

LE Ministre des Affaires Economiques,

Vu la loi du 24 mai 1854 sur les brevets d'invention

Vu le procès-verbal dressé le 14 Mars 1986 A 15h 45

à l' Office de la Propriété industrielle

ARRETE :

ARTICLE 1.- Il est délivré à : HALLEUX André P.J.  
clos des Mésanges 50, 1342 Ottignies(BELGIQUE)

un brevet d'invention pour STRUCTURE MECANIQUE COMPOSEE DE QUATRE CORPS ARTICULES  
PERMETTANT DE REALISER DES CONSTRUCTIONS ET DISPOSITIFS SEMI-RIGIDES, EXTENSIBLES OU REPLIABLES.

ARTICLE 2.- Ce brevet lui est délivré sans examen préalable, à ses risques et périls, sans garantie soit de la réalité, de la nouveauté ou du mérite de l'invention, soit de l'exactitude de la description et sans préjudice du droit des tiers.

Au présent arrêté demeurera joint un des doubles de la spécification de l'invention(mémoire descriptif et éventuellement dessins) signés par l'intéressé et déposés à l'appui de sa demande de brevet.

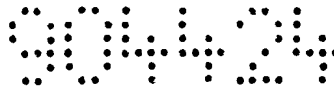
Bruxelles, le 28 Mars 1986

PAR DELEGATION SPECIALE

Le Directeur

L. WUYTS





## B R E V E T   D ' I N V E N T I O N

André HALLEUX

"Structure mécanique composée de quatre corps articulés permettant de réaliser des constructions et dispositifs semi-rigides, extensibles ou repliables."

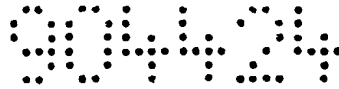
### 1. INTRODUCTION

Les réseaux quadrangulaires, objets de la présente invention, permettent de réaliser des constructions et dispositifs mécaniques repliables sous un volume très restreint, afin de les rendre amovibles, escamotables ou aisément transportables et pouvant, une fois déployées, rivaliser en résistance avec des structures en treillis triangulé conventionnelles.

Il existe déjà dans la technique actuelle un système de réseaux de barres basé sur les propriétés géométriques du parallélogramme et permettant de réaliser des constructions extensibles ou repliables.

Un tel réseau est composé de barres articulées entre elles et disposées suivant deux nappes superposées, les barres d'une même nappe étant parallèles entre elles et les barres d'une nappe étant articulées aux barres de l'autre au droit de leur croisement réciproque.

Dans ce système qui ne se prête qu'à la réalisation de constructions simples, planes ou multiplanes, les charges appliquées induisent dans les barres des moments de flexion relativement importants, ce qui nuit à leur stabilité et à leur résistance. Il en résulte que ce système est habituellement réservé à la réalisation de structures de faible développement et peu chargées.



A l'opposé, les constructions réalisées suivant le système présenté peuvent avoir les formes les plus variées, et les charges leur appliquées n'induisent que des contraintes longitudinales (traction et compression) dans les corps, barres, etc. constitutifs, tout comme dans les constructions rigides en treillis de barres triangulé.

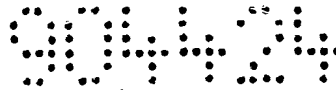
Si son application est évidente dans le cas de constructions à caractère mobile ou semi-mobile, le système présenté permet également une préfabrication poussée, dans le cas d'ouvrages importants à caractère fixe, le travail d'installation se limitant au déploiement et au blocage en place.

Cet avantage peut être capital si l'environnement est défavorable.

Ces réseaux peuvent constituer des structures extensibles comme des réservoirs à volume variable (réseaux cylindriques), ou des dispositifs élastiques contrôlés ou non (ressorts quadrangulaires).

Les applications principales sont :

- Constructions mécaniques, Génie Civil et industrie du bâtiment : armatures, ossatures, coffrages et coffrages perdus, étançons, échafaudages, portiques, ponts, pylones et supports divers, cloisons, planchers, toitures et voûtes, engins de levage et de manutention, réservoirs de volume variable.
- Radioélectricité, télécommunications et radio-astronomie : antennes et supports d'antennes.
- Constructions aéronautiques : ailes repliables, ballons à gaz et dirigeables.
- Constructions aérospatiales : panneaux solaires, antennes, engins de manutention embarqués, structures diverses repliables "barre contre barre".
- Industrie pétrolière et gazière : engins de forage et d'extraction (particulièrement en mer).



- Industrie du spectacle : machineries, pylones, portiques, supports divers, tentes et chapiteaux.
- Camping : tentes et mobilier pliable.
- Automatisme et robotique : ressorts de précision, ressorts à caractéristique contrôlée.

## 2. MAILLE QUADRANGULAIRE

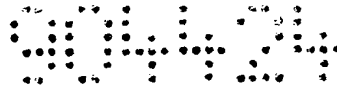
### 2.1. Définition

Appelons **maille quadrangulaire** un système mécanique composé de deux paires de corps résistants et allongés, les corps d'une paire étant appelés **montants**, ceux de l'autre **croisants**, articulés deux à deux au voisinage de leurs extrémités et tels que :

1. Chaque montant soit articulé aux deux croisants de façon qu'il puisse être animé d'un mouvement de rotation autour de deux axes géométriques respectivement fixes par rapport à l'un et l'autre de ces croisants.
2. Les quatre axes ainsi définis soient parallèles entre eux.
3. Les projections des deux croisants parallèlement à la direction commune des axes déterminent sur un plan quelconque deux surfaces sécantes, indépendamment de la forme particulière donnée à ces croisants.

### 2.2. Terminologie

Choisissons arbitrairement un plan perpendiculaire aux axes de la maille et appelons-le **plan caractéristique** de la maille.



Les points de percée dans le plan caractéristique des deux axes relatifs à un même corps déterminent un segment de droite appelé **image** de ce corps.

Par convention, la **longueur effective** d'un corps est égale à la longueur de son image.

Les quatre segments ainsi définis constituent un quadrilatère concave appelé **image** de la maille. Le quadrilatère convexe ayant les mêmes sommets que l'image d'une maille en est l'**enveloppe**.

La mesure de l'angle formé par les images des deux montants est appelé **ouverture** de la maille.

La partie terminale d'un corps au voisinage d'une articulation s'appelle **about**.

Deux abouts articulés entre eux forment une **jointure**.

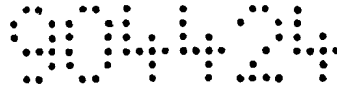
Deux jointures n'ayant pas de corps en commun constituent une **base** de la maille. Une maille a ainsi deux bases. Une base a une longueur qui est égale à la distance entre les axes des jointures qui la constituent.

Deux mailles sont **équivalentes** si leurs images sont égales. Deux mailles équivalentes peuvent se présenter sous deux formes topologiques différentes, d'après la position relative des croisants au droit de leur croisement. Dans ce cas, on dira qu'elles ont des **orientations opposées**. Deux mailles identiques sont équivalentes et ont même orientation (voir figure 1 : les mailles représentées de a à e ont même orientation, mais leur orientation est opposée à celle de la maille f).

### 2.3. Classification

Une maille quadrangulaire est

- **trapézoïdale** si la somme des longueurs effectives d'un montant et d'un croisant est égale à la somme des longueurs effectives de l'autre montant et de l'autre croisant.
- **isocèle** si les longueurs effectives des deux croisants sont égales entre elles.



- **rectangle** si elle est à la fois trapézoïdale et isocèle.
- **carrée** si elle est rectangle et si le rapport entre la longueur des croisants et celle des montants est égale à la racine carrée de deux.
- quelconque dans les autres cas.

#### 2.4. Cinématique

La maille quadrangulaire est une structure essentiellement déformable. Au cours du temps, les positions mutuelles des corps peuvent changer par rotation des corps autour des axes. A un instant donné, ces positions déterminent un état de la maille, qui est entièrement déterminé par l'ouverture de celle-ci.

Un changement d'ouverture est appelé **déformation quadrangulaire**.

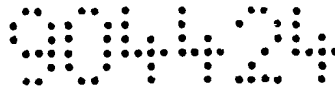
Il suffit de réunir par un cinquième corps deux jointures d'une même base afin de rendre sa longueur fixe, ou de bloquer une articulation, pour rendre fixe l'ouverture de la maille, ce qui la rigidifie.

L'intervalle de variation de l'ouverture peut être borné pour des raisons géométriques ou mécaniques. Les bornes d'origine mécanique peuvent provenir soit de la nature des articulations qui limiteraient les rotations mutuelles des corps, soit de la mise en contact de deux corps. Les bornes d'origine géométrique dépendent des rapports existant entre les longueurs effectives des corps et sont inexistantes pour une maille rectangle.

Si l'ouverture d'une maille varie, il en est de même de la surface de son enveloppe qui passe ainsi par un ou plusieurs minima et maxima.

#### **PROPRIETES :**

**Une maille trapézoïdale peut être mise sous une forme pour laquelle la surface de son enveloppe est nulle. Dans cet état, son comblement est sensiblement égal à la somme des encombrements des quatre corps et on dit que la maille est intégralement repliée.**



Une maille isocèle peut être déployée sous une forme pour laquelle son enveloppe est un trapèze isocèle dont les bases sont les images géométriques des montants de la maille.

Si une maille rectangle est déployée, son enveloppe est un rectangle.

La figure 1 montre l'image et l'enveloppe de cinq mailles quadrangulaires différentes, et ce pour deux ouvertures chaque fois.

De a à e, la maille est successivement quelconque, trapézoïdale, isocèle, rectangle et carrée.

Une sixième maille est représentée en f, équivalente à la précédente, mais d'orientation opposée.

## 2.5. Réalisation

### 2.5.1. Les corps

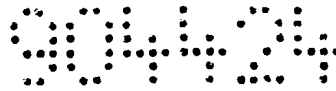
Les corps constitutifs d'une maille quadrangulaire peuvent être rigides ou semi-rigides. Ils peuvent être prismatiques, cylindriques, ou simplement de forme allongée. Ils peuvent être constitués de plaques minces. Une certaine souplesse permet, le cas échéant, de faciliter le repliage et le déploiement des constructions mettant en oeuvre ces mailles.

### 2.5.2. Les articulations

Les articulations peuvent être réalisées de diverses façons. Elles peuvent avoir des axes réels ou fictifs.

Une articulation entre deux corps est dite **plane** si les mouvements de rotations mutuelles qu'elle autorise se font exclusivement autour d'un axe de direction invariable par rapport à ces corps.

Si une articulation n'est pas plane, elle est dite **spatiale**. Une articulation spatiale comme par exemple une rotule, peut autoriser des rotations en tout sens.



Une maille quadrangulaire réalisée à l'aide d'articulations spatiales pourra subir des déformations au cours desquelles le parallélisme des axes requis par définition n'est plus assuré. Aussi faudra-t-il, pour lui conserver sa nature, imposer à la maille des contraintes extérieures afin de maintenir ce parallélisme. Nous verrons plus loin, à propos du réseau prismatique, comment le couplage parallèle cyclique fournit une solution élégante à ce problème.

### Exemples

1. Une articulation plane entre deux corps sera par exemple matérialisée par un axe cylindrique tourillonnant dans deux alésages ménagés respectivement dans l'about de l'un et l'autre des corps, des butées disposées en bout d'axe maintenant les corps en contact.

Une variante consiste à enfoncer l'axe à force dans un des alésages. Dans ce cas, une seule butée est nécessaire.

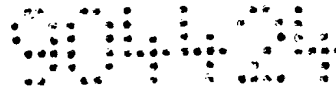
2. Une articulation spatiale pourra être réalisée à l'aide d'une rotule, ou plus simplement d'un lien souple ancré dans chacun des corps au droit de leur point de contact de manière à être tendu.

### 2.5.3. Articulations actives

Une articulation est **active** si elle est munie d'un organe moteur transmettant un couple influençant le mouvement qu'elle autorise. Si une ou plusieurs articulations d'une maille sont actives, on pourra obtenir des variations autonomes d'ouverture.

On peut rendre une articulation active en la munissant d'un ressort s'appuyant sur chacun des corps. Un tel dispositif est appelé **articulation élastique**.

Une maille quadrangulaire munie d'articulations élastiques aura en général un état d'équilibre qui pourra être choisi en fonction de l'effet souhaité, par exemple le déploiement de la structure.



Le ressort équipant une articulation élastique peut même constituer l'articulation à lui seul, en jouant également le rôle d'axe ou de lien souple.

### Exemples

La figure 2 montre deux exemples de réalisation d'articulations actives constituées d'un ressort assurant la tenue mécanique des deux corps tout en autorisant leur rotation mutuelle. La première est plane, la seconde spatiale.

En a, deux corps prismatiques sont maintenus en contact suivant une de leurs faces grâce à la tension d'un ressort hélicoïdal coulissant librement dans un alésage ménagé dans chaque corps perpendiculairement à leur face de contact et dont les extrémités sont respectivement ancrées dans l'un et l'autre corps.

En b, deux corps cylindriques tubulaires sont maintenus en contact en un point fixe de la périphérie de leur section terminale par la tension d'un ressort constitué d'une boucle dont les extrémités sont ancrées dans l'un et l'autre corps.

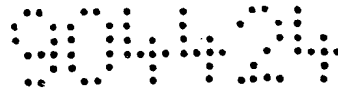
Les corps sont évasés à leur extrémité et la boucle s'appuie sur les sections terminales des corps de façon à assurer une bonne tenue mécanique de l'ensemble.

### 2.6. Exemples de réalisation de mailles quadrangulaires

1. La figure 3 montre une maille quadrangulaire rectangle constituée de montants et croisants prismatiques de section carrée. Hors leur longueur, tous les corps sont identiques.

Chaque corps est persé perpendiculairement à une de ses faces de deux alésages situés dans ses abouts.

Chaque about de montant est articulé à un about de croisant à l'aide d'un axe cylindrique traversant consécutivement l'alésage ménagé dans ces deux abouts.



Deux butées (non représentées) situées en bout d'axe maintiennent le contact entre montants et croisants au droit des articulations.

La maille, qui est rectangle, est successivement représentée en plan et en élévation pour huit ouvertures différentes.

En A et E, la maille est intégralement repliée, tandis qu'elle est déployée en C et G.

2. La figure 4 montre une maille quadrangulaire rectangle constituée de montants et croisants cylindriques tubulaires de diamètres égaux évasés à leurs extrémités.

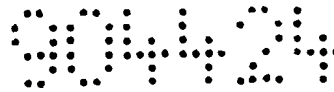
Une boucle sans fin constituée d'un fil ou câble coulissant alternativement dans l'âme des montants et des croisants est tendue de manière à assurer le contact entre les extrémités des montants et croisants et à en permettre l'articulation.

Des contraintes extérieures maintiennent constamment les deux croisants en contact, ce qui, par symétrie, assure le parallélisme des axes requis par la définition des mailles quadrangulaires. Nous verrons que le réseau prismatique, de par sa géométrie, fournit ces contraintes automatiquement.

La maille est successivement représentée en plan et en élévation pour quatre ouvertures différentes. Elle est déployée en a, et quasi repliée en c.

Au cours de la déformation conduisant de l'état déployé à l'état quasi-replié, les rotations se font sans glissement entre montants et croisants, tandis que les deux croisants glissent l'un sur l'autre en leur point de croisement.

Dans la position quasi-repliée, chaque montant est en contact avec un croisant tout au long d'une génératrice, ce qui bloque le mouvement. Toutefois, le repliage peut se poursuivre jusqu'au repliage intégral par glissement réciproque des montants et croisants jusqu'à l'état limite représenté en D.



### 3. COUPLAGE DE DEUX MAILLES QUADRANGULAIRES

Deux mailles quadrangulaires peuvent être couplées entre elles.

On dit que deux jointures sont articulées entre elles si un des abouts la composant est articulé à un des abouts composant l'autre. Cette articulation de couplage peut être concentrique à l'articulation propre d'une ou des deux jointures. Dans ce dernier cas, on dira que les deux jointures ont leur articulation en commun. L'articulation peut être plane ou spatiale.

#### 3.1. Couplage série

Considérons deux mailles quadrangulaires et choisissons une base sur chacun d'elles.

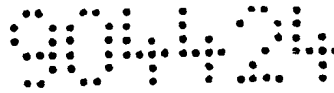
On dit que ces deux mailles sont **couplées en série** par ces bases si chaque jointure formant la base choisie de l'une est articulée à une des jointures formant la base choisie de l'autre.

Si les articulations de couplage sont planes, elles doivent être d'axe parallèle aux axes internes des deux mailles. Dès lors, tous les axes sont parallèles et les plans caractéristiques des deux mailles sont constamment parallèles ou confondus et l'on dira que le **couplage série** est **plan**.

Sinon, les deux plans caractéristiques peuvent être animés d'un mouvement de rotation réciproque.

#### **PROPRIETE :**

**Si deux mailles quadrangulaires sont couplées en série, l'ouverture de l'une détermine celle de l'autre et réciproquement.**



### 3.2. Couplage parallèle

Considérons deux mailles quadrangulaires et choisissons sur chacune d'elles un montant.

On dit que ces deux mailles sont **couplées en parallèle** par ces montants soit si ceux-ci ne forment mécaniquement parlant qu'un seul et même corps, soit s'ils sont solidarisés à l'aide d'une articulation plane autorisant une rotation mutuelle des deux montants autour d'un axe géométrique fixe par rapport à ces corps, à la fois parallèle à l'un et l'autre des plans caractéristiques des deux mailles.

Dans le premier cas, on dira qu'ils ont un **montant mis en commun**.

Si deux mailles sont couplées par mise en commun d'un montant et si les articulations unissant ce montant commun aux croisants des deux mailles sont planes, les plans caractéristiques des deux mailles seront constamment parallèles ou confondus et l'on dira que le **couplage parallèle est plan**.

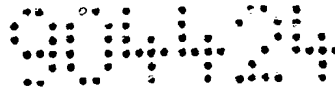
Sinon, les deux plans caractéristiques pourront être animés d'un mouvement de rotation réciproque.

### 3.3. Exemples

La figure 5 montre quelques manières de coupler deux mailles quadrangulaires. Chaque couplage est représenté pour deux ouvertures différentes.

En a et b, les articulations, réalisées par axes et alésages, sont planes et les couplages sont donc plans.

En c et d, les articulations, réalisées à l'aide de rotules ou de liens souples et tendus, sont spatiales, et les plans caractéristiques peuvent tourner l'un par rapport à l'autre.



Dans chaque cas, une maille est couplée en parallèle et en série avec des mailles identiques. Les traits pleins figurent le couplage série et les traits interrompus, le couplage parallèle.

Le couplage parallèle est dans chaque cas illustré, assuré par mise en commun d'un montant.

En a, le couplage série est réalisé par articulation entre montants.

En b, le couplage série est réalisé par mise en commun des articulations de jointure.

En c, le couplage est assuré par articulation des croisants.

En d, le couplage est assuré comme en a par articulation des montants, mais chaque articulation de couplage devient concentrique à une articulation interne dès que les mailles sont déployées et que les plans caractéristiques sont parallèles ou confondus.

#### 4. RESEAUX QUADRANGULAIRES

Un **réseau quadrangulaire** est une structure mécanique composée de plusieurs mailles quadrangulaires couplées deux à deux en série ou en parallèle.

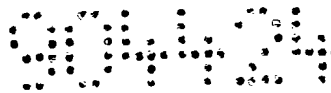
Un tel réseau est dit **périodique** si toutes ses mailles constitutives sont identiques et identiquement couplées.

Appelons **nombre de degrés de liberté** du réseau, le plus petit nombre de mailles constitutives dont il suffit de fixer l'ouverture pour fixer l'ouverture de toutes les mailles du réseau.

Si une ou plusieurs de ses articulations sont élastiques, le réseau est dit **élastique**.

**PROPRIETE :**

**Un réseau quadrangulaire dont toutes les mailles sont couplées en série possède un seul degré de liberté.**



Si un réseau contient  $n$  mailles quadrangulaires ordonnées et couplées identiquement de telle façon que la  $i$ ème soit couplée à la  $(i + 1)$ ème pour  $i$  allant successivement  $1, 2, \dots, n - 1$  et si la  $n$ ème est couplée de même à la première, les mailles sont dites **couplées cycliquement**, en série ou en parallèle suivant le cas, et le réseau est dit **fermé**. Dans le cas contraire il est dit **ouvert**.

#### 4.1. Réseaux plans

Un réseau quadrangulaire est dit plan si tous les couplages entre ses mailles constitutives sont plans.

##### **PROPRIETE :**

**Un réseau quadrangulaire plan possède un seul degré de liberté si chaque maille constitutive est couplée en série à au moins une autre des mailles.**

##### Exemples

La figure 6 représente un réseau quadrangulaire périodique plan constitué de mailles quadrangulaires rectangles. Les couplages en série sont assurés par mise en commun des articulations de jointure.

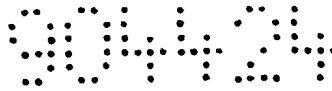
En A, le réseau est déployé. Il est intégralement replié en C.

Il peut passer par déformation quadrangulaire d'un de ces états extrêmes à l'autre.

La barre supplémentaire dessinée en pointillé rigidifie le réseau à l'état déployé.

Comme on le voit sur le dessin, un croisant tel que a est fixe par rapport à son voisin b. Ces deux croisants peuvent donc n'être que le prolongement de la même barre. On voit donc qu'un même corps peut successivement servir de croisant à plusieurs mailles voisines deux à deux.

Dans ce cas, le réseau devient hyperstatique tout en restant déformable, ce qui augmente la stabilité du réseau dans les positions proches du repliage intégral.



Si les articulations sont rendues actives, le réseau peut se déployer, et/ou se replier de façon autonome.

#### 4.2. Réseaux biplans et multiplans

Un réseau **biplan** est composé de deux réseaux plans identiques disposés parallèlement et reliés par leurs montants homologues maintenus parallèles et fixes l'un par rapport à l'autre. Ce qui conduit par itérations successives à la construction de réseaux **multiplans** formés d'un nombre quelconque de réseaux plans.

##### **PROPRIETE :**

**Un réseau quadrangulaire biplan ou multiplan possède le même nombre de degrés de liberté qu'un de ses réseaux plans constitutifs.**

Les articulations d'un tel réseau peuvent avantageusement être rendues actives à l'aide de tiges élastiques coudées, chacune étant ancrée d'une part dans un croisant et d'autre part dans un montant, en faisant un angle de 45 degrés avec l'axe de couplage entre ce montant et un de ses voisins.

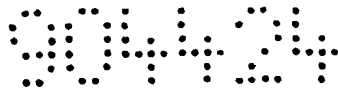
Dans cette configuration en effet, l'angle de coudage de ladite tige variera très peu au cours des déformations, ce qui rend inutile l'usage d'un ressort hélicoïdal.

Il est même possible de se passer d'axes, les tiges assurant elles-mêmes l'articulation.

##### 4.2.1. Réseaux droits

1. La figure 7 montre un réseau biplan composé de deux réseaux plans dont les mailles sont rectangles et dont les montants homologues sont solidarisés par deux croisillons.

Le réseau est représenté en élévation et en plan dans trois états différents : déployé en A, semi-replié en B et replié en C.



Les encoches ménagées latéralement dans les croisants permettent le passage des axes quand le repliage est complet.

Comme dit ci-dessus, les articulations a et b par exemple peuvent être munies d'un ressort formé d'une tige élastique coudée dont une extrémité est ancrée dans le croisant c et dont l'autre est ancrée dans le croisillon d ou e suivant l'articulation considérée, ce croisillon faisant un angle de 45 degrés avec l'axe de l'articulation de couplage.

La tige sera coudée afin de présenter un angle au repos égal à l'angle formé par les axes longitudinaux du croisant et du croisillon quand le réseau est déployé.

Cela permettra un déploiement automatique du réseau.

2. La figure 8 montre un réseau quadrangulaire biplan réalisé à l'aide de plaques minces articulées par leur tranche. Dans cet exemple, un croisant est commun aux deux mailles. On voit que dans ce cas une certaine souplesse des corps est nécessaire pour permettre le repliage complet.

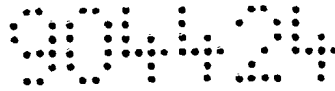
#### 4.2.2. Réseaux courbes et cylindriques

Les figures 9, 10 et 11 montrent trois exemples de réseaux quadrangulaires courbes composés de mailles isocèles.

Ces réseaux sont plans et peuvent, par association, constituer des réseaux multiplans. Si les montants sont des plaques minces articulées par leur tranche, ils constituent des surfaces prismatiques ouvertes (figures 9 et 10) ou fermées (figure 11).

A l'état déployé, ces surfaces prismatiques ont comme section un polygone régulier ou une portion de polygone régulier.

Ces trois réseaux ne diffèrent dans leur principe, que par la position des articulations des croisants sur le montant extérieur, ce qui donne trois modes de repliage différents.



Dans la figure 9, le repliage est similaire à celui des réseaux précédents.

Le réseau de la figure 11, prolongé symétriquement de manière à obtenir un couplage série cyclique, constitue à tout moment deux surfaces prismatiques fermées et coaxiales, qui s'inscrivent constamment à un cercle de rayon variable.

Le volume délimité par les surfaces prismatiques et par deux sections droites quelconques est maximum si la structure est déployée et minimum (nul pour la surface intérieure) si la structure est repliée.

Un tel réseau peut être vu comme un cylindre de volume variable et est appelé **réseau cylindrique**.

### **4.3. Réseaux spatiaux**

Un réseau qui n'est pas plan est dit **spatial**.

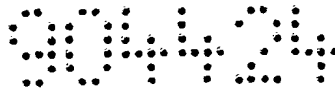
Les réseaux spatiaux peuvent se présenter sous les formes les plus variées.

#### **4.3.1. Réseaux prismatiques**

Un réseau prismatique est un réseau spatial constitué de une ou plusieurs sections identiques.

Chaque section est constituée de plusieurs mailles quadrangulaires rectangles couplées cycliquement en parallèle et ayant même orientation. Chaque maille est composée de corps cylindriques, les montants d'une part et les croisants d'autre part ayant des diamètres respectivement égaux.

Ses articulations sont telles que montants et croisants sont articulés en un point de contact fixe situé sur la périphérie de leur section terminale, choisi de façon que deux croisants appartenant à une même maille soient en contact et que le plan tangent aux deux croisants soit



le plan caractéristique de la maille passant par les axes longitudinaux des montants.

Deux sections voisines sont reliées par couplage série de leur mailles homologues.

Suivant le nombre de mailles contenues dans chaque section, on parlera de réseaux prismatiques triangulaires, rectangulaires, etc...

**PROPRIETES :**

**Dans un réseau quadrangulaire prismatique, les deux croisants d'une même maille sont constamment en contact.**

**Un réseau quadrangulaire prismatique possède le même nombre de degrés de libertés qu'une de ses sections. Ainsi, un réseau triangulaire possède un seul degré de liberté et un réseau rectangulaire ou carré en possède deux.**

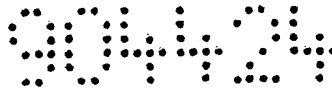
Dans certains cas, les croisants devront être creusés latéralement d'encoches permettant le passage d'un autre croisant au repliage complet.

La figure 12 représente un réseau prismatique carré composé de six sections elles-mêmes constituées de quatre mailles carrées identiques. Les montants et croisants sont des barres tubulaires cylindriques ayant toutes la même section.

Les articulations internes à chaque maille sont réalisées à l'aide d'une boucle sans fin, comme représenté à la figure 4.

Le couplage parallèle est assuré par mise en commun des montants et le couplage série par articulation des montants de deux sections consécutives.

Le couplage série peut être réalisé à l'aide de quatre câbles tendus, chaque câble coulissant successivement dans l'âme des montants homologues des six sections, et dont les extrémités sont ancrées dans les montants des sections extrêmes.



En a, le réseau, représenté en trois vues, est déployé. Il peut se replier suivant deux modes de déformation quadrangulaire différents comme illustré en b et c, en plan et en élévation. Dans le mode représenté en c, le repliage est particulièrement compact, le réseau occupant dans cet état un volume résiduel proche de la somme des volumes individuels des barres (repliage "barre contre barre").

Les articulations d'un tel réseau peuvent être rendues élastiques à l'aide de tiges élastiques, munies ou non de boucles comme représenté à la figure 2 et dont les extrémités sont respectivement ancrées dans l'âme de deux barres concourantes de manière à rendre autonome le déploiement ou le repliage.

#### 5. RESSORTS QUADRANGULAIRES

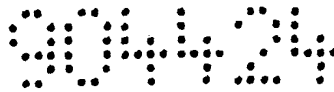
Nous avons vu qu'un réseau quadrangulaire équipé d'articulations élastiques devenait lui-même élastique. En fait, il se comporte dans son ensemble, comme un ressort de grande souplesse pour les déformations longitudinales et sera très réfractaire aux déformations latérales.

#### 6. RESSORTS QUADRANGULAIRES CONTROLES

Considérons le réseau prismatique de la figure 12 au cours de son repliage suivant le mode représenté en b.

On voit que toutes les mailles de deux faces opposées ont des ouvertures identiques à chaque instant et que au cours du repliage, l'ouverture des mailles de deux faces opposées varie dans de grandes limites, tandis que l'ouverture des autres mailles est quasi constante.

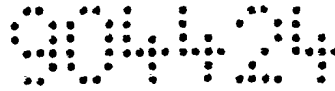
En fait, au cours du repliage, si l'on rend son allongement fixe, le réseau conserve un degré de liberté permettant un troisième mode de déformation. Dans ce mode, le rapport entre l'ouverture des mailles de deux faces opposées d'une part, et l'ouverture de celles des deux autres faces d'autre part, varie dans certaines limites au cours de la déformation, à allongement égal.



Dès lors, si les mailles de deux faces opposées d'un réseau prismatique carré sont équipées de ressorts relativement souples, et les mailles des autres faces de ressorts plus raides, il sera possible de faire varier la caractéristique du ressort constitué par l'ensemble du réseau en faisant varier le rapport entre les ouvertures, et donc de contrôler la caractéristique du ressort.

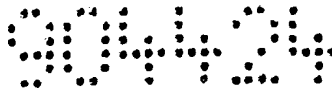
## 7. REVENDICATIONS

1. Structure ou partie de structure mécanique semi-rigide appelée maille quadrangulaire ou maille, composée de deux paires de corps résistants de forme allongée, les corps d'une paire étant appelés montants et ceux de l'autre, croisants, articulés deux à deux aux voisinages de leurs extrémités appelés abouts, de telle façon que chaque montant soit articulé aux deux croisants et qu'il puisse ainsi être animé d'un mouvement de rotation autour de deux axes géométriques respectivement fixes par rapport à l'un et l'autre des croisants, les quatre axes ainsi définis étant parallèles entre eux, et pour laquelle la terminologie suivante s'applique : un plan arbitrairement choisi perpendiculairement aux axes est appelé plan caractéristique, le point de percée dans le plan caractéristique de deux axes relatifs à un même corps déterminent un segment de droite appelé image de ce corps dont la longueur constitue la longueur effective du corps, deux abouts articulés entre eux forment une jointure et deux jointures appartenant à une même maille et n'ayant pas de corps en commun constituent une base de la maille, la mesure de l'angle formé par des images des deux montants d'une maille est appelée ouverture de la maille **caractérisée en ce que** les projections des deux croisants parallèlement à la direction commune des quatre axes géométriques définis dans le préambule déterminent sur un plan quelconque deux surfaces secantes, indépendamment de la forme particulière donnée aux croisants, **ou en ce que** le quadrilatère formé par les images des quatre corps est concave.
2. Structure mécanique semi-rigide composée de plusieurs mailles quadrangulaires selon la revendication 1 couplées deux à deux soit en série quand chaque jointure formant une base de l'une des deux

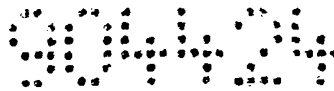


mailles considérées est articulée par un des abouts la composant a un about composant une des jointures formant une base de l'autre et réciproquement ou quand chaque jointure formant une base de l'une et une des jointures formant une base de l'autre ont leurs articulations concentriques et réciproquement, soit en parallèle quand un montant de l'une des deux mailles considérées et un montant de l'autre sont un seul et même corps ou sont rendus fixes l'un par rapport à l'autre ou quand ces montants sont articulés de façon que chacun d'eux puisse être animé par rapport à l'autre d'un mouvement de rotation autour d'un axe fixe par rapport à ce dernier et simultanément parallèle aux plans caractéristiques des deux mailles.

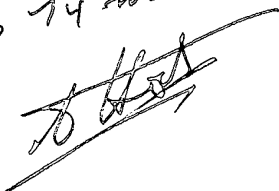
3. Structure semi-rigide selon la revendication 2 caractérisée en ce que au moins une articulation entre deux corps est munie d'un organe moteur transmettant un couple à ces corps, ou d'un ressort dont les extrémités s'appuient sur l'un et l'autre des corps, ou en ce que les articulations sont constituées d'un ressort dont les extrémités sont ancrées dans l'un et l'autre corps.
4. Structure mécanique semi-rigide selon la revendication 2 caractérisée en ce que les articulations entre deux corps constitutifs n'autorisent par construction que des mouvements de rotation autour d'axes géométriques de direction fixés par rapport aux deux corps, et en ce que tous ces axes sont parallèles entre eux (réseaux plans).
5. Structure mécanique semi-rigide constituée de plusieurs sous-structures identiques selon la revendication 4, disposées en nappes parallèles, les montants homologues de deux sous-structures ou une partie de ceux-ci constituant deux à deux un seul et même corps ou étant rendus parallèles et fixes l'un par rapport à l'autre.
6. Structure mécanique semi-rigide selon la revendication 5 caractérisée en ce que chaque nappe est constituée de plusieurs mailles couplées en série, en ce que toutes les mailles sont identiques et que les longueurs effectives des croisants sont égales (réseaux droits et courbes).



7. Structure semi-rigide selon la revendication 6 caractérisée en ce que dans chaque nappe, les mailles sont ordonnées et couplées en série de manière que chaque maille soit couplée en série à sa suivante et que la dernière soit de même couplée à la première (réseaux cylindriques).
8. Structure repliable selon la revendication 5 dans laquelle tous les montants ont des longueurs égales.
9. Structure semi-rigide selon les revendications 4, 5, 6, 7, ou 8 caractérisée en ce que deux mailles constitutives au moins ont un croisant en commun, ou en ce que au moins un croisant d'une maille est rendu solidaire d'un croisant d'une autre.
10. Structure semi-rigide selon les revendications 4, 5, 6, 7, ou 8 caractérisées en ce que les croisants et les montants sont prismatiques ou cylindriques, les croisants étant éventuellement creusés d'encoches latérales pour permettre le passage des axes quand le repliage est complet.
11. Structure semi-rigide selon les revendications 3, 4, 5, 6, 7 ou 8 caractérisée en ce que les croisants ou les montants ou les deux sont constitués de corps plats et minces articulés par leurs tranches.
12. Structure repliable selon la revendication 2 caractérisée en ce que elle est composée de une ou plusieurs sections identiques, chaque section étant composée de plusieurs mailles dont les corps sont cylindriques de diamètres égaux, les croisants étant éventuellement creusés d'encoches transversales permettant leur passage réciproque quand le repliage est complet, en ce que tous les montants ont des longueurs égales et les croisants d'une même maille ont des longueurs égales, en ce que les mailles d'une même section sont ordonnées et couplées en parallèle de façon que chaque maille soit couplée à la suivante et de même la dernière avec la première et en ce que deux sections voisines étant couplées par couplage série de leurs mailles homologue.



13. Structure repliable selon la revendication 12 et caractérisée en ce que chaque section comporte quatre mailles identiques.
14. Structure repliable suivant les revendications 13 ou 14 caractérisée en ce que les corps sont tubulaires et en ce que les articulations sont partiellement ou totalement réalisées à l'aide d'un ou plusieurs liens, fils, câbles ou ressorts hélicoïdaux tendus successivement dans l'âme des corps à articuler de manière à constituer une ou plusieurs boucles sans fin.
15. Structure repliable suivant les revendications 13 ou 14 caractérisée en ce que les âmes de au moins deux croisants appartenant à deux mailles voisines sont successivement parcourues partiellement ou totalement par une tige élastique.
16. Structure élastique à élasticité contrôlée constitué d'une structure selon la revendication 13 dont les articulations des mailles sont en tout ou en partie équipées de ressorts, les ressorts équipant deux mailles opposées d'une section et les mailles homologues des autres sections étant en moyenne plus raides que les ressorts équipant les autres mailles, ou seules les mailles opposées d'une section et leurs homologues dans les autres sections comportent des ressorts, et caractérisée en ce que l'élasticité de l'ensemble est contrôlée par variation du rapport entre l'ouverture d'une paire de mailles opposées et de leurs homologues d'une part, et l'ouverture des autres mailles d'autre part.

Fait à Abiquis  
le 14 mars 1986  


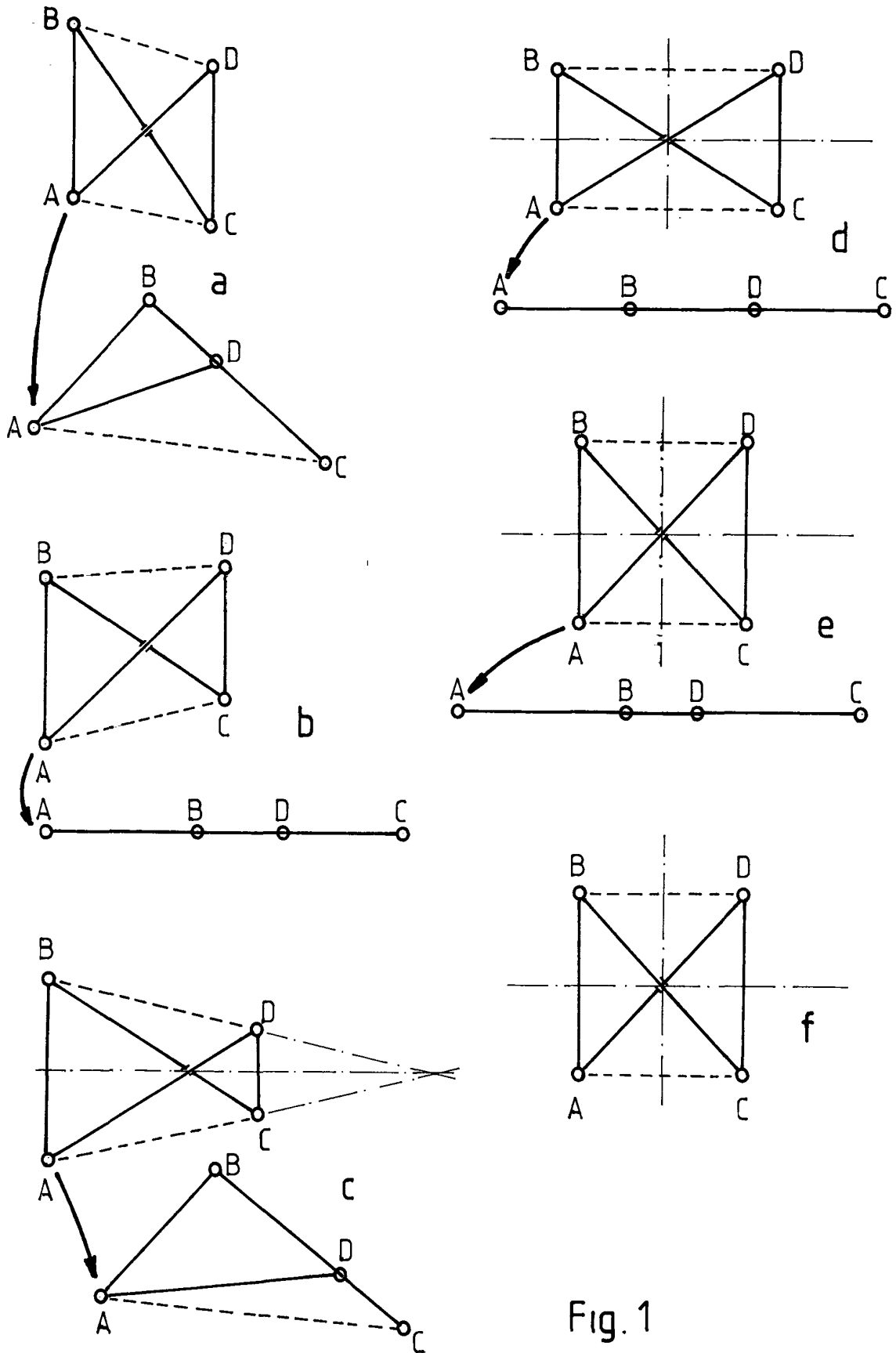
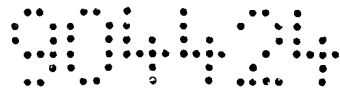


Fig. 1

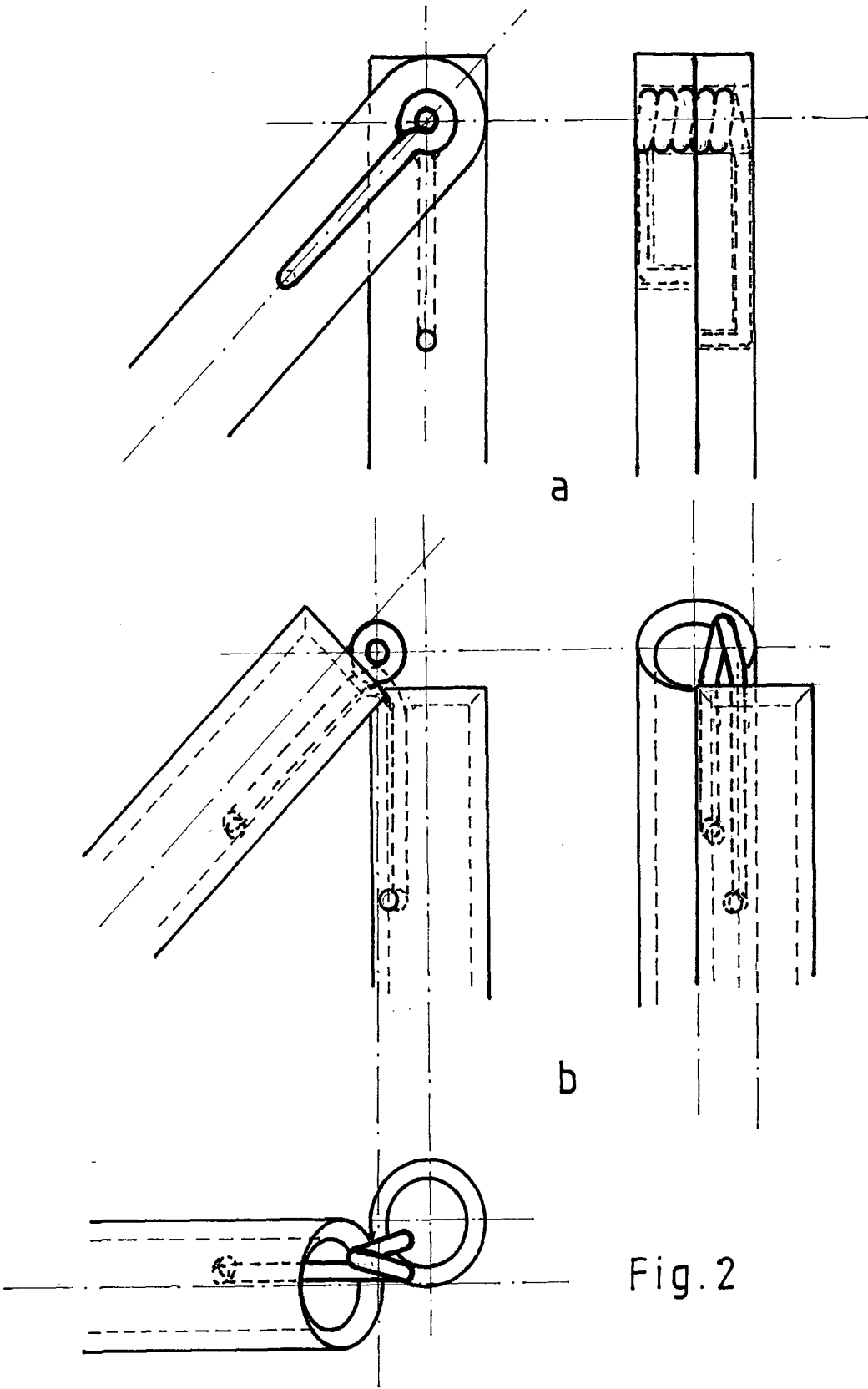
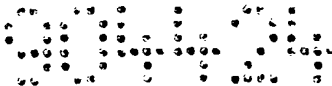


Fig. 2

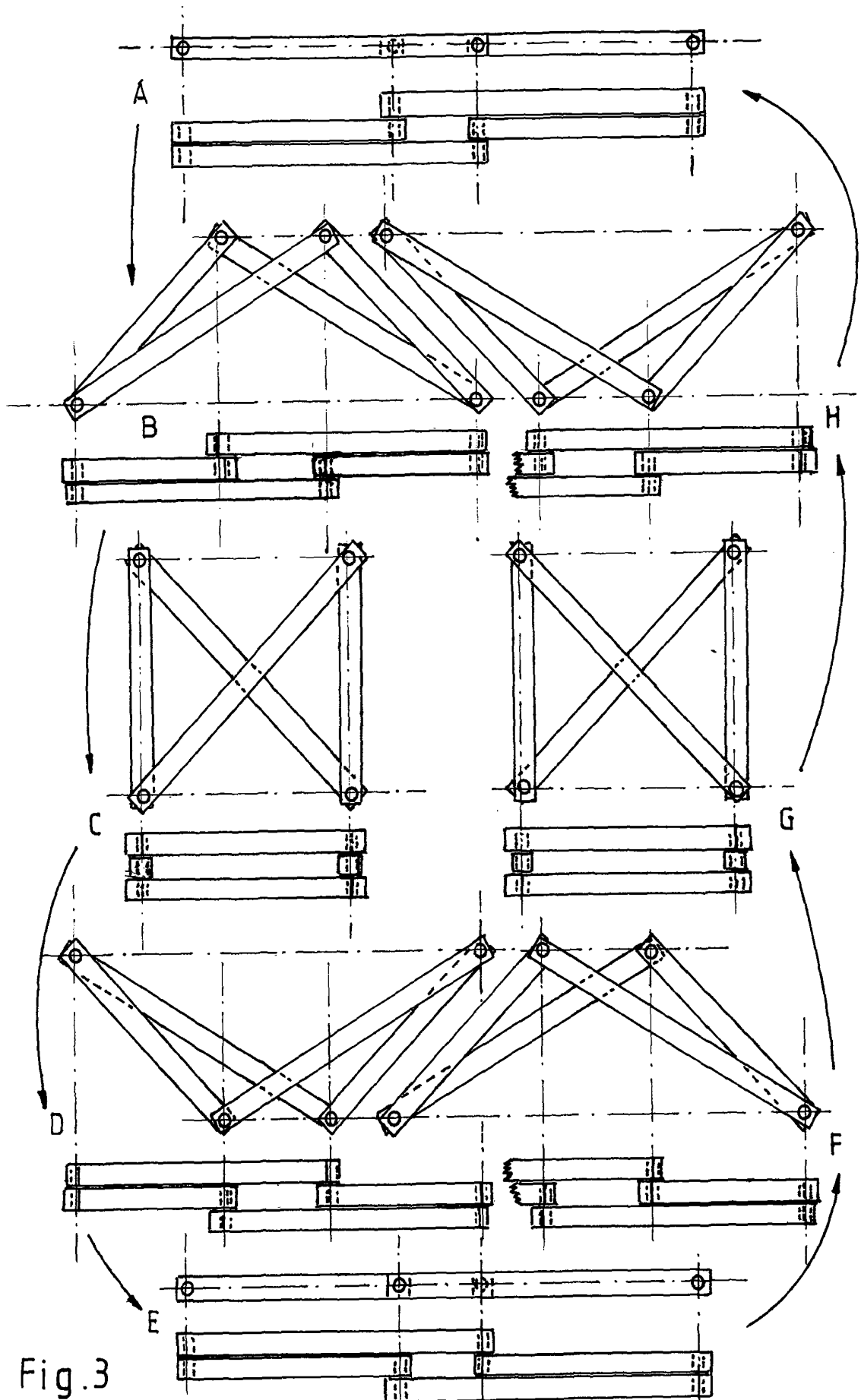
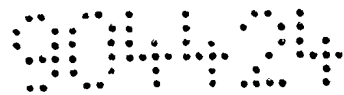


Fig.3

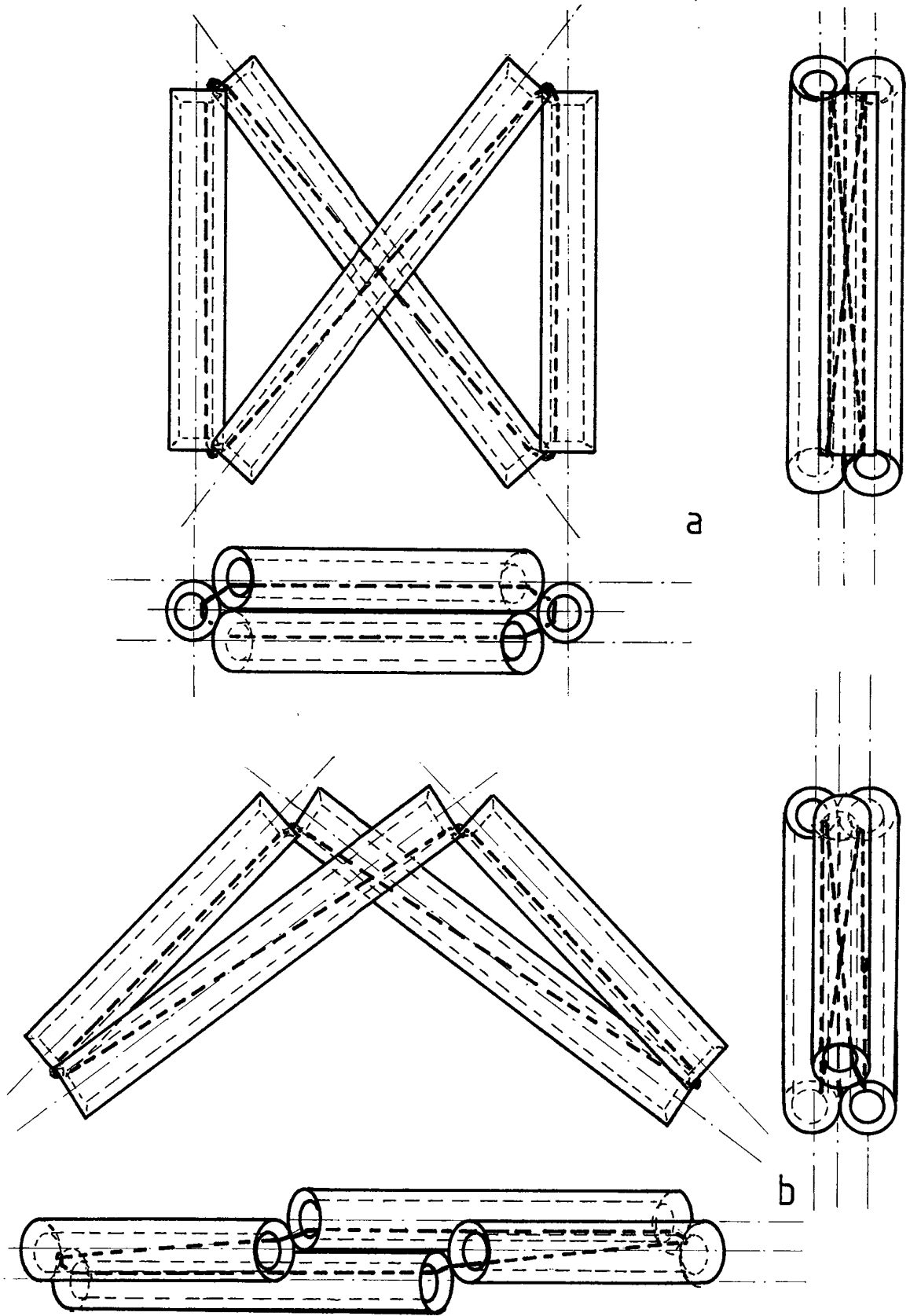
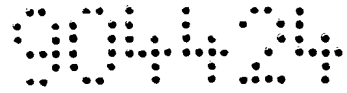


Fig. 4-1

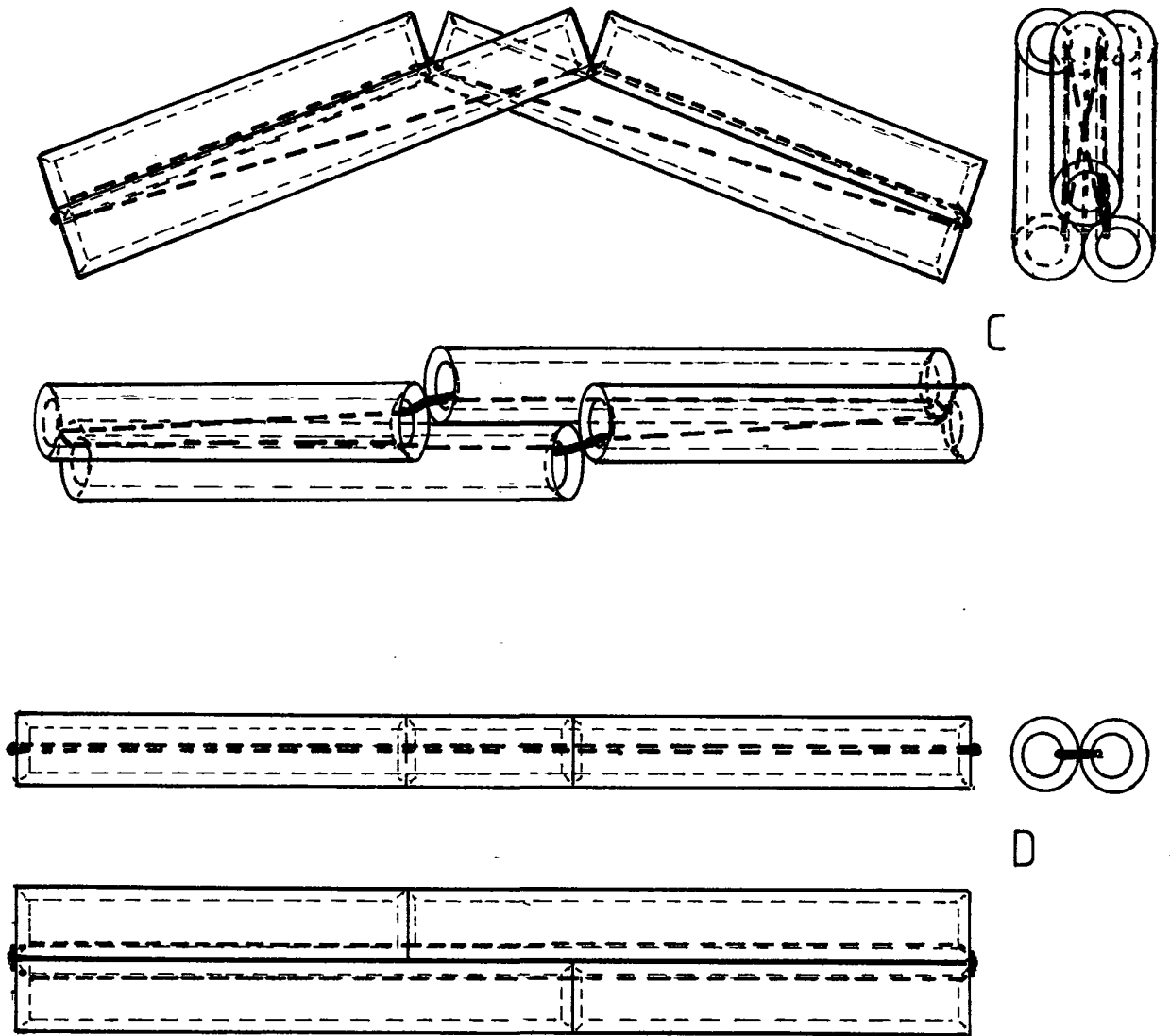
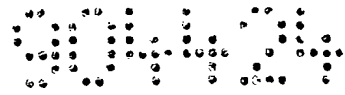


Fig. 4-2

14/3/1986 *Andre Halleux*

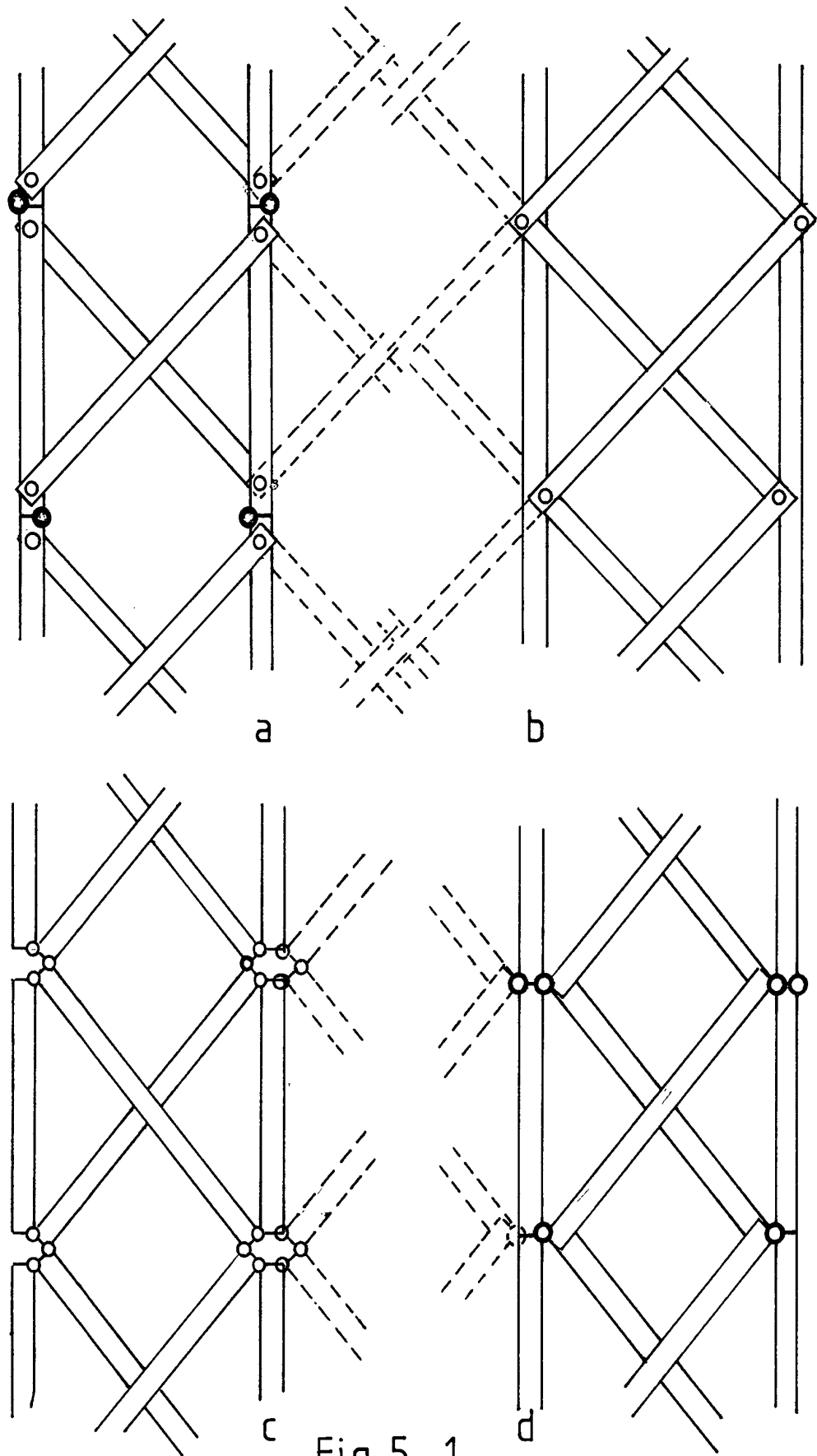
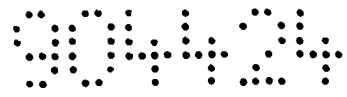


Fig. 5-1

14/3/1986 *Ch Halleux*

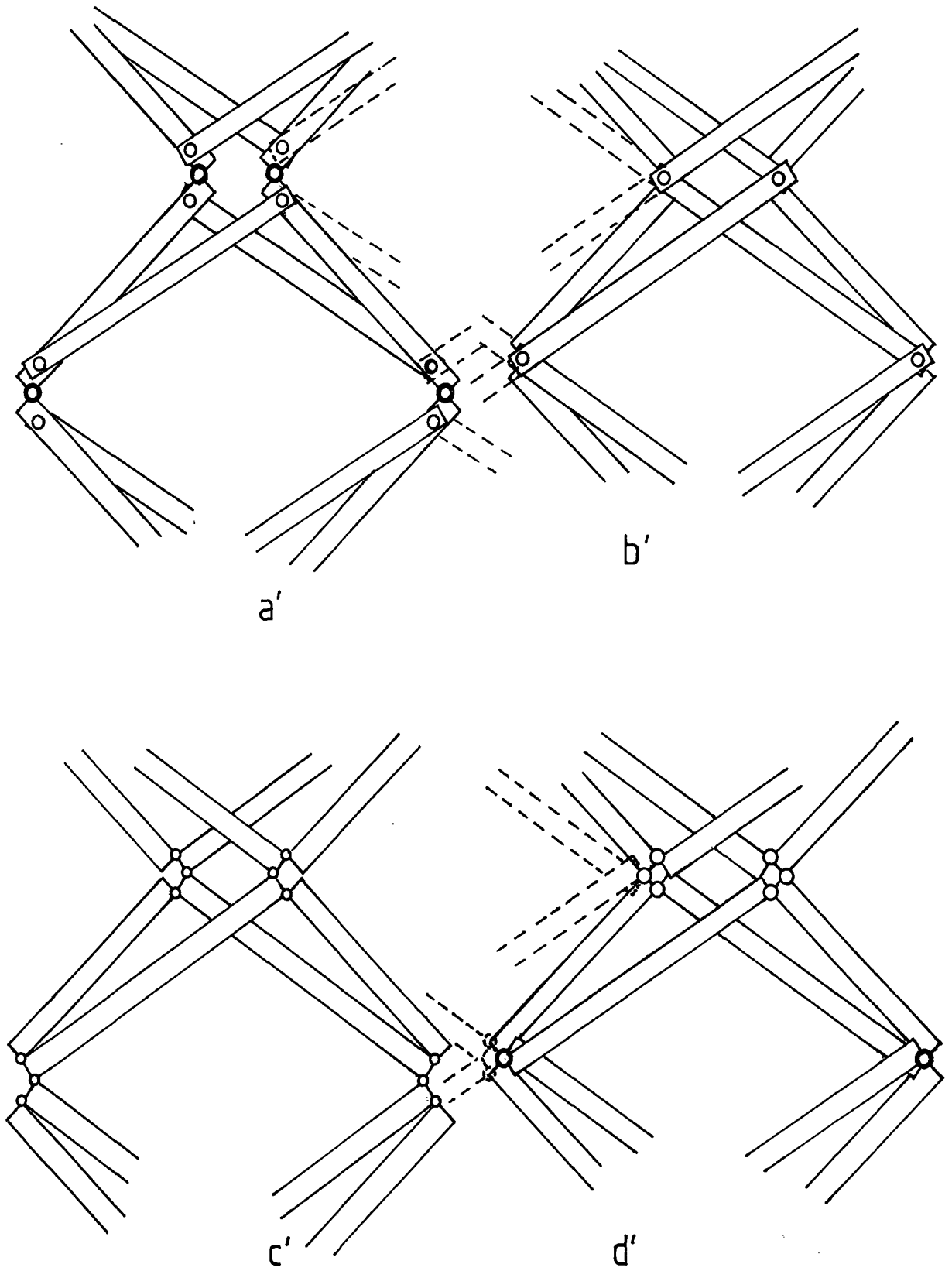


Fig. 5-2

14/3/1986 *chab*

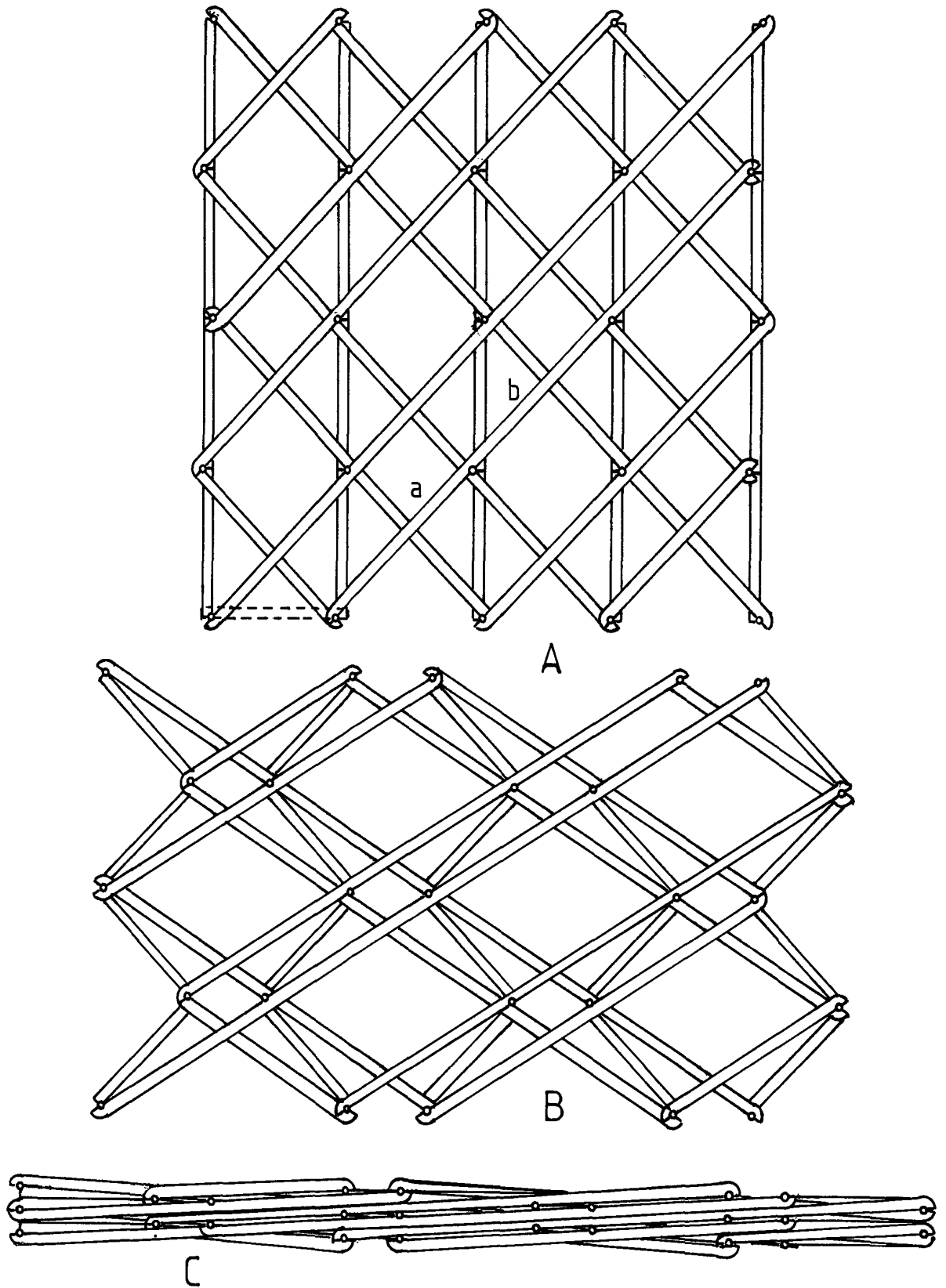
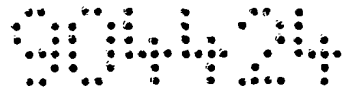


Fig. 6

74/3/1986 *CH*

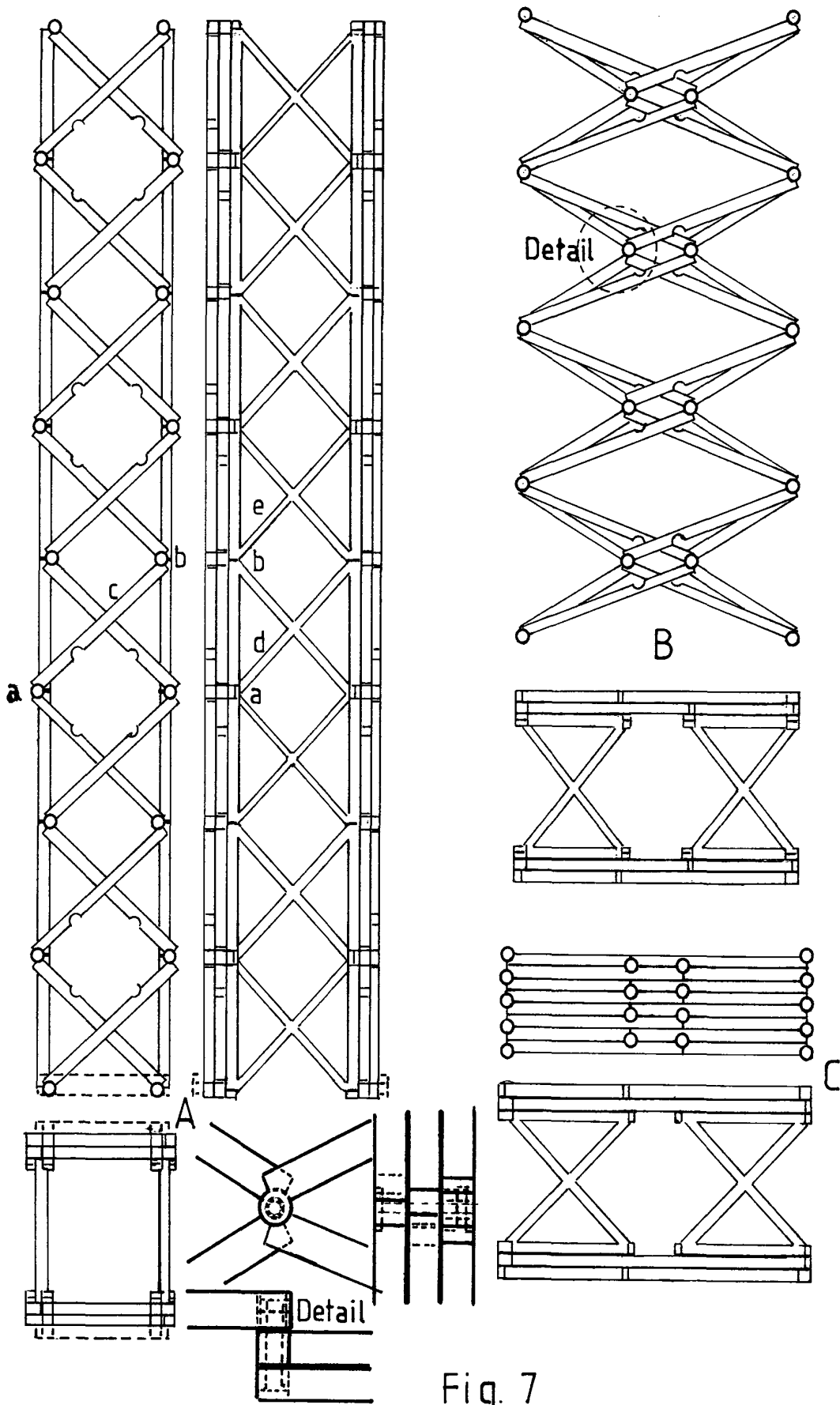


Fig. 7

14/3/1986 *cb/ab*

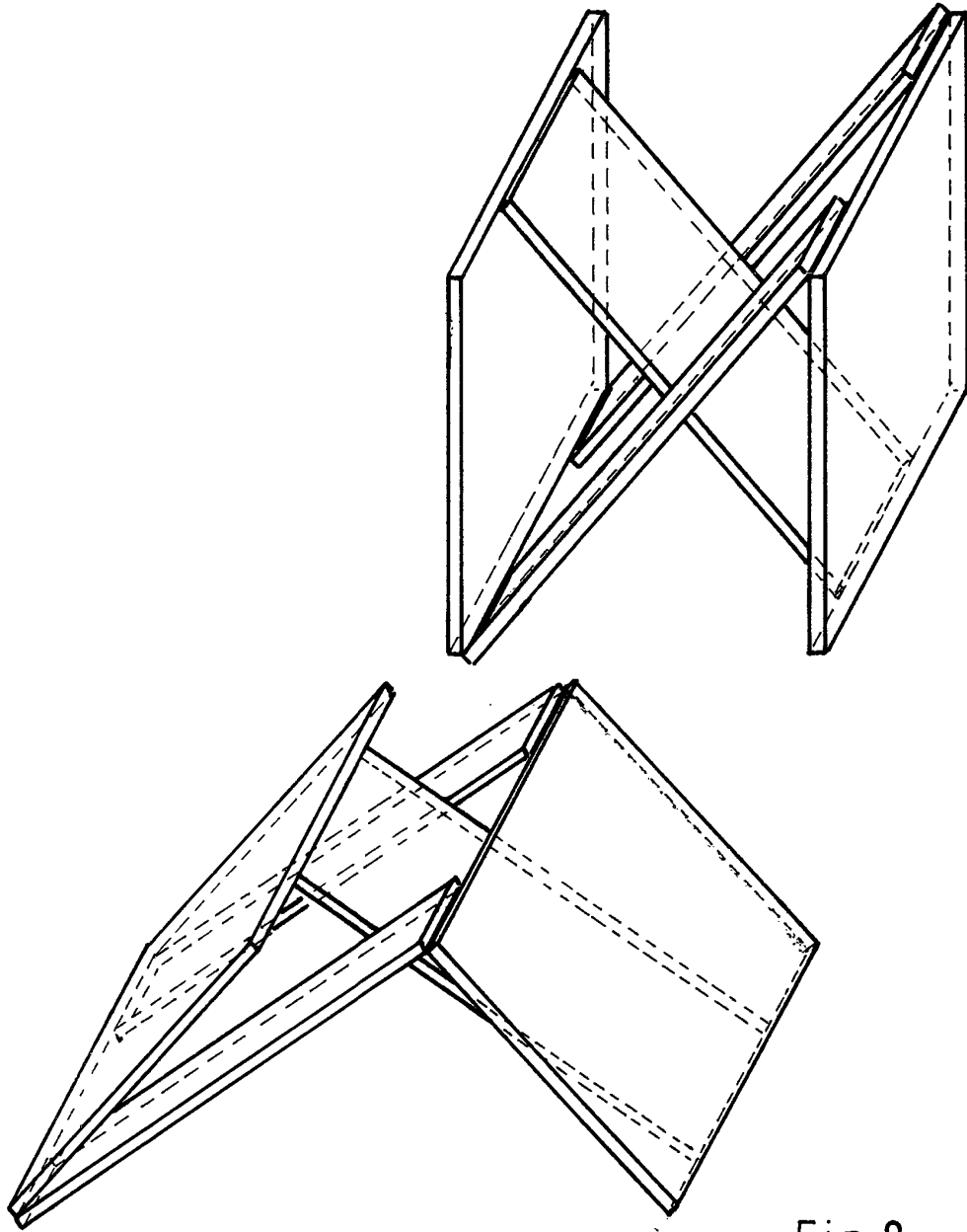
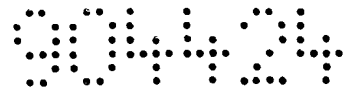
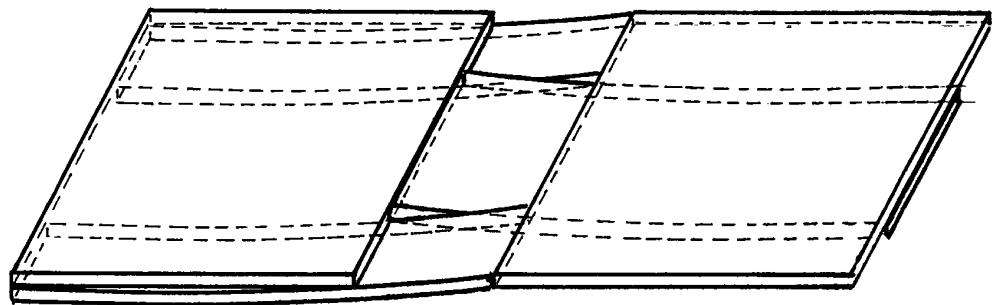


Fig. 8



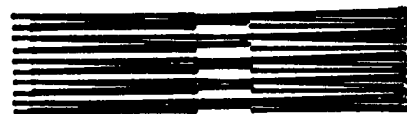
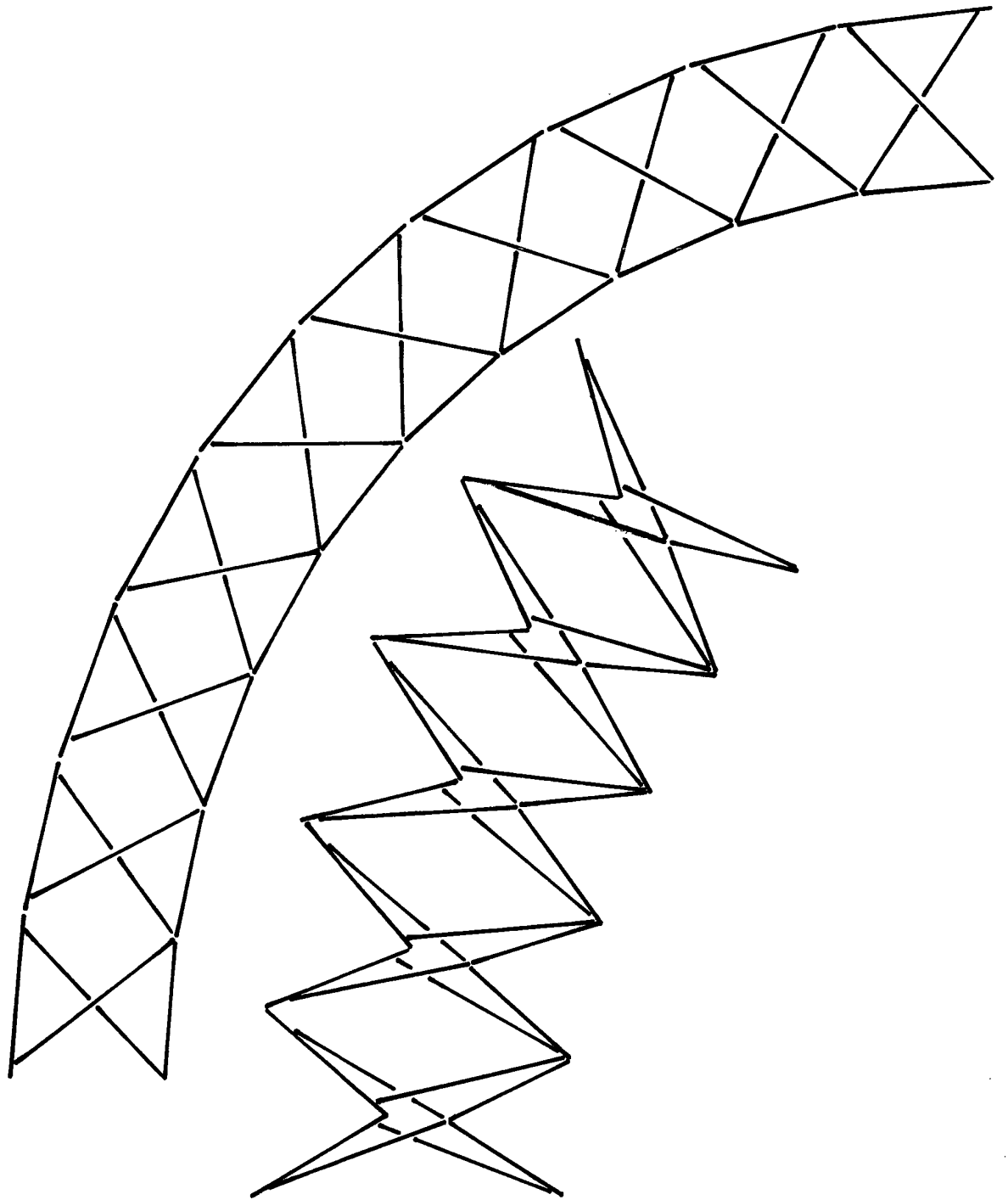


Fig. 9

14/3/1986 *cb/kab*

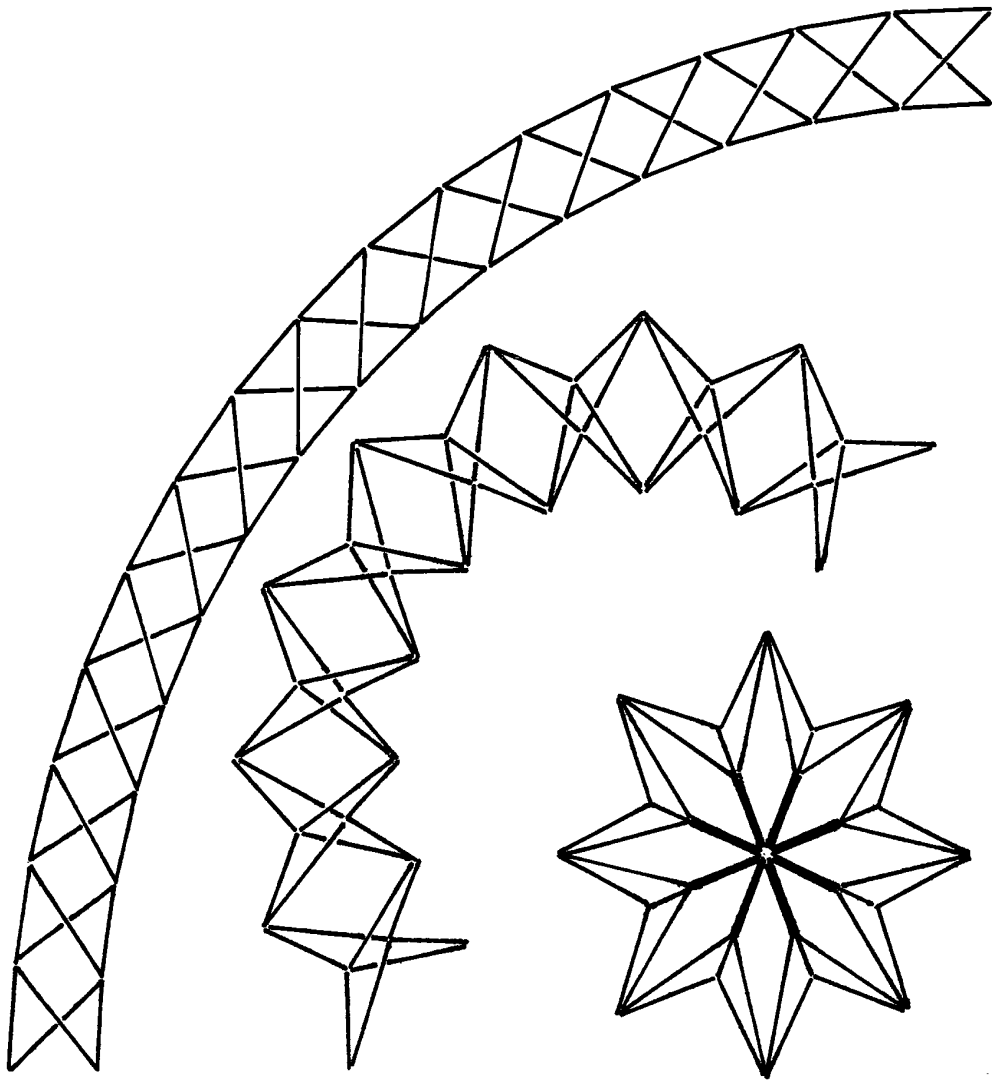
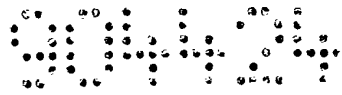


Fig. 10

14/3/1986 *ahalleux*

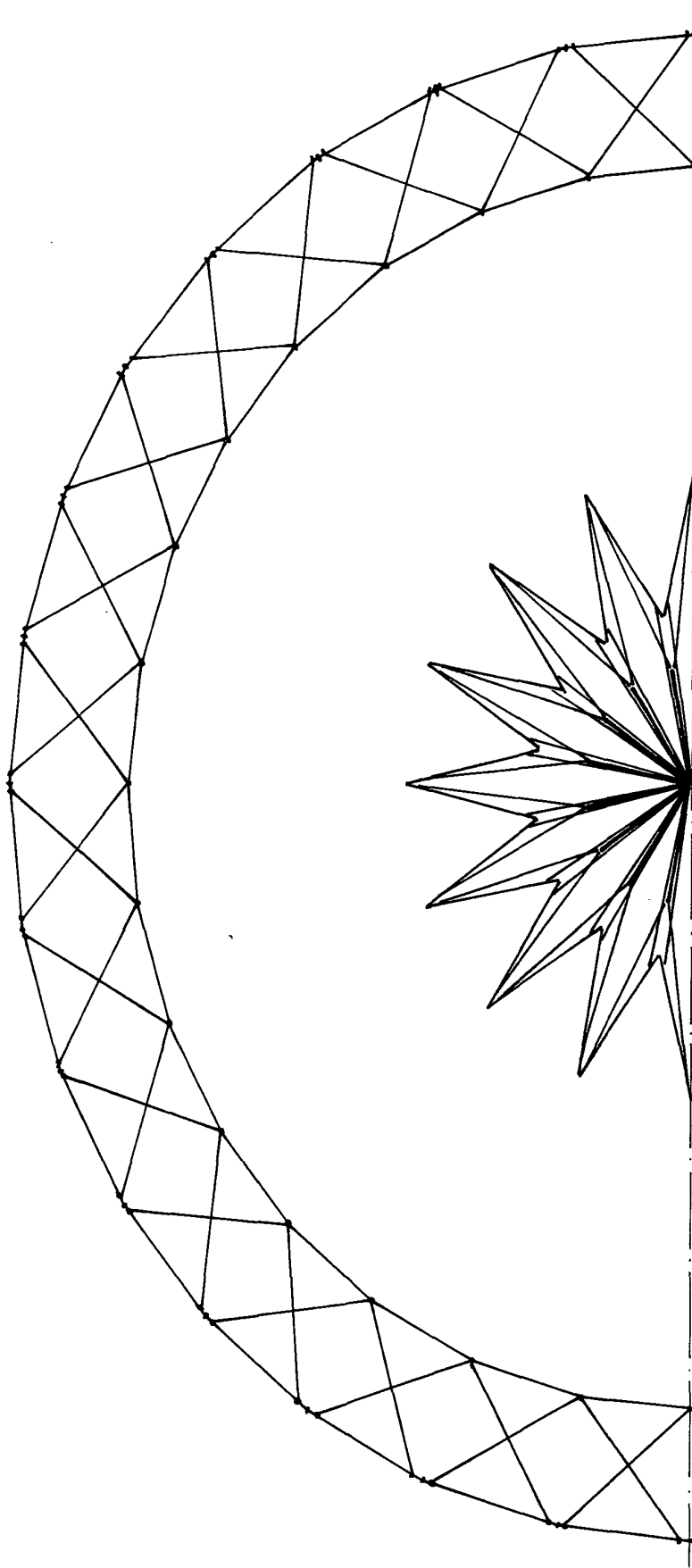
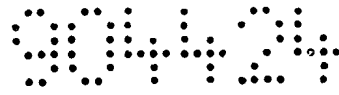


Fig.11

14/3/1986 *cd/kob*

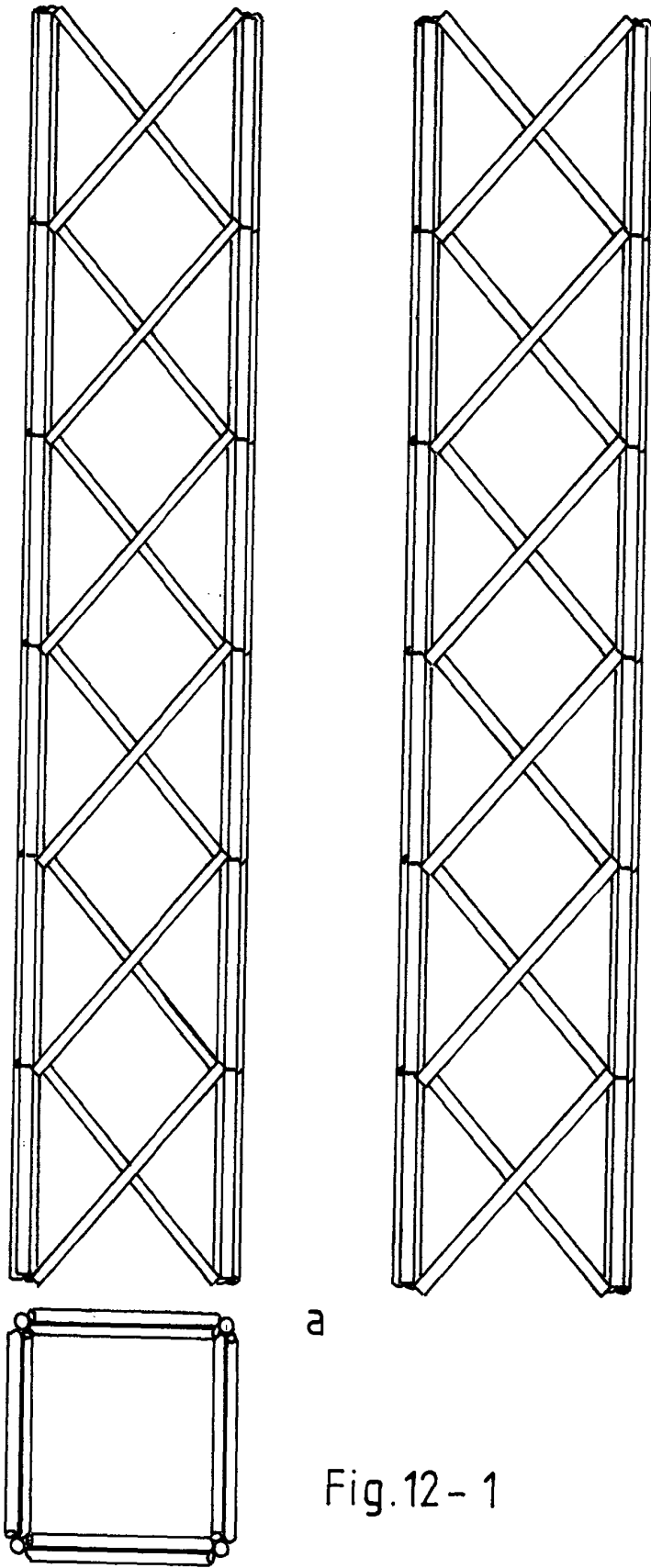
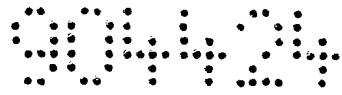
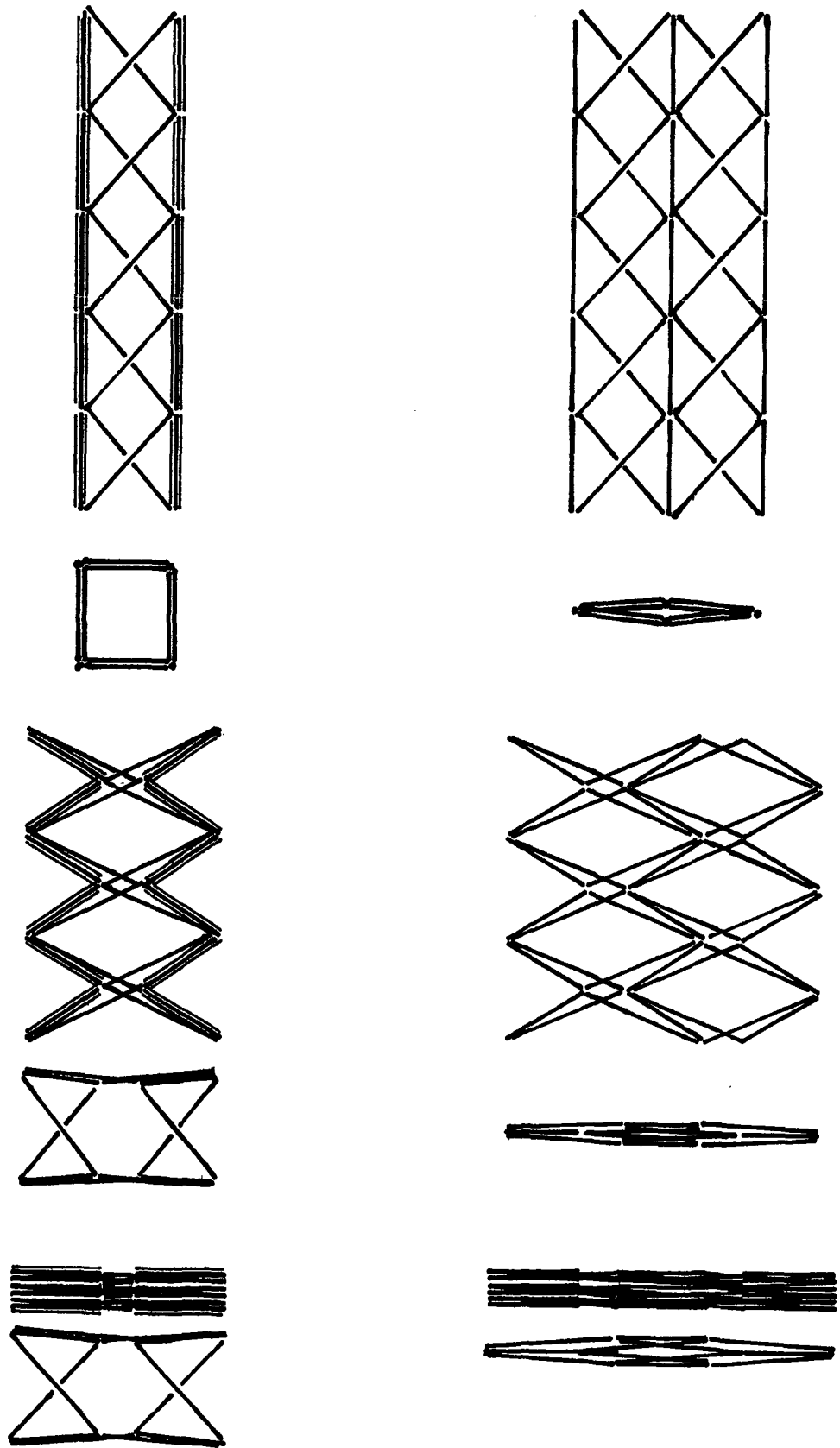
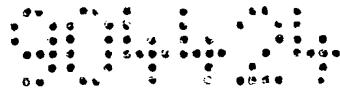


Fig.12-1

14/3/1986 *CHL*



b

Fig.12 - 2

c

14/3/1986 *CH*

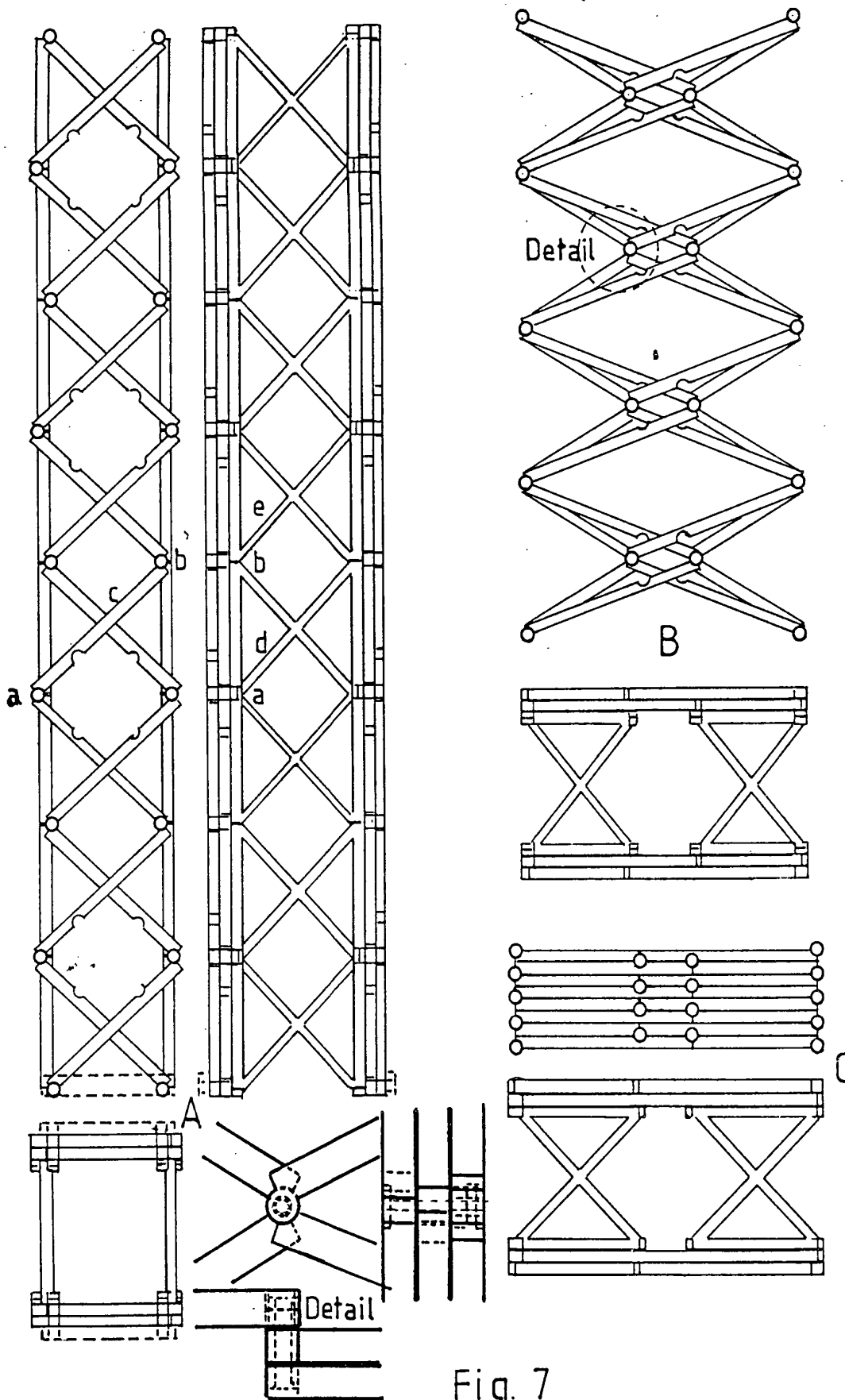


Fig. 7