

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11) N° de publication : **2 876 445**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21) N° d'enregistrement national : **04 01661**

51) Int Cl⁸ : G 01 C 15/00 (2006.01), G 01 B 11/28

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 19.02.04.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 14.04.06 Bulletin 06/15.

56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : MEASURIX Société à responsabilité limitée — FR.

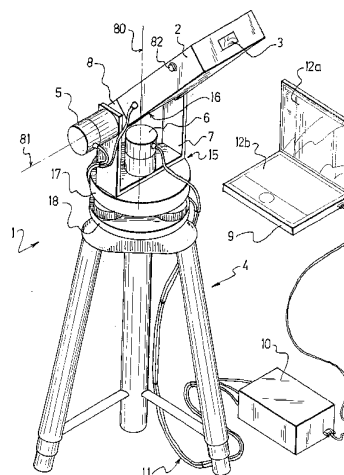
72) Inventeur(s) : SCHIAVI JEAN PIERRE.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : BARRE LAFORGUE ET ASSOCIES.

54) DISPOSITIF ET PROCEDE DE MESURE DE LA SUPERFICIE DE SURFACES PLANES POLYGONALES DANS L'ESPACE.

57) L'invention concerne un dispositif de mesure de la superficie de surfaces planes polygonales dans l'espace, comprenant un télémètre (2), monté sur un piétement (4) par l'intermédiaire d'une monture (15) à point central (16), des moyens (5, 6) de repérage angulaire dans l'espace de la direction de visée du télémètre, le télémètre et les moyens de repérage angulaire étant ainsi adaptés pour pouvoir mesurer les coordonnées sphériques du point visé dans un repère spatial centré sur le point central; caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de déclenchement (82), sur commande de l'utilisateur, de l'acquisition des coordonnées sphériques du point visé, et une unité de traitement numérique (9) adaptée pour pouvoir générer et mémoriser un modèle numérique géométrique de chaque surface plane polygonale, à partir des coordonnées sphériques acquises d'une série discrète de points visés, dits points de mesure, choisis de sorte que ladite série permette de déterminer topologiquement ladite surface plane polygonale, et pour calculer et enregistrer une valeur représentative de l'aire de chaque modèle numérique ainsi généré.



FR 2 876 445 - A1



DISPOSITIF ET PROCÉDE DE MESURE DE LA SUPERFICIE DE SURFACES PLANES POLYGONALES DANS L'ESPACE

L'invention concerne un dispositif et un procédé de mesure de la
5 superficie de surfaces planes polygonales dans l'espace. Elle s'applique plus
particulièrement au domaine du bâtiment (architecture, construction...), et vise à offrir
un outil pour le métrage de surfaces, et notamment pour le calcul de la superficie du
sol, du plafond et des murs d'une pièce de bâtiment.

La méthode traditionnelle, utilisée pour mesurer et calculer la
10 superficie des surfaces délimitant une pièce de bâtiment, consiste à :

- pour chaque surface plane rectangulaire, telle qu'un pan de mur,
ou encore le sol ou le plafond de la pièce si celle-ci est rectangulaire, calculer la
superficie de cette surface à partir d'une mesure de sa longueur et de sa largeur,

- pour chaque surface plane polygonale de géométrie plus
15 complexe, définir une partition de cette surface en triangles (méthode de la
triangulation) en "traçant" des diagonales reliant un sommet donné de la surface
polygonale à chacun des autres sommets, et calculer la superficie de la surface à partir
des mesures de chacune de ces diagonales et de chaque côté de la surface.

Les mesures (largeur, longueur, diagonale...) sont généralement
20 effectuées au moyen d'un mètre ruban ou d'un télémètre puis notées par le métreur sur
un croquis sur papier ; les calculs sont effectués en saisissant manuellement les cotes
mesurées dans un outil de calcul tel qu'un tableur ou une calculatrice.

Cette méthode exige de nombreux déplacements de l'opérateur
pour effectuer les mesures, une réflexion attentive pour déterminer les cotes à mesurer
25 et les règles de calcul à appliquer, de nombreuses manipulations qui demandent une
grande rigueur (notamment lors de la lecture sur le télémètre et du report sur le croquis
des cotes mesurées, et lors de la saisie desdites cotes dans l'outil de calcul). Le risque
d'erreur est important. Cette méthode suppose de plus qu'il n'y ait pas d'obstacle à la
réalisation des mesures (mobilier...).

30 On connaît par ailleurs DE 100 33 873, qui décrit un dispositif
pour le relevé et la cartographie de terrains ou de pièces, comprenant un télémètre laser

monté rotatif autour d'un axe vertical et d'un axe horizontal, deux moteurs associés à des codeurs angulaires (ou deux moteurs pas à pas) permettant d'entraîner le télémètre en rotation et de mesurer sa position angulaire autour de ces deux axes, une unité de traitement reliée aux moteurs, au télémètre et aux codeurs angulaires par une interface bidirectionnelle, en vue, d'une part du pilotage des moteurs, et d'autre part de la réception des mesures de distance du télémètre et des mesures d'angle des deux codeurs angulaires. Pour réaliser le plan en coupe horizontale d'une pièce telle que la salle hypostyle illustrée à la figure 2 de DE 100 33 873, on place le dispositif en un premier point d'observation ; celui-ci, entraîné par le moteur correspondant, balaie horizontalement 360° ou un secteur angulaire préprogrammé et enregistre en continu la distance mesurée par le télémètre et l'azimut mesuré par le codeur correspondant, pour tous les points balayés ; on réitère cette opération à partir d'un deuxième puis d'un troisième point d'observation ; un recalage est effectué en repérant la position de deux des points d'observation relativement au troisième, au moyen de réflecteurs placés en ces deux premiers points. En utilisant les deux moteurs successivement, on peut réaliser de même des cartographies 3D de terrains ou bâtiments, en balayant de façon continue un secteur angulaire vertical pour chaque angle d'un secteur angulaire horizontal, ou inversement. Le dispositif de DE 100 33 873 fournit uniquement des cartes ou plans de terrains ou bâtiments ; il ne possède aucun moyen de mesure ou de calcul de superficie. A noter, en outre, que la procédure de recalage décrite est source d'erreur en ce qu'elle réclame une participation attentive de l'utilisateur pour placer les réflecteurs exactement sur les points d'observation (à défaut, les cartes réalisées sont erronées).

L'inventeur a constaté qu'il n'existe, à ce jour, aucun dispositif permettant de mesurer la superficie des sol, murs et plafond d'une pièce de bâtiment, et que le problème technique consistant à fournir, à cette fin, un dispositif peu coûteux et d'utilisation simple et rapide, n'a jamais été posé.

L'invention vise à combler ce manque en proposant un dispositif simple et peu coûteux, permettant d'évaluer la superficie de surfaces de bâtiment. L'invention vise également à proposer un procédé pour évaluer la superficie de surfaces

de bâtiment, qui soit simple et rapide à mettre en oeuvre et utilise un dispositif peu coûteux.

En particulier, l'invention vise à proposer un dispositif et un procédé simples pour mesurer la superficie de surfaces planes polygonales.

5 Un autre objectif de l'invention est de proposer un procédé et un dispositif dont la mise en oeuvre ou l'utilisation ne nécessite aucune connaissance particulière ni aucune réflexion ou attention élevée de la part de l'utilisateur, et soit par conséquent à la portée d'une personne de capacité normale et d'attention moyenne. Un objectif de l'invention est de permettre de relever des surfaces planes polygonales de
10 façon systématique, machinale et sans risque d'erreur.

Un autre objectif de l'invention est de fournir un dispositif et un procédé permettant d'évaluer la superficie d'une surface réelle quelconque avec une erreur inférieure à 5%, et permettant notamment de mesurer la superficie d'une surface plane polygonale avec une erreur inférieure à 1%.

15 L'invention vise également à fournir un dispositif et un procédé permettant de mesurer la superficie de l'ensemble des surfaces délimitant une pièce de bâtiment, y compris lorsque celle-ci est aménagée ou habitée et que la présence de meubles et autres obstacles rendent impossibles à la fois certaines mesures nécessaires dans le cadre d'une méthode traditionnelle (triangulation) et une cartographie de la
20 pièce au moyen du dispositif de DE 100 33 873.

Pour ce faire, l'invention concerne un dispositif de mesure de la superficie de surfaces planes polygonales dans l'espace, comprenant :

– un télémètre, monté sur un piétement par l'intermédiaire d'une monture à point central, ledit télémètre étant adapté pour pouvoir délivrer un signal
25 représentatif de la distance séparant le point central d'un point matériel d'une surface, dit point visé,

– des moyens de repérage angulaire dans l'espace de la direction, dite direction de visée, passant par le point central et le point visé, ces moyens de repérage angulaire étant adaptés pour pouvoir délivrer des signaux représentatifs de
30 l'orientation de la direction de visée par rapport à un repère spatial centré sur le point central,

– le télémètre et les moyens de repérage angulaire étant ainsi adaptés pour pouvoir délivrer des signaux représentatifs des coordonnées sphériques du point visé par rapport audit repère spatial.

Le dispositif selon l'invention est caractérisé en ce que :

5 – il est adapté pour permettre à un utilisateur d'orienter le télémètre vers un point visé de son choix,

– il comprend des moyens de déclenchement, sur commande de l'utilisateur, de l'acquisition des coordonnées sphériques du point visé, aptes à déclencher une mémorisation de données numériques représentatives de ces
10 coordonnées sphériques à partir des signaux délivrés par le télémètre et les moyens de repérage angulaire,

– il comprend une unité de traitement numérique adaptée pour pouvoir :

◇ générer et mémoriser un modèle numérique géométrique
15 de chaque surface plane polygonale, à partir des coordonnées sphériques acquises d'une série discrète de points visés, dits points de mesure, choisis de sorte que ladite série permette de déterminer topologiquement ladite surface plane polygonale,

◇ calculer et enregistrer une valeur représentative de l'aire de chaque modèle numérique ainsi généré.

20 L'invention concerne également un procédé de mise en oeuvre d'un tel dispositif, et notamment un procédé de mesure de la superficie de surfaces planes polygonales dans l'espace, caractérisé en ce que :

– on utilise un dispositif comprenant :

◇ un télémètre, monté sur un piétement par l'intermédiaire
25 d'une monture à point central, ledit télémètre étant adapté pour pouvoir délivrer un signal représentatif de la distance séparant le point central d'un point matériel d'une surface, dit point visé,

◇ des moyens de repérage angulaire dans l'espace de la direction, dite direction de visée, passant par le point central et le point visé, ces
30 moyens de repérage angulaire étant adaptés pour pouvoir délivrer des signaux

représentatifs de l'orientation de la direction de visée par rapport à un repère spatial centré sur le point central,

5 ◇ le télémètre et les moyens de repérage angulaire étant ainsi adaptés pour pouvoir délivrer des signaux représentatifs des coordonnées sphériques du point visé par rapport audit repère spatial,

 ◇ des moyens de déclenchement, sur commande de l'utilisateur, de l'acquisition des coordonnées sphériques du point visé, aptes à déclencher une mémorisation de données numériques représentatives de ces coordonnées sphériques à partir des signaux délivrés par le télémètre et les moyens de
10 repérage angulaire,

 ◇ une unité de traitement numérique,
 – pour chaque surface plane polygonale à mesurer, on choisit une série discrète de points visés, dits points de mesure, de telle sorte que ladite série permette de déterminer topologiquement ladite surface plane polygonale,

15 – pour chaque surface plane polygonale, on effectue une opération de modélisation de ladite surface, dans laquelle on relève les points de mesure de la série correspondante, en orientant le télémètre successivement vers chaque point de mesure et en déclenchant l'acquisition de ses coordonnées sphériques, l'unité de traitement étant adaptée pour :

20 ◇ générer et mémoriser un modèle numérique géométrique de chaque surface plane polygonale à partir des coordonnées sphériques acquises de la série de points de mesure correspondante,

 ◇ calculer et enregistrer une valeur représentative de l'aire de chaque modèle numérique ainsi généré.

25 Ainsi définis, les dispositif et procédé selon l'invention permettent de mesurer des surfaces planes polygonales. En effet, l'une des idées de base ayant présidé à la conception de l'invention est, d'une part qu'un bâtiment est majoritairement formé de surfaces planes polygonales, et d'autre part que l'assimilation d'une surface quelconque (notamment non plane et/ou non polygonale) à une ou
30 plusieurs surfaces planes polygonales convenablement choisies, par une méthode usuelle de discrétisation, peut fournir une approximation correcte de sa superficie.

Ainsi, une surface réelle plane ayant un bord arrondi peut être modélisée par un modèle numérique polygonal dont le segment correspondant au bord arrondi de la surface réelle est une ligne brisée (dont les sommets successifs correspondent à des points visés sur le bord arrondi) ; une surface réelle courbe (non plane) peut être modélisée par un
5 modèle numérique polyédrique formé d'une pluralité de polygones plans dont les arêtes correspondent, pour la plupart, à des lignes de la surface réelle courbe.

Et l'inventeur a constaté qu'avec un faible degré de discrétisation, c'est-à-dire en modélisant une surface réelle quelconque avec un nombre limité (entre 1 et 5 par exemple) de polygones simples (ayant chacun moins de 7 sommets par
10 exemple), on approche la superficie de la surface réelle avec une erreur inférieure à 5%, qui est l'erreur maximale autorisée par la loi "Carrez" dans le calcul des surfaces d'habitation.

L'inventeur a ainsi tout d'abord démontré qu'il était possible d'évaluer de façon relativement précise la superficie de surfaces de bâtiment à l'aide
15 d'un dispositif de mesure de surfaces planes polygonales.

Il a, par ailleurs, imaginé un dispositif simple, dont l'unité de traitement est adaptée pour générer un modèle numérique d'une surface plane polygonale à partir d'une série discrète de points de mesure dûment choisis. L'opération de modélisation selon l'invention est particulièrement rapide, bien plus rapide que celle
20 effectuée par le dispositif complexe de DE 100 33 873 qui réalise un relevé continu de l'ensemble des points d'une surface quelconque.

Et contrairement à la méthode traditionnelle de triangulation, le modèle numérique selon l'invention est généré, de façon automatique, à partir de la mesure des coordonnées sphériques des points de mesure, et non, de façon manuelle, à
25 partir de la mesure des côtés et diagonales de la surface polygonale.

La modélisation étant entièrement automatisée (y compris la transmission à l'unité de traitement des coordonnées sphériques mesurées), à l'exception du déclenchement de l'acquisition des coordonnées sphériques des points de mesure, elle est extrêmement rapide et sûre : le seul risque d'erreur possible réside
30 dans le choix des points de mesure, ce risque pouvant être évité en dotant le dispositif

d'une unité de traitement adaptée pour guider le choix des points de mesure en délivrant, via une interface utilisateur, des messages correspondants.

La modélisation s'effectuant à partir des coordonnées sphériques de points de mesure dans un repère spatial propre au dispositif, les déplacements de l'utilisateur sont limités. Dans la majorité des cas, l'opération de modélisation de la surface plane polygonale s'effectue sans aucun déplacement, l'ensemble des points de mesure étant relevé depuis un seul et même emplacement du dispositif. Le procédé est donc particulièrement rapide.

Les moyens de repérage angulaire comprennent de préférence deux codeurs angulaires mesurant chacun l'angle formé par la direction de visée et un plan de référence du repère spatial.

Pour permettre à l'utilisateur d'orienter le télémètre vers un point visé de son choix, la monture comprend par exemple des moyens de manoeuvre du télémètre adaptés pour permettre une orientation manuelle de celui-ci par l'utilisateur. La monture est avantageusement constituée de deux cardans, un premier cardan monté librement pivotant sur le piétement autour d'un axe de rotation vertical, et un second cardan monté librement pivotant sur le premier cardan autour d'un axe de rotation horizontal, le télémètre étant fixé sur ce second cardan. Le télémètre peut ainsi être orienté vers chaque point de mesure de façon manuelle.

Cette version préférée de l'invention n'exclut pas la possibilité de doter la monture de moyens de manoeuvre du télémètre adaptés pour permettre une orientation automatique et programmée de celui-ci, tels que des moteurs d'entraînement en rotation des cardans précédemment décrits. Il s'avère cependant que de tels moyens grèvent inutilement le coût du dispositif et complique son utilisation.

Avantageusement et selon l'invention, les moyens de déclenchement comprennent un organe de déclenchement manuel à effet immédiat. L'acquisition des coordonnées sphériques de chaque point de mesure peut ainsi être déclenchée de façon manuelle à l'instant de visée dudit point de mesure. L'organe de déclenchement est par exemple un organe mécanique ou un organe à sensibilité thermique ou éventuellement optique apte à détecter la présence du doigt de l'utilisateur... Dans une version préférée, le dispositif intègre un télémètre connu usuel

et l'organe de déclenchement selon l'invention correspond au bouton de mémorisation du télémètre, modifié de telle sorte qu'une pression dudit bouton déclenche non seulement la mémorisation de la distance mesurée par le télémètre mais aussi celle des angles mesurés par les moyens de repérage angulaire. Cette version de l'invention
5 n'exclut cependant pas la possibilité de doter le dispositif de moyens de déclenchement programmables à effet différé.

Comme précédemment expliqué, l'unité de traitement est adaptée pour générer un modèle numérique d'une surface plane polygonale à partir des coordonnées sphériques d'une série de points de mesure permettant de déterminer
10 topologiquement ladite surface. En particulier, l'unité de traitement est adaptée pour générer un modèle numérique d'une surface plane polygonale à partir d'une série de points de mesure, dite série complète, qui détermine à elle seule la topologie de la surface plane polygonale.

Ainsi, dans le procédé selon l'invention, pour au moins une
15 surface plane polygonale à mesurer, on choisit une série de points de mesure, dite série complète, qui détermine à elle seule la topologie de la surface plane polygonale.

Avantageusement et selon l'invention, l'unité de traitement est adaptée pour générer un modèle numérique d'une surface plane polygonale à partir d'une série (complète) de points de mesure comprenant au moins chaque sommet de la
20 surface plane polygonale. En d'autres termes, le modèle numérique est obtenu à partir de la modélisation de chacun des sommets de la surface plane polygonale. Une telle série de points détermine totalement, à elle seule, la topologie de ladite surface.

De façon plus générale, l'unité de traitement selon l'invention est adaptée pour générer un modèle numérique à partir d'une série de points de mesure
25 comprenant au moins, pour chaque sommet de la surface plane polygonale, un point dont la projection sur la surface selon une direction prédéterminée coïncide avec ledit sommet. Chaque sommet du modèle numérique est dans ce cas généré à partir des coordonnées sphériques d'un point situé sur un axe qui passe par le sommet correspondant de la surface plane polygonale et est parallèle à une direction de
30 projection prédéterminée (qui est la même pour tous les sommets). Ce point peut être le sommet lui-même.

Par exemple, si le dispositif est destiné à être utilisé pour mesurer la superficie de surfaces délimitant une pièce de bâtiment, l'unité de traitement est avantageusement adaptée pour générer un modèle numérique d'une surface plane polygonale horizontale, telle que sol ou plafond horizontal, à partir d'une série de points de mesure comprenant, pour chaque sommet de la surface polygonale, un point dont la projection orthogonale -c'est-à-dire selon la direction verticale- sur ladite surface horizontale coïncide avec ledit sommet. En d'autres termes, il s'agit soit du sommet lui-même, soit d'un point situé sur un axe vertical passant par ce sommet, c'est-à-dire situé dans le coin de la pièce à l'intersection des deux murs verticaux entourant ledit sommet.

Dans le procédé selon l'invention, pour au moins une surface plane polygonale, on choisit avantageusement une série de points de mesure comprenant au moins, pour chaque sommet de la surface polygonale, un point dont la projection sur ladite surface selon une direction prédéterminée coïncide avec ledit sommet. En particulier, pour mesurer une surface plane polygonale horizontale d'une pièce de bâtiment, telle que sol ou plafond horizontal, on choisit une série de points de mesure comprenant, pour chaque sommet de la surface polygonale, un point dont la projection orthogonale (verticale) sur ladite surface horizontale coïncide avec ledit sommet (point situé dans le coin de la pièce à la verticale dudit sommet). Ce point peut donc être choisi à une hauteur quelconque dans le coin de la pièce, ce qui permet de s'affranchir du problème causé par les éventuels obstacles que constitue le mobilier.

Avantageusement et selon l'invention, en variante ou -de préférence- en combinaison, l'unité de traitement est adaptée pour générer un modèle numérique d'une surface plane polygonale à partir d'une série (complète) de points de mesure comprenant au moins deux points de chaque arête de la surface plane polygonale. En d'autres termes, le modèle numérique est obtenu à partir de la modélisation de chacune des arêtes de la surface plane polygonale, chaque arête du modèle étant définie par deux points quelconques de l'arête correspondante de la surface (l'un -ou les deux- de ces points pouvant d'ailleurs correspondre à une extrémité de l'arête, c'est-à-dire à un sommet de la surface polygonale). Une telle série de points détermine totalement, à elle seule, la topologie de ladite surface.

De façon plus générale, l'unité de traitement selon l'invention est adaptée pour générer un modèle numérique à partir d'une série de points de mesure comprenant au moins, pour chaque arête de la surface plane polygonale, deux points dont la projection sur la surface selon une direction prédéterminée appartient à ladite arête. En d'autres termes, l'arête est modélisée à partir des coordonnées sphériques de deux points situés chacun, soit sur l'arête elle-même, soit dans un plan défini par ladite arête et une direction de projection prédéterminée (la même pour toutes les arêtes).

Par exemple, si le dispositif est destiné à être utilisé pour mesurer la superficie de surfaces délimitant une pièce de bâtiment, l'unité de traitement est avantageusement adaptée pour générer un modèle numérique d'une surface plane polygonale horizontale, telle que sol ou plafond horizontal, à partir d'une série de points de mesure comprenant, pour chaque arête de la surface polygonale, deux points dont la projection orthogonale -c'est-à-dire selon la direction verticale- sur ladite surface horizontale appartient à ladite arête. En d'autres termes, il s'agit de points situés sur l'arête elle-même ou à la verticale de ladite arête, sur le mur vertical délimité par ladite arête.

Dans le procédé selon l'invention, pour au moins une surface plane polygonale, on choisit alors avantageusement une série de points de mesure comprenant au moins, pour chaque arête de la surface plane polygonale, deux points dont la projection sur la surface selon une direction prédéterminée appartient à ladite arête. En particulier, pour mesurer une surface plane polygonale horizontale d'une pièce de bâtiment, telle que sol ou plafond horizontal, on choisit une série de points de mesure comprenant, pour chaque arête de la surface polygonale, deux points dont la projection orthogonale sur ladite surface horizontale appartient à ladite arête. Là encore, l'invention permet de s'affranchir du problème des obstacles que constitue le mobilier puisqu'il est possible de choisir deux points quelconques sur le mur vertical délimité par ladite arête.

A noter que cette version du procédé selon l'invention conduit, certes, à relever jusqu'à deux fois plus de points de mesure que la version précédente consistant à relever les sommets de la surface, mais chaque relevé est effectué de façon plus rapide puisque l'utilisateur n'a pas besoin de s'appliquer à viser un sommet de

façon précise et peut au contraire choisir un point quelconque sur l'arête (ou le mur vertical si la surface à mesurer est horizontale).

Avantageusement et selon l'invention, l'opération de modélisation de chaque surface plane polygonale comprend de préférence une saisie initiale d'un ordre de démarrage de ladite opération et une saisie finale d'un ordre de terminaison de ladite opération, à l'aide de l'interface utilisateur du dispositif.

Si l'unité de traitement est adaptée pour générer des modèles numériques à partir de séries de points de mesure de types divers, telles que des séries de sommets, des séries de points d'arête, éventuellement des séries comprenant des points d'arête et des sommets, etc., pour modéliser une surface plane polygonale, on choisit un type de série de points de mesure et on saisit, au démarrage de l'opération de modélisation (avant de relever un premier point de mesure), une information définissant le type de série choisi.

L'ordre de démarrage d'une opération de modélisation et l'information de définition du type de série de points de mesure choisi pour l'opération, peuvent être saisis concomitamment au moyen d'une seule et même commande de l'interface utilisateur. Cette commande peut également permettre de définir le type de surface à mesurer : surface horizontale, surface verticale, surface inclinée, surface quelconque... L'unité de traitement est par exemple adaptée pour permettre à l'utilisateur de saisir :

- un ordre de démarrage d'une opération de modélisation d'une surface plane polygonale quelconque à partir de points de mesure correspondant aux sommets de la surface, au moyen d'une première commande,
- un ordre de démarrage d'une opération de modélisation d'une surface plane polygonale quelconque à partir de points de mesure correspondant à des points d'arête de la surface, au moyen d'une deuxième commande,
- un ordre de démarrage d'une opération de modélisation d'une surface plane polygonale horizontale -respectivement verticale- à partir de points de mesure correspondant aux sommets de la surface, au moyen d'une troisième - respectivement quatrième- commande,

- un ordre de démarrage d'une opération de modélisation d'une surface plane polygonale horizontale -respectivement verticale- à partir de points de mesure correspondant à des points d'arête de la surface, au moyen d'une cinquième respectivement sixième- commande, etc..

5 Dans de nombreux cas, la géométrie (ou topologie) de la surface plane polygonale est telle qu'il est possible de déterminer un point d'emplacement du dispositif, dit point d'observation, duquel tous les points de mesure sont visibles. Les points de mesure sont alors tous relevés depuis ce même point d'observation.

10 Lorsque tel n'est pas le cas, l'opération de modélisation de la surface plane polygonale comprend les étapes suivantes :

- on relève des points de mesure de la série correspondante qui sont visibles depuis un premier point d'observation,

- on déplace le point central du dispositif en un deuxième point d'observation duquel est visible au moins un autre point de mesure de ladite série, non
15 visible depuis le premier point d'observation,

- on relève des points, dits points de recalage, depuis le deuxième point d'observation, lesdits points de recalage étant choisis de façon à permettre de déterminer la position du deuxième point d'observation relativement au premier point d'observation,

20 - on relève le(s) point(s) de mesure visible(s) depuis le deuxième point d'observation, l'unité de traitement étant adaptée pour calculer les coordonnées, dans le repère spatial du premier point d'observation, du deuxième point d'observation et du(des) point(s) de mesure relevé(s) depuis celui-ci.

A noter que le premier point d'observation est choisi de façon à
25 pouvoir relever depuis ce point un nombre maximal de points de mesure de la série. Il est également de préférence choisi de telle sorte que soit visible depuis celui-ci au moins un nombre de points de mesure suffisant pour permettre de modéliser au moins une arête de la surface polygonale également visible depuis un deuxième point d'observation : deux points correspondant aux deux extrémités (sommets) de cette arête
30 (extrémités elles-mêmes ou points dont les projections sur la surface selon une direction prédéterminée coïncident avec ces extrémités) sont alors choisis comme

points de recalage pour le deuxième point d'observation. Le premier point d'observation peut aussi être choisi de telle sorte que soit visible, depuis les deux points d'observation, au moins un nombre de points de mesure suffisant pour permettre de modéliser au moins deux lignes d'arête non parallèles de ladite surface, les termes

5 "ligne d'arête" désignant la droite (infinie) portant l'arête (segment fini) : deux points correspondant à deux points quelconques sur chacune des ces deux arêtes sont alors choisis comme points de recalage pour le deuxième point d'observation. Dans les deux cas, les points de recalage sont des points visés sur la surface plane polygonale à mesurer ou sur une surface délimitant celle-ci, et non des points visés sur une cible

10 réfléchissante installée par l'utilisateur. Le recalage est donc précis.

A noter également qu'il peut être nécessaire de déplacer le dispositif (c'est-à-dire son point central) en un troisième point d'observation, s'il reste encore des points de mesure à relever (points non visibles depuis les deux premiers points d'observation), et ainsi de suite jusqu'à ce que l'ensemble des points de mesure

15 de la série soit relevé. La position de chaque point d'observation additionnel doit être repérée dans le repère spatial du premier point d'observation, en relevant des points de recalage convenablement choisis.

Comme défini initialement, l'unité de traitement est adaptée pour générer un modèle numérique à partir des coordonnées acquises d'une série de points

20 de mesure qui permet de déterminer topologiquement la surface plane polygonale, et notamment d'une série complète de points de mesure qui détermine à elle seule cette topologie.

En combinaison, avantageusement et selon l'invention, l'unité de traitement est également adaptée pour :

25 – permettre à l'utilisateur, par l'intermédiaire d'une interface utilisateur graphique, de saisir des données, dites données de contrainte, permettant de définir des contraintes géométriques à imposer au modèle numérique, parmi lesquelles des données permettant de générer des objets géométriques dans le modèle numérique et des données permettant de générer des relations géométriques entre des objets

30 géométriques du modèle numérique,

– gérer les données de contrainte saisies de façon à pouvoir générer un modèle numérique d'une surface plane polygonale à partir des coordonnées sphériques acquises d'une série de points de mesure, dite série réduite, qui permet, en combinaison avec une série de données de contrainte saisies, de déterminer la topologie de ladite surface plane polygonale. En d'autres termes, les points de mesure et les contraintes géométriques sont choisis de sorte que, en combinaison, ils déterminent (totalement) la topologie de la surface plane polygonale, la série réduite de points de mesure ne déterminant que partiellement, à elle seule, cette topologie.

L'invention s'étend donc également à un procédé de mesure dans lequel, pour au moins une surface plane polygonale à mesurer :

– on choisit d'une part une série de points de mesure, dite série réduite, et d'autre part une série de contraintes géométriques à imposer à un modèle numérique géométrique de la surface plane polygonale, parmi lesquelles au moins un objet géométrique à imposer audit modèle numérique et/ou au moins une relation géométrique à imposer entre des objets géométriques dudit modèle numérique, les points de mesure et les contraintes géométriques étant choisis de sorte que, en combinaison, ils déterminent la topologie de la surface plane polygonale,

– on effectue une opération de modélisation de ladite surface, dans laquelle on relève chaque point de mesure de la série correspondante et on saisit, par l'intermédiaire d'une interface utilisateur graphique, des données, dites données de contrainte, permettant de définir chaque contrainte géométrique de la série correspondante,

– l'unité de traitement étant adaptée pour :

- ◇ permettre à l'utilisateur de saisir de telles données de contrainte, et gérer lesdites données,

- ◇ générer et mémoriser un modèle géométrique numérique de la surface plane polygonale à partir des coordonnées sphériques acquises de la série réduite de points de mesure et des données de contrainte saisies de la série de contraintes.

L'unité de traitement selon l'invention est par exemple adaptée pour permettre à l'utilisateur de saisir des données de contrainte générant un objet

géométrique choisi parmi un point, un segment, un polygone, etc.. En d'autres termes, l'interface utilisateur est adaptée pour permettre à l'utilisateur de dessiner des objets géométriques (points, segments, polygones...), soit par des moyens graphiques (tablette graphique et stylet...), soit par des commandes prédéfinies (touches clavier ou icônes
5 affichées par un écran et sélectionnées au moyen d'un curseur, commandant respectivement la génération d'un point, d'un segment, d'un polygone donné...), soit par des lignes de commande descriptives...

Avantageusement et selon l'invention, l'unité de traitement est également adaptée pour :

- 10 - permettre à l'utilisateur de saisir des données de contrainte générant un objet géométrique courbe tel qu'un arc, et notamment un arc de cercle,
- générer un modèle numérique plan non polygonal intégrant un(des) objet(s) géométrique(s) courbe(s), à partir de telles données de contraintes (et d'une série réduite de points de mesure),
- 15 - calculer une valeur représentative de l'aire du modèle numérique ainsi généré.

Par exemple, l'unité de traitement est adaptée pour permettre de générer un arc de cercle ou toute autre primitive passant par trois points et notamment par trois points de mesure...

20 Dans cette version de l'invention, le dispositif permet donc également de mesurer des surfaces planes non polygonales, et de fournir une approximation de la superficie d'une surface non polygonale (plane ou non) encore plus précise.

L'unité de traitement selon l'invention est par ailleurs de
25 préférence adaptée pour permettre à l'utilisateur de saisir des données de contrainte générant une relation géométrique choisie parmi un angle entre deux segments du modèle numérique, une orientation d'un segment, une longueur d'un segment, une jonction entre deux segments, un parallélisme de deux segments... Là encore, ces données sont de préférence saisies par l'intermédiaire de commandes prédéfinies
30 (touches clavier, icônes sur une interface graphique...).

A noter que les relations géométriques imposées peuvent porter sur des objets géométriques existants du modèle numérique générés par mesure (points correspondant à des points de mesure, segments définis par des points de mesure...), et/ou sur des objets géométriques rajoutés au modèle numérique par l'utilisateur via l'interface graphique, c'est-à-dire générés par des données de contrainte (points ou segments de contrainte venant compléter la série réduite de points de mesure).

Les contraintes à imposer au modèle numérique sont choisies par l'utilisateur sur la base d'une évaluation visuelle, qui est certes approximative. En effet, un angle n'est jamais parfaitement droit dans un bâtiment, un arête jamais réellement rectiligne, ni verticale ou horizontale. Mais les résultats obtenus en terme de calcul d'aire sont malgré tout précis, l'impact de l'erreur due aux hypothèses faites par l'utilisateur sur les contraintes à imposer étant très faible au regard de l'aire calculée.

La gestion de telles contraintes (objets et relations) par l'unité de traitement permet de limiter le nombre de points de mesure à relever, par l'introduction de contraintes simples telles que, par exemple, la création d'un sommet sur le modèle numérique et d'un angle droit en ce sommet, ou encore la création d'une arête définie par un point de mesure et une donnée de contrainte saisie imposant l'orientation de l'arête.

Cette possibilité devient particulièrement avantageuse pour certaines surfaces planes polygonales complexes, pour lesquelles il ne peut être défini aucun point d'observation duquel soit visible l'ensemble des points de mesure d'une série déterminant totalement la topologie de la surface. Alors, selon l'invention, on choisit une série réduite de points de mesure pour laquelle il existe au moins un point d'observation duquel est visible l'ensemble des points de mesure de la série, on relève lesdits points depuis ce seul point d'observation, on saisit des données de contrainte qui, en combinaison avec les points de mesure, déterminent la topologie de la surface et donc le modèle numérique. En particulier, on saisit des données de contrainte générant, dans le modèle numérique, un ou des point(s) de contrainte et imposant des relations géométriques (angles, jonctions...) entre les différents segments ou points du modèle, de façon à définir une série complète de points de construction (points de

mesure et points de contrainte) déterminant totalement la topologie de la surface plane polygonale.

Un tel procédé permet d'éviter d'avoir à relever des points de mesure depuis plusieurs points d'observation distincts. Il permet également de relever
5 moins de points de mesure en tirant profit des caractéristiques géométriques remarquables de la surface à mesurer, y compris dans le cas où une série complète de points de mesure peut être relevée depuis un unique point d'observation. Le nombre de mesure à effectuer et le temps consacré au relevé de la surface polygonale sont ainsi considérablement réduits. Le procédé selon l'invention est particulièrement rapide et
10 efficace.

Selon la géométrie de la surface plane polygonale, il peut cependant être nécessaire de combiner, d'une part des relevés de points de mesure depuis plusieurs points d'observation distincts, et d'autre part l'utilisation de contraintes géométriques permettant de déterminer totalement la topologie de la surface plane
15 polygonale (en générant par exemple des points de contrainte venant s'ajouter aux points de mesure). En tout état de cause, l'utilisation de contraintes réduit le nombre de points de mesure à relever.

A noter que, lorsque des contraintes géométriques sont utilisées, les différentes étapes de l'opération de modélisation (relevé d'un point de mesure, saisie
20 d'une donnée de contrainte...) sont effectuées dans un ordre ou un autre, selon les contraintes choisies.

A noter aussi que, lorsque des contraintes géométriques sont utilisées, les points de mesure de la série réduite peuvent, à l'instar d'une série complète dans le cas d'une opération de modélisation sans utilisation de contraintes, être choisis
25 de façon à correspondre à des sommets ou à des points d'arête de la surface plane polygonale. Ainsi, on choisit par exemple une série réduite de points de mesure comprenant, pour plusieurs des sommets de la surface polygonale, un point dont la projection sur ladite surface selon une direction prédéterminée coïncide avec ledit sommet. En variante, on choisit une série réduite de points de mesure comprenant, pour
30 plusieurs des arêtes de la surface plane polygonale, deux points dont la projection sur la surface selon une direction prédéterminée appartient à ladite arête.

Avantageusement et selon l'invention, l'unité de traitement est adaptée pour générer des modèles numériques géométriques en deux dimensions. En variante ou en combinaison, l'unité de traitement est adaptée pour générer des modèles numériques géométriques en trois dimensions.

5 Par ailleurs, l'unité de traitement est de préférence adaptée pour gérer des contraintes non orientées, selon une approche variationnelle. Une contrainte non orientée s'exprime sous la forme d'une équation algébrique. Un problème est dit variationnel si ce problème peut être décomposé en un ensemble de sous-problèmes qui peuvent être résolus simultanément. En variante, l'unité de traitement est adaptée pour
10 gérer des contraintes orientées, selon une approche paramétrique. Une contrainte orientée peut s'exprimer sous la forme d'une fonction explicite. Un problème est dit paramétrique si ce problème peut être décomposé en un ensemble de sous-problèmes qui peuvent se résoudre individuellement les uns après les autres d'une façon séquentielle, dans un ordre donné.

15 Avantageusement et selon l'invention, l'unité de traitement est adaptée pour calculer et enregistrer une valeur représentative de la longueur d'au moins un, et de préférence de chaque, segment d'un modèle numérique généré, ainsi qu'une valeur représentative de la longueur du périmètre du modèle numérique, c'est-à-dire de la somme des longueurs de tous les segments dudit modèle. Le dispositif selon
20 l'invention permet ainsi de mesurer des linéaires, tels que le linéaire de murs d'une pièce de bâtiment qui correspond au périmètre du sol de la pièce, c'est-à-dire à la longueur du contour du modèle numérique polygonal représentant le sol, obtenue par la somme des longueurs de ses segments.

A noter enfin que le modèle numérique généré fournit un plan de
25 la surface plane polygonale, qui peut être visualisé, imprimé, éventuellement modifié... Un modèle numérique consolidé en trois dimensions fournit, outre les plans des surfaces correspondantes, des vues en perspective de la pièce, du bâtiment... En d'autres termes, le dispositif selon l'invention est également adapté pour produire des plans de bâtiments existants, de façon simple, rapide et sûre, plans qui peuvent être
30 ensuite réutilisés par les architectes, entrepreneurs, etc..., pour le suivi d'un chantier, la réalisation de modifications, la conception d'un autre bâtiment...

L'invention concerne également un dispositif et un procédé de mesure caractérisés en combinaison par tout ou partie des caractéristiques mentionnées ci-dessus et ci-après.

5 D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante qui se réfère aux figures annexées représentant des modes de réalisation préférentiels de l'invention donnés uniquement à titre d'exemples non limitatifs, et dans lesquelles :

- la figure 1 est une vue en perspective d'un dispositif selon l'invention,
- 10 - la figure 2 est un plan, en coupe horizontale, d'une pièce de bâtiment dont la superficie au sol est à mesurer selon l'invention,
- la figure 3 est une vue en perspective d'une partie de la pièce illustrée à la figure 2,
- la figure 4 est une vue en perspective et en transparence d'une
15 autre pièce de bâtiment dont la superficie au sol est à mesurer selon l'invention,
- la figure 5 est une vue en perspective et en transparence d'une autre pièce de bâtiment dont la superficie des murs et plafonds est à mesurer selon l'invention.

20 La figure 1 illustre un dispositif de mesure 1 selon l'invention. Il comprend :

- un télémètre 2 à laser 3, apte à mesurer une grandeur représentative de la distance séparant un point de référence associé au télémètre et un point matériel quelconque visé sur une surface, et à délivrer un signal correspondant ; le point visé est repéré par le laser du télémètre,
- 25 - un piétement 4 en forme de trépied,
- une monture 15 pour le montage du télémètre 2 sur le trépied 4, comprenant un socle 17 fixé sur un plateau supérieur 18 du trépied, un premier cardan 7 dont l'âme est montée rotative sur le socle 17 autour d'un axe vertical 80 passant par le centre dudit socle, un second cardan 8 monté, par l'extrémité de ses branches, sur les
30 branches du premier cardan 7 de façon à pouvoir pivoter autour d'un axe horizontal 81 passant par les extrémités des branches du premier cardan ; les cardans forment ainsi

une monture à point central 16, lequel point (virtuel) correspond à l'intersection des axes de rotation vertical et horizontal 80 et 81 ; le télémètre 2 est fixé sur l'âme du second cardan 8 par sa façade postérieure de sorte que son axe longitudinal coupe l'axe vertical 80 ; le télémètre est par ailleurs paramétré de sorte que son point de référence
5 coïncide avec le point central 16 de la monture, c'est-à-dire soit situé à l'arrière de sa façade postérieure, à une distance correspondant à la distance séparant ladite façade de l'axe horizontal 81,

- des moyens de repérage angulaire, comprenant un premier codeur angulaire 6 adapté pour mesurer une grandeur représentative de l'angle de
10 rotation du cardan 7 autour de l'axe vertical 80 (angle formé par l'axe longitudinal de l'âme du cardan 7 et un axe de référence horizontal fixe par rapport au socle 17) et pour délivrer un signal correspondant, et un second codeur angulaire 5 adapté pour mesurer une grandeur représentative de l'angle de rotation du cardan 8 autour de l'axe horizontal
15 81 (angle formé par l'axe longitudinal du télémètre 2 et un axe de référence horizontal fixe par rapport au premier cardan 7) et pour délivrer un signal correspondant ; les moyens de repérage permettent ainsi de repérer l'orientation de la direction de visée du télémètre, correspondant à son axe longitudinal, par rapport à un repère spatial centré sur le point central 16 du dispositif ; la distance mesurée par le télémètre et les angles mesurés par les codeurs angulaires constituent les coordonnées sphériques du point
20 visé dans le repère spatial ; les codeurs angulaires présentent de préférence une précision supérieure (c'est-à-dire inférieure en valeur) à $4/10^{\text{ième}}$ de degré. Une telle précision est tout à fait suffisante pour obtenir des résultats de calcul d'aire de surface plane polygonale avec une erreur inférieure à 1%,

- des câbles de communication 11 permettant de transmettre les
25 signaux délivrés par le télémètre et les codeurs angulaires à une unité de traitement numérique 9 ; la transmission s'effectue via un boîtier électronique 10 de pré-traitement, transformant les signaux délivrés par le télémètre et les codeurs en des signaux de données numériques représentatives des coordonnées sphériques du point visé ; en variante, les câbles de transmission reliant le télémètre au boîtier électronique
30 sont remplacés par des moyens de transmission d'ondes radiofréquence directement entre le télémètre et l'unité de traitement,

- un organe de déclenchement de l'acquisition des coordonnées sphériques du points visé, formé par une touche 82 (cette touche est illustrée sur une façade latérale du télémètre par souci de clarté du dessin, mais peut être agencée en un autre endroit du dispositif, et notamment sur la façade supérieure du télémètre comme tel est le cas de la touche de mémorisation d'un télémètre usuel connu) ; une pression exercée par l'utilisateur sur cette touche de déclenchement entraîne une mémorisation, dans l'unité de traitement, des données représentatives des coordonnées sphériques du point visé à l'instant de la pression ; en particulier, une pression de la touche 82 entraîne la mémorisation dans l'unité de traitement 9 d'une donnée représentative de la distance mesurée par le télémètre 2, et la transmission, par le boîtier électronique 10, d'un ordre de mesure des angles par les codeurs angulaires 5 et 6 et de mémorisation de données correspondantes dans l'unité de traitement ; dans le cas où la liaison entre le télémètre et l'unité de traitement est assurée par des ondes radio, l'ordre de mesure par les codeurs est généré (sur pression de la touche 82) par l'unité de traitement et transmise aux codeurs via le boîtier électronique,

- une interface utilisateur graphique, comprenant notamment un clavier de saisie 12b et un écran d'affichage 12a permettant notamment d'afficher les modèles numériques générés par l'unité de traitement 9 ; dans l'exemple illustré, l'unité de traitement et l'interface utilisateur du dispositif sont celles d'un ordinateur personnel portable. Il peut également s'agir de celles d'un dispositif de traitement numérique de type dit PDA ("Personal Digital Assistant"), c'est-à-dire d'un ordinateur de poche ou tout autre dispositif informatique portatif (agendas électroniques, téléphones portables communicants et autres terminaux disposant d'une unité de traitement numérique et d'une interface graphique).

La figure 2 illustre le plan (coupe horizontale) d'une pièce de bâtiment, dont on souhaite mesurer la superficie du sol 13 qui forme une surface plane polygonale complexe. Dans l'exemple illustré, pour effectuer cette mesure, on a choisi de construire le modèle numérique à partir de points de construction correspondant aux sommets de la surface plane polygonale.

Selon l'invention, on choisit, parmi les sommets de la surface, une série réduite de sommets à modéliser à partir d'une série de points de mesure

correspondante, et une série complémentaire de sommets à modéliser à partir d'une série correspondante de points, dits points de contrainte, générés par introduction de contraintes dans le modèle numérique au cours de son élaboration. Les points de mesure et les contraintes sont choisis de sorte qu'ils déterminent totalement la topologie de la surface à mesurer et de sorte que le relevé des points de mesure s'effectue avec un minimum de manipulations et de déplacements, depuis un nombre minimal de points d'observation. Dans l'exemple illustré, deux étapes de relevé à partir de deux points d'observation distincts sont nécessaires pour disposer d'un nombre de points de mesure suffisant pour permettre de déterminer la topologie de la surface, en combinaison avec des contraintes. On détermine ainsi une série réduite de points de mesure comprenant dix-huit points (parmi les vingt sommets de la surface) et une série de contraintes permettant de définir totalement deux points de contrainte correspondant aux deux sommets manquants.

On saisit un ordre de démarrage d'une opération de modélisation d'une surface plane polygonale horizontale à partir de ses sommets, au moyen d'une commande correspondante (sélection dans un menu d'ordre de démarrage...).

On place le dispositif 1 en un premier point d'observation A. Pour pallier un éventuel défaut de planéité du sol ou d'horizontalité du socle 17 (dû à un mauvais réglage du trépied), on saisit un ordre d'initialisation de l'horizontale, on vise un point d'une surface quelconque selon une direction de visée horizontale (telle qu'indiquée par un niveau porté par le télémètre) et on relève ledit point.

Ensuite, pour chaque coin de la pièce visible depuis le premier point d'observation A, on relève un point de mesure situé sur l'arête murale verticale définissant ledit coin, c'est-à-dire un point dont la projection verticale sur le sol coïncide avec un sommet de la surface plane polygonale formant le sol ; pour ce faire, on oriente le télémètre vers le point de mesure et on déclenche l'acquisition de ses coordonnées sphériques au moyen du bouton 82. On relève ainsi les points de mesure 20, 21, 22, 23, 24, 34, 35, 37 et 38. Chaque point de mesure peut être choisi à une hauteur quelconque dans le coin de la pièce. Ainsi, et à titre d'exemple, le point de mesure 38, tel qu'illustré à la figure 3, est pris au sommet de l'arête murale verticale (à l'intersection du plafond et des deux murs formant cette arête) ; le point de mesure

22 est pris à une hauteur médiane de l'arête verticale 39. Il est ainsi possible de choisir des points pour lesquels aucun obstacle ne vient s'interposer entre le télémètre et le point de mesure.

On déplace ensuite le télémètre en un second point d'observation
5 B duquel sont visibles d'autres coins de la pièce (non relevés depuis le premier point A), et on initialise de nouveau l'horizontale, comme précédemment expliqué.

On relève deux points de recalage correspondant chacun à un
sommet de la surface polygonale dont a déjà été relevé un point de mesure
correspondant depuis le premier d'observation A. Pour ce faire, on saisit une
10 commande, dite commande de recalage ; on sélectionne sur le modèle numérique le
sommet du modèle (si le modèle est en deux dimensions) ou l'arête verticale du modèle
(si le modèle est en trois dimensions) correspondant au point de mesure 34 ; on relève
un point de recalage 90 situé sur l'arête murale sur laquelle a été relevé le point de
mesure 34. On réitère l'opération en relevant un point de recalage 91 situé sur l'arête
15 murale sur laquelle a été relevé le point de mesure 37. L'unité de traitement est adaptée
pour en déduire la position du point d'observation B relativement auxdites arêtes
murales et calculer les coordonnées sphériques du point B dans le repère spatial du
point A,

Pour chaque coin de la pièce non visible depuis le premier point
20 d'observation A et visible depuis le second point d'observation B, on relève un point de
mesure situé sur l'arête murale verticale définissant ledit coin, à une hauteur
quelconque. Sont ainsi relevés les points de mesure 25, 26, 27, 19, 28, 30, 31, 33 et 36.
Leurs coordonnées sphériques sont calculées dans le repère spatial du point
d'observation A.

25 On rajoute, dans le modèle numérique obtenu, un point de
contrainte 29 entre les sommets du modèle générés à partir des points de mesure 28 et
30, et on impose la présence d'un angle droit aux sommets correspondant aux points de
mesure 30 et de contrainte 29 (ou bien aux points 28 et 29, ou encore aux points 28 et
30...), en saisissant des données de contrainte correspondantes. De même, on crée un
30 point de contrainte 32 entre les sommets générés à partir des points de mesure 31 et 33,

et on impose la présence d'un angle droit aux sommets correspondant aux points 31 et 32.

Enfin, on saisit un ordre de terminaison de l'opération de modélisation de la surface. L'unité de traitement 9 calcule alors l'aire du modèle numérique réalisé, et délivre une valeur résultante à l'utilisateur via l'écran d'affichage 12a.

En variante, il est possible de modéliser l'ensemble des sommets de la surface plane polygonale uniquement à partir de points de mesure, c'est-à-dire à partir d'une série complète de points de mesure. Il est dans ce cas nécessaire d'effectuer trois étapes de relevé à partir de trois points d'observation A, C et D, une étape de recalage devant être exécutée pour les deux points d'observation C et D, en relevant depuis chacun de ces points deux points de recalage correspondant à des sommets précédemment modélisés. Un tel procédé est plus long, et l'on comprend aisément l'intérêt de la capacité de l'unité de traitement à gérer des contraintes.

A l'instar de l'exemple précédent, pour mesurer la superficie au sol d'une pièce de bâtiment rectangulaire, on peut effectuer une opération de modélisation consistant à modéliser tous les sommets du sol rectangulaire à partir de points de mesure relevés dans les coins de la pièce. La figure 4 illustre une variante de l'invention pour mesurer une telle surface.

Selon l'invention, on modélise les arêtes du sol rectangulaire 14 à partir d'une série complète de points de mesure comprenant, pour chaque arête, deux points matériels dont la projection verticale sur le sol appartient à ladite arête. L'unité de traitement 9 selon l'invention est en effet adaptée, pour chaque point de mesure, pour calculer les coordonnées d'un point, dit point de projection, correspondant à la projection du point de mesure sur un plan horizontal prédéterminé, et générer une arête du modèle numérique à partir de deux points de projection.

Ainsi, selon l'invention, on place le dispositif 1 en un point d'observation quelconque de la pièce, par exemple sensiblement central. On saisit un ordre de démarrage d'une opération de modélisation d'une surface plane polygonale horizontale à partir de ses arêtes, et on initialise l'horizontale. Puis, on relève deux points de mesure distincts sur chacun des quatre murs délimitant la pièce, tels les points

et 76, 76 et 63, 63 et 62, 62 et 64, 68 et 69. Les arêtes du sol 50 sont modélisées à partir des paires de points de mesure 74 et 75, 75 et 76, 76 et 77, 70 et 71.

L'opération de modélisation de chacune des surfaces commence par la saisie d'un ordre de démarrage de l'opération et se termine par la saisie d'un ordre
5 de terminaison de l'opération.

On peut souhaiter modéliser l'ensemble de ces surfaces sur un seul et unique modèle, dit modèle consolidé, regroupant en trois dimensions ou en deux dimensions les modèles numériques de chacune des surfaces.

De surcroît, compte tenu de la géométrie du lieu, les surfaces à
10 mesurer possèdent des arêtes communes. Lorsqu'une première surface est modélisée et que l'on démarre la modélisation d'une deuxième surface adjacente à la première, il peut donc être avantageux, pour la création du deuxième modèle numérique, de réutiliser la modélisation de l'arête commune aux deux surfaces, réalisée dans le premier modèle.

15 Pour ces deux raisons, l'unité de traitement selon l'invention est avantageusement adaptée pour :

- générer un modèle consolidé regroupant une pluralité de modèles numériques correspondant chacun à une surface plane polygonale,
- générer un modèle numérique d'une surface à partir, d'une part
20 d'objets géométriques (en l'exemple, une arête et ses deux sommets) d'un autre modèle numérique existant appartenant au même modèle consolidé (ce qui revient à imposer des contraintes géométriques au modèle en cours d'élaboration), et d'autre part d'une série réduite de points de mesure et éventuellement de contraintes additionnelles permettant, en combinaison avec les objets géométriques réutilisés, de déterminer
25 totalement la topologie de la surface.

Ainsi, pour mesurer la pièce illustrée à la figure 5, on place le dispositif 1 en un point d'observation quelconque, par exemple central. Préalablement à une première opération de modélisation d'une surface, on saisit un ordre de démarrage d'une session de modélisation d'une pluralité de surfaces planes polygonales. A partir
30 de quoi, l'unité de traitement est adaptée pour générer, dans un même et unique modèle consolidé (c'est-à-dire dans un même fichier), des modèles numériques de diverses

surfaces planes polygonales, tant qu'aucun ordre de terminaison de la session de modélisation n'est saisi.

On initialise l'horizontale comme précédemment expliqué, l'unité de traitement étant adaptée pour conserver les données repérant l'horizontale telles qu'elles sont relevées par cette opération d'initialisation, tant qu'aucun ordre d'initialisation n'est de nouveau saisi. Cette fonctionnalité est avantageuse compte tenu que le dispositif n'est pas déplacé entre les opérations consécutives de modélisation des diverses surfaces de la pièce.

On commence alors, par exemple, par modéliser le mur 52. Pour ce faire, on saisit un ordre de démarrage d'une opération de modélisation d'une surface plane polygonale verticale à partir de ses sommets. On relève les sommets 60, 63, 76 et 75 et on saisit un ordre de terminaison de l'opération.

Pour modéliser ensuite le rampant sous toiture 55 par exemple, on saisit un ordre de démarrage d'une opération de modélisation d'une surface plane polygonale quelconque à partir de ses sommets. Le modèle de rampant généré suite à cette commande vient compléter le modèle du mur 52 précédemment généré. On sélectionne, dans le modèle numérique du mur 52, l'arête générée par les points de mesure 60 et 63, à titre d'arête appartenant également au modèle du rampant 55 en cours d'élaboration. Cette sélection revient à saisir des données de contrainte imposant deux sommets au modèle de rampant. On relève ensuite les deux sommets 61 et 62 manquants et on saisit un ordre de terminaison de l'opération de modélisation du rampant 55.

Pour modéliser ensuite le mur 51 par exemple, on saisit un ordre de démarrage d'une opération de modélisation d'une surface plane polygonale verticale à partir de ses arêtes. Le modèle de mur généré suite à cette commande vient compléter les modèles de mur 52 et rampant 55 précédemment générés. On sélectionne l'arête générée par les points de mesure 60 et 75 dans le modèle numérique du mur 52, et l'arête générée par les points de mesure 60 et 61 dans le modèle numérique du rampant 55, à titre d'arêtes appartenant également au modèle en cours d'élaboration. Cette sélection revient à saisir des données de contrainte imposant deux arêtes au modèle du

mur 51. On relève ensuite les paires de points de mesure 61 et 67, 73 et 72, 74 et 75, et on saisit un ordre de terminaison de l'opération de modélisation du mur 51.

A noter que si l'unité de traitement est adaptée pour générer des modèles numériques en deux dimensions uniquement, le modèle consolidé est construit en accolant le modèle en cours d'élaboration à celui des modèles adjacents précédents dont l'arête commune est sélectionnée en premier. Ainsi, si l'arête 60-75 du modèle du mur 52 est sélectionnée en premier à titre d'arête imposée au modèle du mur 51, le modèle du mur 51 est accolé au modèle du mur 52 avec lequel il partage cette arête. La sélection postérieure de l'arête 60-61 dans le modèle du rampant 55 à titre d'arête imposée au modèle du mur 51, entraîne la génération, dans le modèle consolidé, d'une nouvelle arête représentant cette arête 60-61 pour le modèle du mur 51.

Il est à noter également que, dans le procédé précédant, les points de mesure 61 et 75 sont relevés deux fois. Cette redondance peut être évitée, par exemple en choisissant de modéliser le mur 51 à partir de ses sommets. Sélectionner l'arête générée par les points de mesure 60 et 75 dans le modèle numérique du mur 52, et l'arête générée par les points de mesure 60 et 61 dans le modèle numérique du rampant 55, à titre d'arêtes appartenant également au modèle du mur 51 en cours d'élaboration, revient alors à saisir des données de contrainte générant trois sommets dans le modèle du mur 52. Reste ensuite à relever les deux sommets manquants pour terminer la modélisation. On peut également éviter cette redondance, en définissant l'arête 61-67 à partir du point de mesure 67 et de contraintes imposant la génération d'une arête à partir de ce seul point de mesure et la jonction de l'arête générée avec l'arête 60-61 en son extrémité 61. Les manipulations correspondantes (saisie de données de contrainte...) s'avèrent toutefois plus longues que de relever de nouveau le point 61 ou tout autre point de mesure sur l'arête (distinct du point 67) pour générer ladite arête.

De façon générale, il est recommandé d'utiliser la même méthode de relevé (par sommets ou arêtes) pour chacune des surfaces modélisées dans le cadre d'une même session, ce afin de rendre machinales les opérations de relevé et éviter ainsi tout risque d'erreur. Une modélisation de la surface par ses sommets est préférée

lorsqu'elle est possible (absence d'obstacle) en ce qu'elle limite le nombre de points de mesure à relever.

Lorsque toutes les surfaces sont modélisées, après avoir saisi l'ordre de terminaison de la dernière opération de modélisation, on saisit un ordre de terminaison de la session de modélisation.

L'unité de traitement est adaptée pour calculer l'aire de chacun des modèles générés et pour fournir ainsi une estimation de la superficie de chacune des surfaces planes polygonales mesurées. De préférence, elle est également adaptée pour calculer l'aire totale respectivement des modèles de surfaces de sols, des modèles de surfaces de murs, et des modèles de surfaces de plafonds (horizontaux et/ou inclinés).

Il va de soi que l'invention peut faire l'objet de nombreuses variantes par rapport aux modes de réalisation précédemment décrits et représentés sur les figures.

REVENDICATIONS

- 1/ Dispositif de mesure de la superficie de surfaces planes polygonales dans l'espace, comprenant :
- 5 – un télémètre (2), monté sur un piétement (4) par l'intermédiaire d'une monture (15) à point central (16), ledit télémètre étant adapté pour pouvoir délivrer un signal représentatif de la distance séparant le point central d'un point matériel d'une surface, dit point visé,
- des moyens (5, 6) de repérage angulaire dans l'espace de la
- 10 direction, dite direction de visée, passant par le point central et le point visé, ces moyens de repérage angulaire étant adaptés pour pouvoir délivrer des signaux représentatifs de l'orientation de la direction de visée par rapport à un repère spatial centré sur le point central,
- le télémètre et les moyens de repérage angulaire étant ainsi
- 15 adaptés pour pouvoir délivrer des signaux représentatifs des coordonnées sphériques du point visé par rapport audit repère spatial, caractérisé en ce que :
- il est adapté pour permettre à un utilisateur d'orienter le
- télémètre (2) vers un point visé de son choix,
- 20 – il comprend des moyens de déclenchement (82), sur commande de l'utilisateur, de l'acquisition des coordonnées sphériques du point visé, aptes à déclencher une mémorisation de données numériques représentatives de ces coordonnées sphériques à partir des signaux délivrés par le télémètre (2) et les moyens de repérage angulaire (5, 6),
- 25 – il comprend une unité de traitement numérique (9) adaptée pour pouvoir :
- ◇ générer et mémoriser un modèle numérique géométrique de chaque surface plane polygonale (13 ; 55), à partir des coordonnées sphériques acquises d'une série discrète de points visés (19-38 ; 60-63), dits points de mesure,
- 30 choisis de sorte que ladite série permette de déterminer topologiquement ladite surface plane polygonale,

◇ calculer et enregistrer une valeur représentative de l'aire de chaque modèle numérique ainsi généré.

2/ Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la monture (15) comprend des moyens de manœuvre (7, 8) du télémètre adaptés pour permettre une orientation manuelle de celui-ci par l'utilisateur.

3/ Dispositif selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens de déclenchement comprennent un organe de déclenchement (82) manuel à effet immédiat.

4/ Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'unité de traitement (9) est adaptée pour générer un modèle numérique d'une surface plane polygonale (55) à partir des coordonnées sphériques acquises d'une série de points de mesure (60-63), dite série complète, qui détermine à elle seule la topologie de la surface plane polygonale.

5/ Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'unité de traitement (9) est adaptée pour générer un modèle numérique à partir d'une série de points de mesure comprenant au moins, pour chaque sommet de la surface plane polygonale (55), un point (60-63) dont la projection sur la surface selon une direction prédéterminée coïncide avec ledit sommet.

6/ Dispositif selon la revendication 5 destiné à être utilisé pour mesurer la superficie de surfaces délimitant une pièce de bâtiment, caractérisé en ce que l'unité de traitement (9) est adaptée pour générer un modèle numérique d'une surface plane polygonale horizontale, telle que sol ou plafond horizontal, à partir d'une série de points de mesure comprenant, pour chaque sommet de la surface polygonale, un point dont la projection orthogonale sur ladite surface horizontale coïncide avec ledit sommet.

7/ Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'unité de traitement (9) est adaptée pour générer un modèle numérique à partir d'une série de points de mesure comprenant au moins, pour chaque arête de la surface plane polygonale (14 ; 54), deux points (45, 46, ... ; 65, 66, 68-73) dont la projection sur la surface selon une direction prédéterminée appartient à ladite arête.

8/ Dispositif selon la revendication 7 destiné à être utilisé pour mesurer la superficie de surfaces délimitant une pièce de bâtiment, caractérisé en ce que l'unité de traitement (9) est adaptée pour générer un modèle numérique d'une surface plane polygonale horizontale (14), telle que sol ou plafond horizontal, à partir
5 d'une série de points de mesure comprenant, pour chaque arête (47) de la surface polygonale, deux points (45, 46) dont la projection orthogonale (48, 49) sur ladite surface horizontale appartient à ladite arête.

9/ Dispositif selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que l'unité de traitement (9) est adaptée pour :

10 – permettre à l'utilisateur, par l'intermédiaire d'une interface utilisateur graphique (12a, 12b), de saisir des données, dites données de contrainte, permettant de définir des contraintes géométriques à imposer au modèle numérique, parmi lesquelles des données permettant de générer des objets géométriques dans le modèle numérique et des données permettant de générer des relations géométriques
15 entre des objets géométriques du modèle numérique,

– gérer les données de contrainte saisies de façon à pouvoir générer un modèle numérique d'une surface plane polygonale (13) à partir des coordonnées sphériques acquises d'une série de points de mesure (19-38), dite série réduite, qui permet, en combinaison avec une série de données de contrainte saisies, de
20 déterminer la topologie de la surface plane polygonale.

10/ Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'unité de traitement (9) est adaptée pour permettre à l'utilisateur de saisir des données de contrainte générant un objet géométrique choisi parmi un point, un segment, un polygone.

25 11/ Dispositif selon l'une des revendications 9 ou 10, caractérisé en ce que l'unité de traitement (9) est adaptée pour permettre à l'utilisateur de saisir des données de contrainte générant une relation géométrique choisie parmi un angle entre deux segments du modèle numérique, une orientation d'un segment, une longueur d'un segment, une jonction entre deux segments, un parallélisme de deux
30 segments.

12/ Dispositif selon les revendications 9 à 11, caractérisé en ce que l'unité de traitement (9) est adaptée pour :

– permettre à l'utilisateur de saisir des données de contrainte générant un objet géométrique courbe, tel qu'un arc,

5 – générer, à partir de telles données de contrainte, un modèle numérique plan non polygonal intégrant un(des) objet(s) géométrique(s) courbe(s),

– calculer une valeur représentative de l'aire du modèle numérique ainsi généré.

13/ Dispositif selon les revendications 9 à 12, caractérisé en ce que l'unité de traitement (9) est adaptée pour gérer des contraintes non orientées, selon
10 une approche variationnelle.

14/ Dispositif selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que l'unité de traitement (9) est adaptée pour générer des modèles numériques géométriques en deux dimensions.

15 15/ Dispositif selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que l'unité de traitement (9) est adaptée pour générer des modèles numériques géométriques en trois dimensions.

16/ Dispositif selon les revendications 1 à 15, caractérisé en ce que l'unité de traitement (9) est adaptée pour générer un modèle, dit modèle consolidé,
20 regroupant une pluralité de modèles numériques correspondant chacun à une surface plane polygonale.

17/ Dispositif selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que l'unité de traitement (9) est adaptée pour calculer et enregistrer une valeur représentative de la longueur de chaque segment d'un modèle numérique généré, et une
25 valeur représentative de la longueur du périmètre du modèle numérique.

18/ Dispositif selon l'une des revendications 1 à 17, caractérisé en ce que les moyens de repérage angulaire comprennent deux codeurs angulaires (5, 6).

19/ Procédé de mesure de la superficie de surfaces planes
30 polygonales dans l'espace, caractérisé en ce que :

– on utilise un dispositif (1) comprenant :

- ◇ un télémètre (2), monté sur un piétement (4) par l'intermédiaire d'une monture (15) à point central (16), ledit télémètre étant adapté pour pouvoir délivrer un signal représentatif de la distance séparant le point central d'un point matériel d'une surface, dit point visé,
- 5 ◇ des moyens (5, 6) de repérage angulaire dans l'espace de la direction, dite direction de visée, passant par le point central et le point visé, ces moyens de repérage angulaire étant adaptés pour pouvoir délivrer des signaux représentatifs de l'orientation de la direction de visée par rapport à un repère spatial centré sur le point central,
- 10 ◇ le télémètre et les moyens de repérage angulaire étant ainsi adaptés pour pouvoir délivrer des signaux représentatifs des coordonnées sphériques du point visé par rapport audit repère spatial,
- ◇ des moyens de déclenchement (82), sur commande de l'utilisateur, de l'acquisition des coordonnées sphériques du point visé, aptes à
- 15 déclencher une mémorisation de données numériques représentatives de ces coordonnées sphériques à partir des signaux délivrés par le télémètre et les moyens de repérage angulaire,
- ◇ une unité de traitement numérique (9),
- pour chaque surface plane polygonale à mesurer (13 ; 55), on
- 20 choisit une série discrète de points visés (19-38 ; 60-63), dits points de mesure, de sorte que ladite série permette de déterminer topologiquement ladite surface plane polygonale,
- pour chaque surface plane polygonale, on effectue une
- opération de modélisation de ladite surface, dans laquelle on relève les points de
- 25 mesure de la série correspondante en orientant le télémètre successivement vers chaque point de mesure et en déclenchant l'acquisition de ses coordonnées sphériques , l'unité de traitement étant adaptée pour :
- ◇ générer et mémoriser un modèle numérique géométrique
- de chaque surface plane polygonale à partir des coordonnées sphériques acquises de la
- 30 série de points de mesure correspondante,

◇ calculer et enregistrer une valeur représentative de l'aire de chaque modèle numérique ainsi généré.

20/ Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce que, pour au moins une surface plane polygonale à mesurer (55), on choisit une série de points de mesure (60-63), dite série complète, qui détermine à elle seule la topologie de ladite surface plane polygonale.

21/ Procédé selon la revendication 20, caractérisé en ce que, pour au moins une surface plane polygonale (55), on choisit une série de points de mesure (60-63) comprenant au moins, pour chaque sommet de la surface polygonale, un point dont la projection sur ladite surface selon une direction prédéterminée coïncide avec ledit sommet.

22/ Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce que, pour mesurer une surface plane polygonale horizontale d'une pièce de bâtiment, telle que sol ou plafond horizontal, on choisit une série de points de mesure comprenant, pour chaque sommet de la surface polygonale, un point dont la projection orthogonale sur ladite surface horizontale coïncide avec ledit sommet.

23/ Procédé selon la revendication 22, caractérisé en ce que, pour au moins une surface plane polygonale (14), on choisit une série de points de mesure comprenant au moins, pour chaque arête (47) de la surface plane polygonale, deux points (45, 46) dont la projection (48, 49) sur la surface selon une direction prédéterminée appartient à ladite arête.

24/ Procédé selon la revendication 23, caractérisé en ce que, pour mesurer une surface plane polygonale horizontale d'une pièce de bâtiment, telle que sol ou plafond horizontal, on choisit une série de points de mesure comprenant, pour chaque arête de la surface polygonale, deux points dont la projection orthogonale sur ladite surface horizontale appartient à ladite arête.

25/ Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce que, pour au moins une surface plane polygonale (13) à mesurer :

– on choisit d'une part une série de points de mesure (19-38), dite série réduite, et d'autre part une série de contraintes géométriques à imposer à un modèle numérique géométrique de la surface plane polygonale, parmi lesquelles au

moins un objet géométrique (29, 32) à imposer audit modèle numérique et/ou au moins une relation géométrique à imposer entre des objets géométriques dudit modèle numérique, les points de mesure et les contraintes géométriques étant choisis de sorte que, en combinaison, ils déterminent la topologie de la surface plane polygonale,

5 – on effectue une opération de modélisation de ladite surface, dans laquelle on relève chaque point de mesure (19-38) de la série correspondante et on saisit, par l'intermédiaire d'une interface utilisateur graphique (12a, 12b), des données, dites données de contrainte, permettant de définir chaque contrainte géométrique de la série correspondante,

10 – l'unité de traitement étant adaptée pour :

 ◇ permettre à l'utilisateur de saisir de telles données de contrainte, et gérer lesdites données,

 ◇ générer et mémoriser un modèle géométrique numérique de la surface plane polygonale à partir des coordonnées sphériques acquises de la série
15 réduite de points de mesure et des données de contrainte saisies de la série de contraintes.

26/ Procédé selon la revendication 25, caractérisé en ce que, pour au moins une surface plane polygonale (13), on choisit une série réduite de points de mesure (19-38) comprenant, pour plusieurs des sommets de la surface polygonale,
20 un point dont la projection sur ladite surface selon une direction prédéterminée coïncide avec ledit sommet.

27/ Procédé selon la revendication 25, caractérisé en ce que, pour au moins une surface plane polygonale, on choisit une série réduite de points de mesure comprenant, pour plusieurs des arêtes de la surface plane polygonale, deux
25 points dont la projection sur la surface selon une direction prédéterminée appartient à ladite arête.

28/ Procédé selon l'une des revendications 19 à 27, caractérisé en ce que le télémètre (2) est orienté vers chaque point de mesure de façon manuelle.

29/ Procédé selon l'une des revendications 19 à 28, caractérisé
30 en ce que l'acquisition des coordonnées sphériques de chaque point de mesure est déclenchée de façon manuelle à l'instant de visée dudit point de mesure.

30/ Procédé selon l'une des revendications 19 à 29, caractérisé en ce que, l'opération de modélisation d'une surface plane polygonale (13) comprend les étapes suivantes :

- on relève des points de mesure (20-24, 34, 35, 37, 38) de la série correspondante qui sont visibles depuis un premier point d'observation (A),
- on déplace le point central du dispositif en un deuxième point d'observation (B) duquel est visible au moins un autre point de mesure de ladite série, non visible depuis le premier point d'observation,
- on relève des points (90, 91), dits points de recalage, depuis le deuxième point d'observation, lesdits points de recalage étant choisis de façon à permettre de déterminer la position du deuxième point d'observation relativement au premier point d'observation,
- on relève le(s) point(s) de mesure (25-28, 19, 30, 31, 33, 34, 36, 37) visible(s) depuis le deuxième point d'observation, l'unité de traitement étant adaptée pour calculer les coordonnées, dans le repère spatial du premier point d'observation, du deuxième point d'observation et du(des) point(s) de mesure relevé(s) depuis celui-ci.

31/ Procédé selon l'une des revendications 19 à 30, caractérisé en ce que l'opération de modélisation de chaque surface plane polygonale comprend une saisie initiale d'un ordre de démarrage de ladite opération et une saisie finale d'un ordre de terminaison de ladite opération, à l'aide d'une interface utilisateur du dispositif.

32/ Procédé selon l'une des revendications 19 à 31, caractérisé en ce qu'on choisit un type de série de points de mesure et on saisit, au démarrage de l'opération de modélisation, une information définissant le type de série choisi.

33/ Procédé selon l'une des revendications 19 à 32 pour mesurer une pluralité de surfaces planes polygonales (50-56) dont on souhaite réaliser un modèle numérique consolidé, caractérisé en ce que l'on saisit un ordre de démarrage d'une session de modélisation préalablement à une première opération de modélisation d'une surface, et on saisit un ordre de terminaison de ladite session après la fin d'une dernière opération de modélisation d'une surface.

1/4

Fig 1

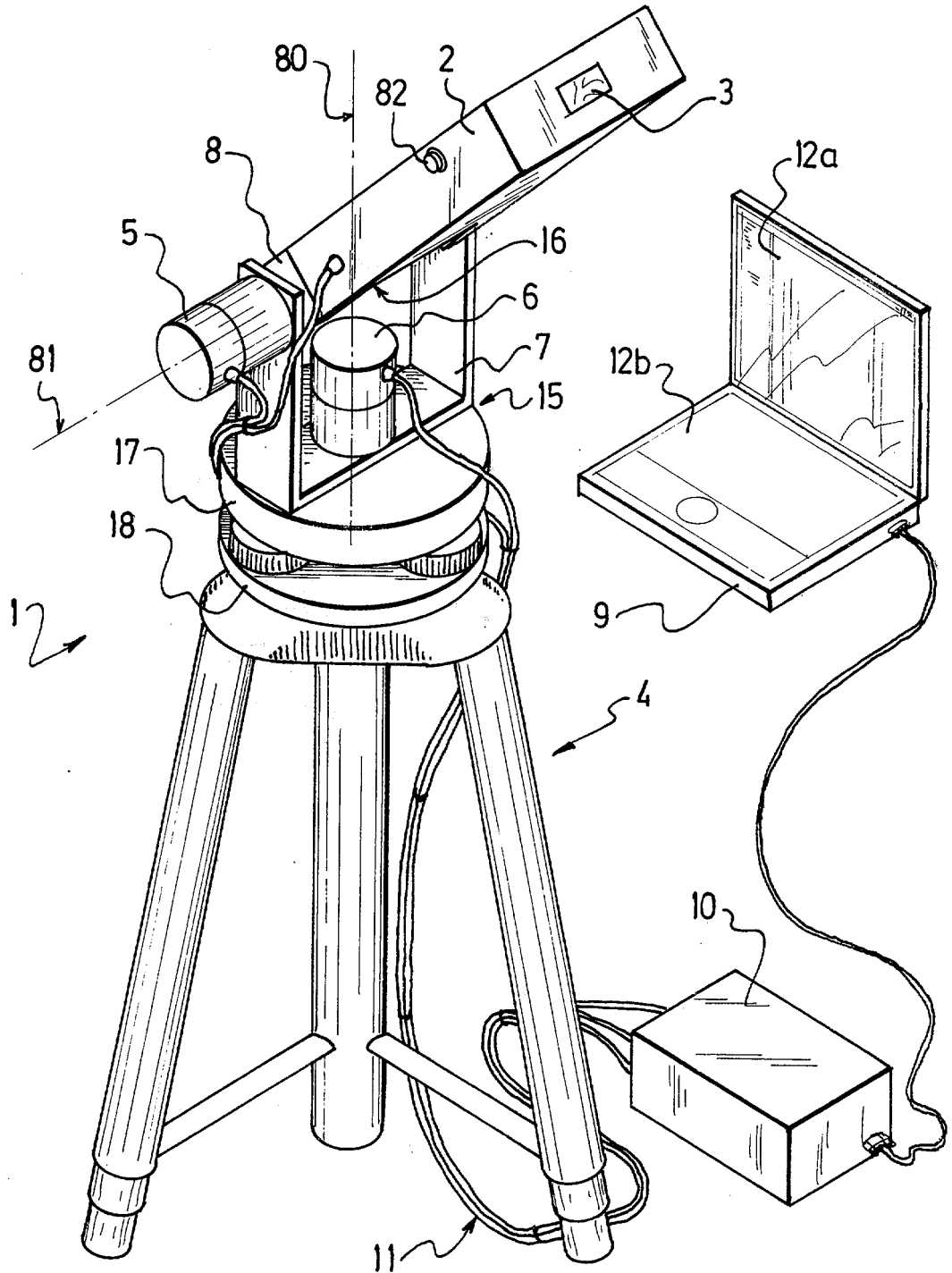
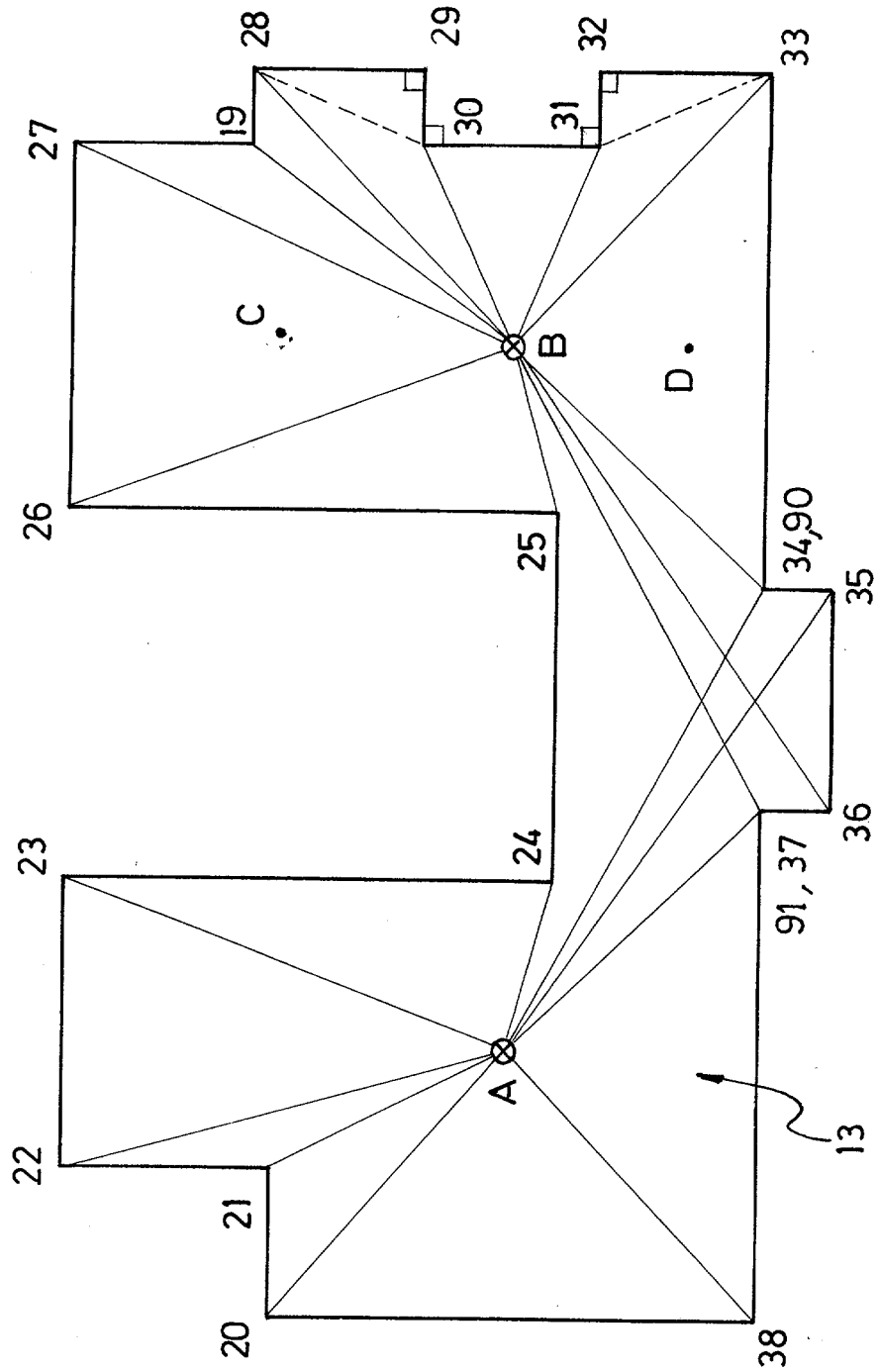


Fig 2



3/4

Fig 3

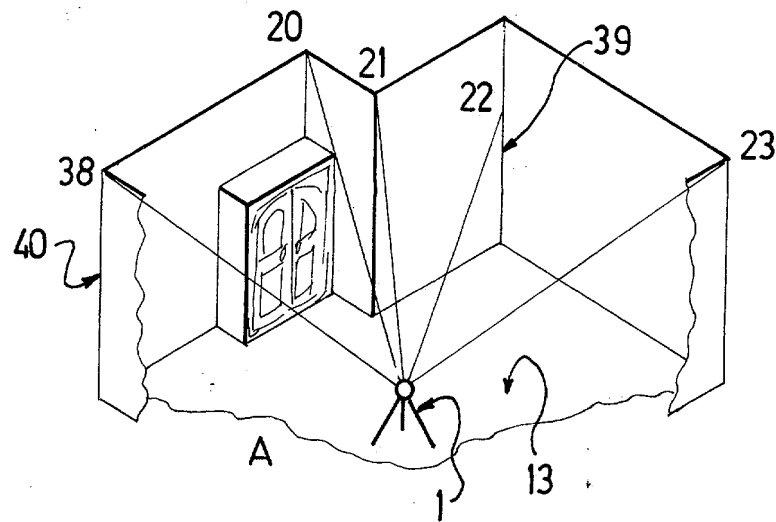
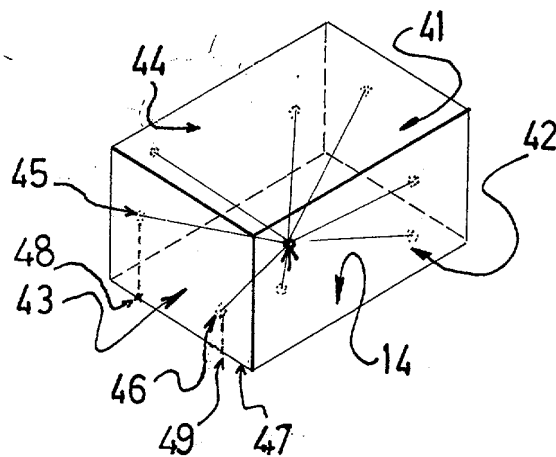


Fig 4



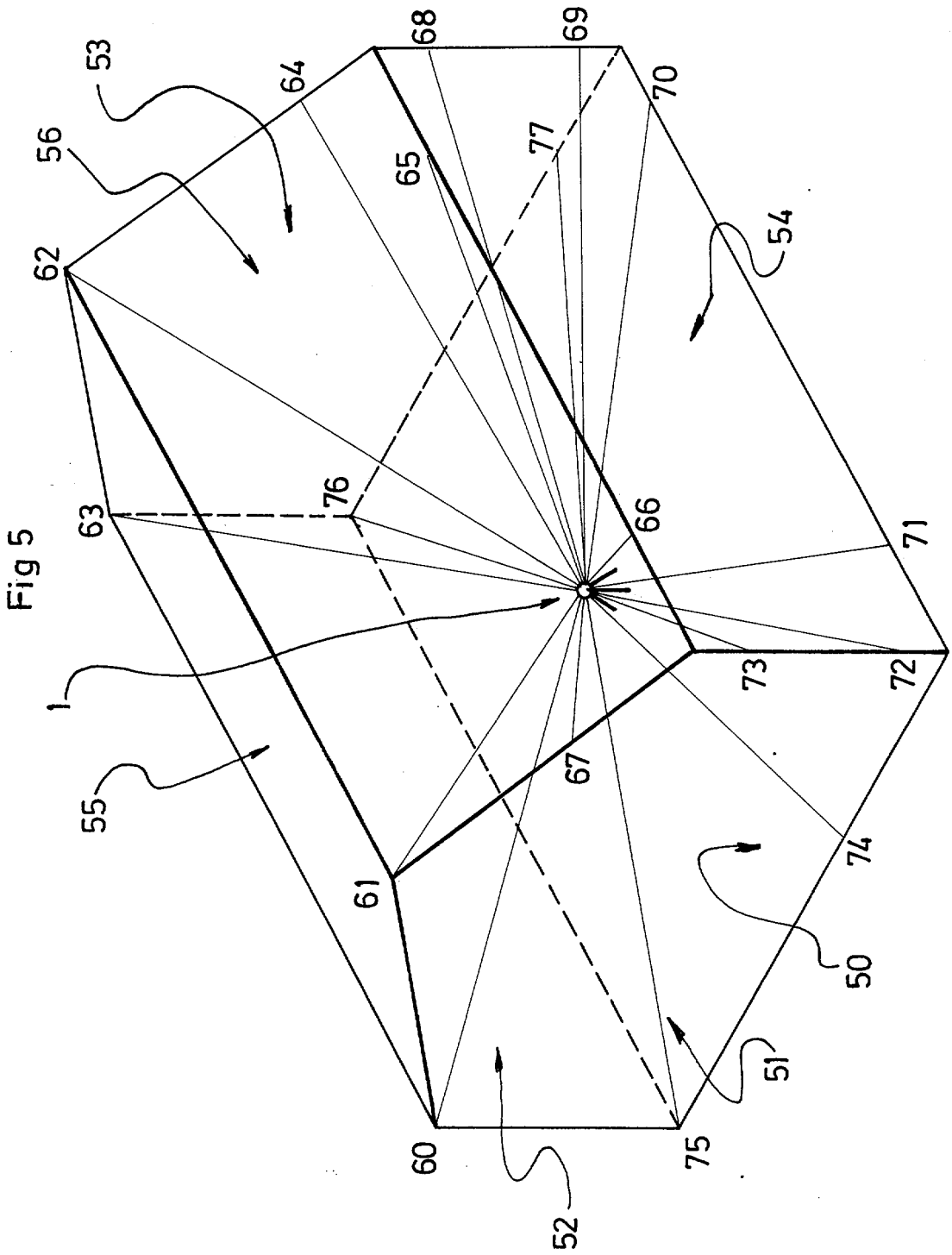


Fig 5