>y</sup>

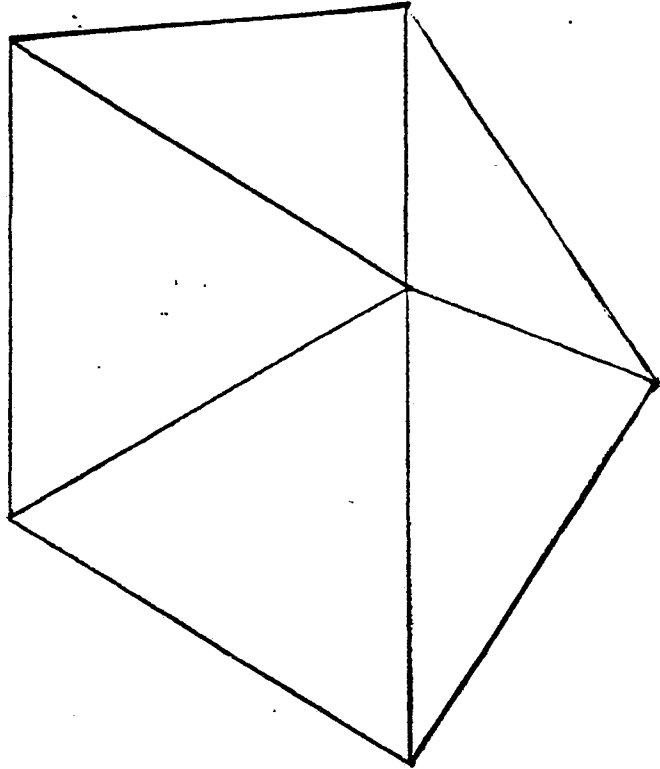


Fig 3

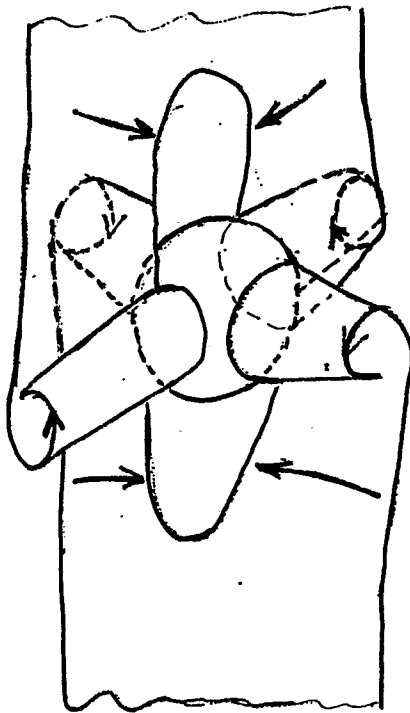


Fig 4